



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

QUALITÄT UND WIRTSCHAFTLICHKEIT VON T5-LAMPENADAPTERN

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Dr. Peter Blattner, Bundesamt für Metrologie (METAS)
Lindenweg 50, 3003 Bern-Wabern, peter.blattner@metas.ch, <http://www.metas.ch>

Hans Lehmann, Bundesamt für Metrologie (METAS)
Lindenweg 50, 3003 Bern-Wabern, hans.lehmann@metas.ch, <http://www.metas.ch>

Heinz Dudli, Bundesamt für Metrologie (METAS)
Lindenweg 50, 3003 Bern-Wabern, heinz.dudli@metas.ch, <http://www.metas.ch>

Impressum

Datum: 20. Februar 2008

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Elektrizität

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter, felix.frey@bfe.admin.ch

BFE-Projektnummer: 101919

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Resumé.....	3
Abstract.....	4
1. Ausgangslage	6
2. Ziel der Arbeit	6
3. Methode	6
3.1 Auswahl der Adapter, Leuchtmittel und T8-Leuchten.....	6
3.2 Lampendaten (Lampe frei brennend)	7
3.3 Leuchtendaten	8
3.4 Messverfahren für T5-Lampen.....	8
3.5 Lichttechnische Bewertung mittels numerischer Simulationen.....	9
4. Begriffe.....	10
4.1 Betriebswirkungsgrad.....	10
4.2 Cold Spot Temperatur.....	10
4.3 Gesamtlichtstrom auf Nutzebene.....	10
4.4 UGR- Blendungsbeurteilung	10
4.5 Messunsicherheit	11
4.6 Rückverfolgbarkeit der Messresultate.....	11
5. Ergebnisse	12
5.1 Lampendaten (Lampe freihängend).....	12
5.2 T8-Lichtleiste	14
5.3 T8-Lichtleiste mit Reflektoren	15
5.4 Anwendung der T8-Lichtleiste in einer Lagerhalle.....	17
5.5 Anwendung der T8-Lichtleiste mit Reflektoren bestückt in einer Lagerhalle.....	19
5.6 T8-Rasterleuchte 36W bei Anwendung in einem Bürraum.....	21
6. Diskussion	23
6.1 Anwendbarkeit , Wirtschaftlichkeit und Qualität.....	23
6.2 elektromagnetischen Verträglichkeit	23
6.3 Lebensdauer und Schaltzyklen	23
6.4 Lampenlebensdauergarantie und Produkthaftung.....	23
7. Schlussfolgerungen	24
Symbolverzeichnis.....	24
Referenzen	25

Zusammenfassung

Haupteinsatzgebiet von Lampenadapters ist das Umrüsten von bestehenden Beleuchtungseinrichtungen auf energieeffizientere Leuchtmittel inklusive Ersatz des konventionellen Vorschaltgerätes mit elektrischem Vorschaltgerät. Im vorliegenden Bericht wird der Einsatz von Lampenadapters bezüglich Qualität und Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung lichttechnischer Aspekte von neutraler Stelle beurteilt.

Untersucht wurden sämtliche zum Zeitpunkt der Studie (Frühjahr 2007) auf dem Schweizer Markt befindlichen Lampenadapterprodukte. Es sind dies 8 verschiedene Lampenadapter von 6 Herstellern, darunter ein T8-T8 Adapter. Zusätzliche wurde der Einsatz von Reflektoren untersucht. Die Beurteilungen umfassten u.a.

- das Ermitteln der Referenzwerte (Lichtstärkenverteilung, Lichtstrom, Betriebswirkungsgrad und elektrische Betriebsdaten) von zwei original VVG-betriebenen T8-Leuchten (36W),
- das Bestimmen der lichttechnischen und elektrischen Betriebsdaten der frei brennenden, mit Adapter betrieben Lampen,
- das Bestimmen der lichttechnischen und elektrischen Betriebsdaten der Leuchten – Adapterkombinationen,
- die lichttechnische Bewertung der Leuchten (Blendwerte, Gleichmässigkeit, mittlere Beleuchtungsstärke) in verschiedenen Beleuchtungssituationen durch numerische Simulationen.

Auf Grund der Messresultate können folgende Aussagen gemacht werden: Die wichtigsten Grundeigenschaften lassen sich bereits aus der Messung der freihängenden Lampe ableiten, nämlich:

- Die Lichtausbeute (Lumen pro Watt) ist bei sämtlichen Adapters deutlich höher als bei der ursprünglichen T8-Lampe (Erhöhung zwischen 4% und 27%). Dieser Vorteil kann aber nur beschränkt genutzt werden, da der Lichtstrom bei einigen Adapters deutlich tiefer liegt als bei der ursprünglichen T8-Lampe.
- Der Rückgang des Lichtstroms ist stark Produkte abhängig. Fünf Produkte haben einen Rückgang des Lichtstromes von über 20% zur Folge. Bei 3 Produkten lag die Einbusse bei 3% bis 10%. Leider besaß eines dieser 3 Produkte eine unüblich hohe Cold Spot Temperatur (über 70°C), welche sich negativ auf die Lampenlebensdauer auswirken kann.
- Die zwei vielversprechendsten Produkte zeigen eine nur geringe Einbusse des Lichtstroms. Bedingt durch ihre Konstruktion lassen sich diese beiden Adapter aber nicht in komplexere Leuchten einbauen (Rasterleuchte). Der Einsatz der Adapter beschränkt sich somit auf einfache, offene Leuchten und somit auf lichttechnisch einfache Beleuchtungssituationen. Sinnvolles Anwendungsgebiet sind einfache T8-Lichtleisten in grösseren Hallen.
- Reflektoren erhöhen auf der Nutzfläche die Beleuchtungsstärken (10% bis 15%), können aber die Lichtstromeinbusse der meisten Adapter nicht kompensieren. Hingegen können Reflektoren durchaus sinnvoll in bestehenden Systemen eingesetzt werden und zu Energieeinsparungen führen, z.B. kombiniert mit dem gezielten Abschalten von Lampen. Da die Lichtstärkeverteilung stark ändert, muss der Einsatz von Reflektoren individuell geklärt werden.

Empfehlungen

Der Einsatz der Adapterprodukte, welche eine Lichtstromeinbusse von über 20% verursachen kann nicht empfohlen werden. Falls weniger Licht für die Beleuchtungssituation ausreicht, kann durch das gezielte Ausschalten von Lampen (eventuell kombiniert mit dem Einsatz von Reflektoren) ohne Einbusse der Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärkenverteilung erreicht werden.

Zwei Produkte zeigen nur eine kleine Einbusse vom Lichtstrom (Sweet Light Energy Saver (Modell S02-230-036-EPG) und Safe It Easy S02 (Modell SW-ES T8/T5); Vertrieb in der Schweiz: Firma Mirrorlight GmbH, 8952 Schlieren). Deren praktischer Einsatz beschränkt sich aber auf einfache offene Leuchten und somit lichttechnisch einfache Beleuchtungssituationen. Speziell empfehlenswert zeigt sich der T8-T8 Adapter (Safe It Easy S02) da dieser nicht nur eine kleine Einbusse des Lichtstromes hat sondern auch die bereits eingesetzten Leuchtmittel weiterverwendet werden können.

Weil die Adapter technisch immer noch weiterentwickelt werden und viele Produkte jeweils nur kurz auf dem Markt sind, müssen die generellen Aussagen dieses Berichtes laufend neu interpretiert werden.

Auf jeden Fall soll der Hersteller von Adapters mindestens folgende Nachweise erbringen:

- absoluter Lichtstrom unter Angabe des benutzten Leuchtmittels und dem Messverfahren. Das Messverfahren sollte den erhöhten Ansprüchen der T5-Lampen angepasst sein
- Lichtausbeute unter Angabe des benutzten Leuchtmittels und dem Messverfahren
- EMV-Konformitätserklärung
- Lebensdauer des Adapters und des Leuchtmittels, geprüft entsprechend einem anerkannten Verfahren

Resumé

L'application principale des adaptateurs de lampes est de permettre la modification des systèmes d'éclairages existants pour l'utilisation de lampes à plus basse consommation. En plus ils permettent de remplacer le ballast conventionnel par un ballast électronique. Le présent rapport résume une étude de qualité et de rentabilité des adaptateurs de lampes réalisée du point de vue des aspects photométriques

Dans ce cadre-ci, tous les produits présents sur le marché Suisse lors de l'étude (printemps 2007) ont été examinés, c'est à dire 8 différents adaptateurs de lampes (y inclus un adaptateur de type T8-T8) provenant de 6 fabricants. En outre l'applicabilité des réflecteurs de lampe a été étudiée. L'évaluation photométrique comportait

- la détermination des valeurs de référence (flux lumineux, rendement normalisé, distribution d'intensité lumineuse et paramètres électriques) de deux luminaires originaux (T8, 36W, ballast classique),
- la détermination de paramètres photométriques et électriques des lampes T5 équipées d'adaptateurs (suspendues librement),
- la détermination de paramètres photométriques et électriques de toutes les combinaisons des lampes et adaptateurs,
- des simulations numériques de l'utilisation des luminaires dans des situations d'éclairages typiques permettant une prédiction des paramètres photométriques (éclairement lumineux moyen, uniformité et valeurs d'éblouissement).

Sur la base des résultats obtenus, il est possible d'affirmer que les propriétés de base des adaptateurs peuvent toutes être déduites des mesurages de la lampe suspendue librement, à savoir :

- L'efficacité lumineuse des tous les adaptateurs est nettement supérieure par rapport à la lampe T8 originale (augmentation entre 4% et 27%). Cet avantage ne peut être exploité que partiellement, car le flux lumineux de la plupart des adaptateurs est nettement inférieur à celui de la lampe originale.
- La réduction du flux lumineux dépend beaucoup du produit. Cinq produits diminuent le flux lumineux de plus de 20%, et trois produits provoquent une diminution de 3% à 10% seulement. Malheureusement l'un de ces trois produits génère une hausse de températures de plus de 70°C du point froid (cold spot) de la lampe et qui pourrait ainsi limiter sa durée de vie.
- Les deux produits les plus prometteurs diminuent le flux lumineux seulement légèrement. Par contre, de part leurs constructions, ces produits ne peuvent pas être montés dans des luminaires complexes (luminaires avec grille, etc.). L'applicabilité de ces produits est limitée à des luminaires ouverts et par conséquence à des situations d'éclairage simples. Une utilisation typique concerne les réglettes simples dans de grands locaux (halles de dépôt, etc.).
- Les réflecteurs de luminaires peuvent augmenter l'éclairement lumineux sur les surfaces de travaux (10% à 15%), mais ne permettent pas la compensation totale de la réduction du flux lumineux engendrée par la plupart des adaptateurs. Par contre, l'utilisation des réflecteurs de

lampe peut être raisonnable dans les installations existantes et permet d'économiser de l'énergie, par exemple, en combinaison avec la mise hors marche ciblée de quelques luminaires. Comme la distribution de l'intensité lumineuse est fortement influencée par le réflecteur, son applicabilité doit être étudiée pour chaque cas individuellement.

Recommandations

L'utilisation des adaptateurs provoquant une diminution du flux lumineux de plus de 20% ne peut pas être recommandée. Si la situation d'éclairage permet une réduction de l'éclairage lumineux, la mise hors marche ciblée de quelques luminaires combinée éventuellement avec l'utilisation de réflecteurs est aussi avantageuse, sans perte de l'uniformité de la distribution de l'éclairage lumineux.

Deux produits ne diminuent le flux lumineux que légèrement (Sweet Light Energy Saver (Type S02-230-036-EPG) und Safe It Easy S02 (Type SW-ES T8/T5); représentant Suisse: Firma Mirrorlight GmbH, 8952 Schlieren). L'applicabilité de ces produits est limitée à des luminaires ouverts, et par conséquences à des situations d'éclairage simples. Spécialement recommandable est l'adaptateur T8-T8 (Safe It Easy S02), car non seulement la diminution du flux lumineux est minimale mais il permet l'utilisation de lampes déjà disponibles.

Comme les adaptateurs sont toujours en phase d'évolution technique, et comme certains produits n'apparaissant sur le marché que pour une courte durée, les conclusions générales de ce rapport devront être réinterprétées continuellement.

Dans tous les cas le fabricant des adaptateurs doit pouvoir livrer au moins les informations suivantes :

- Flux lumineux absolu sous indication de la procédure de mesure et de la lampe utilisée. La procédure de mesure doit tenir compte des exigences accrues des lampes T5.
- L'efficacité lumineuse sous indication de la procédure de mesure et de la lampe utilisée.
- Une déclaration de conformité de la compatibilité électromagnétique (CEM)
- La durée de vie de l'adaptateur et de la lampe, testée selon des procédures reconnues.

Abstract

The principle field of application of lamp adapters is the modification of existing illumination systems to allow using of lamps with lower electrical consumption. In addition the conventional ballast is replaced by an electronic ballast. The present report summarizes a quality study of lamp adapters mainly in respect of photometrical parameters.

For this purpose all adapters available on the Swiss market at the moment of the study (spring 2007) have been examined: There are 8 different adapters including an adapter of type T8-T8 of 6 different manufacturers. Additionally the performance of lamp reflectors was studied. The evaluation included

- the determination of the reference values (luminous flux, luminous intensity distribution, light output ratio and the electrical parameters) of two original T8 luminaires (36W, classical ballast),
- the determination of the photometrical and electrical parameters of the individual T5 lamps supplied by the adapters, the lamps suspended freely,
- the determination of the photometrical and electrical parameters of all possible combinations of lamp adapters and luminaires,
- the numerical simulation of the use of the luminaires in typical lighting situations allowing an judgement on the quality of the lighting (mean illuminance, uniformity and glare values).

Based on the measurement results the following statements can be formulated: Most properties may be deduced from the measurement of the individual lamp, i.e.

- the luminous efficacy (Lumen per Watt) is significantly higher for all adapters in respect to the original T8 lamp (increase of 4% to 27%). This advantage may only be useable partially because the luminous flux of most adapters is significantly smaller than the original lamp.

- The reduction of luminous flux depends greatly on the product. Five products reduce the flux by more than 20%. Only 3% products produce a reduction that is between 3% and 10%. Unfortunately one of the three products shows an unusual increase of the cold spot temperature of the lamp. This may severely reduce the lifetime of the lamp.
- Two products show little reduction of the luminous flux. Due to their construction it is not possible to mount these devices in closed luminaries. The applicability is limited to open luminaries and therefore to simply lighting situations. Typical examples of application are light bands in large halls.
- Reflectors may increase the illuminance level at reference plane (typically between 10% to 15%). However they do not compensate the reduction in luminous flux of most of the adapters. On the other hand the installation of reflectors in existing lighting systems may be reasonable and energy-saving if it is for example in combination with the selective switching off some luminaries. As the luminous intensity distribution is heavily influenced by the reflector the applicability has to be clarified in each case individually.

Recommendations

The installation of lamp adapters producing a reduction of the luminous flux of more than 20% can not be recommended. If the lighting situation allows a reduction of the illuminance level it is more advisable to switch off selectively some luminaries and eventually to add some reflectors, without decreasing the uniformity of the illuminance distribution.

Two devices reduce the luminous flux only slightly (Sweet Light Energy Saver (Type S02-230-036-EPG) und Safe It Easy S02 (Type SW-ES T8/T5); sales and distribution in Switzerland: Mirrorlight GmbH, 8952 Schlieren). However the applicability is limited to open luminaries and therefore to simply lighting situations. Especially recommendable is the T8-T8 adapter (Safe It Easy S02). Not only the reduction in flux is minimal but it allows reusing the existent lamps.

As the lamp adapters are still subject to technical improvements and some of the products only appear shortly on the market it is recommendable to reinterpret the general conclusion of this report continuously.

In any case the manufacturers of lamp adapters should deliver at least the following information:

- The absolute luminous flux indicating the measurement procedure. The measurement should accommodate the higher requirements for T5 lamps,
- the output ratio including its measurement procedure,
- a declaration of conformity on the electromagnetic compatibility (emc) of the device,
- the life time of the adapter and the lamps tested according some generally accepted measurement procedures.

1. Ausgangslage

Leuchten mit ungeeigneter Lichtstärkenverteilung und/oder schlechtem Wirkungsgrad verschwenden wertvolle Energie oder können sich durch zu hohe Blendwerte negativ auf das Wohlbefinden und auf die Leistungsfähigkeit der Menschen auswirken. Erwünscht sind daher energieeffiziente Leuchten, die genügend Licht produzieren, ohne die ermüdende Blendung zu verursachen. Als Leuchtmittel werden seit einigen Jahren T5-Leuchtstofflampen eingesetzt, welche wegen ihrer hohen Lichtausbeute besonders wirtschaftlich sind. Seit kurzem bieten verschiedene Hersteller Umrüstadapter an, welche den Einsatz von T5-Lampen mit elektrischen Vorschaltgeräten in Leuchten mit klassischen Vorschaltgeräten und T8-Leuchtmitteln ermöglichen.

2. Ziel der Arbeit

Es gibt bereits verschiedene Studien mit widersprüchlichen Resultaten zum Thema T5-Lampenadapter [9-15]. Ziel dieses Projektes ist, unter Berücksichtigung von lichttechnischen Aspekten, eine Aussage aus neutraler Sicht bezüglich der Qualität und Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von T5-Lampenadapters machen zu können. Damit soll dem BFE die Grundlage zur Verfügung stehen, um entsprechende Nachfragen kompetent zu beantworten. Die Aussagen basieren auf einer Reihe von lichttechnischen Messungen und Bewertungen. Die Messungen wurden ausschliesslich am Bundesamt für Metrologie (METAS) durch ausgewiesene Fachexperten durchgeführt.

3. Methode

Der Projektlauf sieht wie folgt aus:

- Beschaffung verschiedener auf dem Schweizer Markt erhältlichen T5-Adapter, Leuchtmittel sowie Lichtleiste und Rasterleuchte mit verlustarmem Vorschaltgerät (VVG) für Glimmstarterbetrieb mit T8-Leuchtstofflampe.
- Ermitteln der Referenzwerte (Lichtstärkenverteilung, Lichtstrom, Betriebswirkungsgrad und elektrische Betriebsdaten) der original VVG-betriebenen T8-Leuchten.
- Bestimmen von Lichtstärkenverteilung, Lichtstrom (absolut), elektrischen Betriebsdaten und Wirkungsgrad sämtlicher Leuchten – Adapterkombinationen mittels Lichtstrom- und Drehspiegel-Goniophotometer.
- Lichttechnische Bewertung der Leuchten (Blendwerte, Gleichmässigkeit, mittlere Beleuchtungsstärke) in verschiedenen Beleuchtungssituationen durch numerische Simulationen.

3.1 Auswahl der Adapter, Leuchtmittel und T8-Leuchten

Untersucht werden sämtliche zum Zeitpunkt der Studie (Frühjahr 2007) auf dem Schweizer Markt befindlichen Lampenadapterprodukte. Es sind dies 8 verschiedene Lampenadapter von 6 Herstellern, darunter ein T8-T8 Adapter. Die Hersteller werden jeweils gebeten, drei Adapter pro Typ zu liefern. Jeder Adapter wird mit einer Identifikationsnummer (ID) nach folgendem Code versehen: A11 bis A13 sind typengleiche Adapter, dasselbe gilt für A21 bis A23, A31 bis A33 etc. Die Referenzlampe (T8) erhält den Code F063.

Zusätzlich wird bei einem Adapter (A32), stellvertretend für alle Produkte, der Einfluss von zwei verschiedenen Reflektoren (R35 und R36) auf die Lichtverteilung und den Betriebswirkungsgrad untersucht. Ein Adapter (A32) besitzt einen weissen Verbindungssteg, der als breitstrahliger Reflektor wirkt. Der Adapter A42 erlaubt den Einsatz einer T8-Lampe und entspricht im Wesentlichen einem elektronischen Vorschaltgerät (EVG).

Leuchtmittel

- Leuchtstofflampe T8, Typ OSRAM Lumilux L36W/21 (Referenzlampe)
- Leuchtstofflampe T5, Typ OSRAM FH 28W/840 HE
- Leuchtstofflampe T5, Typ Philips TL5 HE 28W/840

Leuchten

- T8-Lichtleiste 36W mit verlustarmem Vorschaltgerät (VVG) Knobel Miniloss 36-2001 0.43 A und Glimmstarter (Anwendung Lagerhalle), siehe Fig. 1
- T8-Rasterleuchte 36W mit verlustarmem Vorschaltgerät (VVG) Knobel Miniloss 36-2001 0.43 A und Glimmstarter (Büroraum), siehe Fig. 2



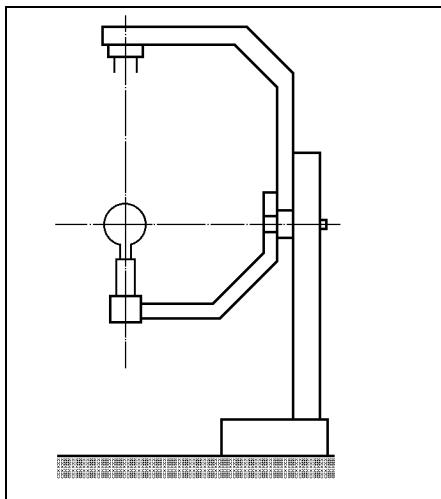
Figur 1 T8-Lichtleiste 36W



Figur 2 T8-Rasterleuchte 36W

3.2 Lampendaten (Lampe frei brennend)

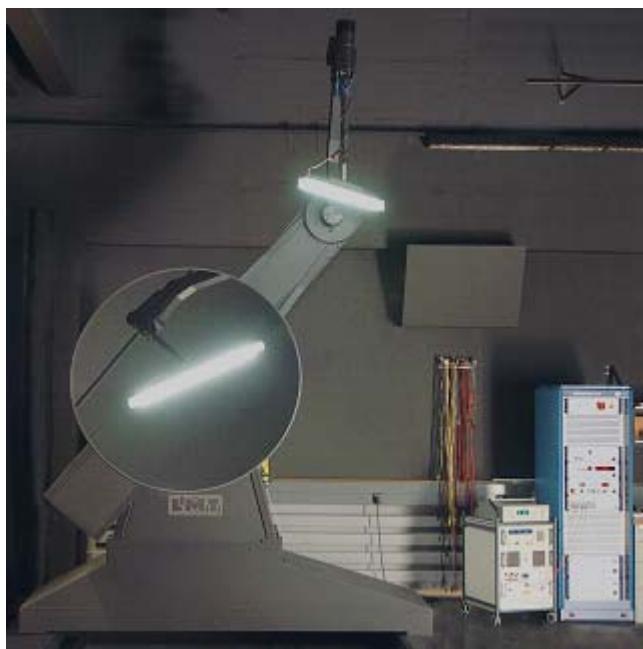
Grundlage für die Beurteilung der Lampenadapter sind die photometrischen Daten der Lampe bei Betrieb mit Adapter. Wichtigster Parameter dabei ist der Lampenlichtstrom (Einheit: lm). Die Bestimmung des Lichtstroms erfolgt mittels eines Lichtstrom-Goniophotometer (Fig. 3). Dabei dreht sich die horizontal frei brennende Lampe kontinuierlich um die vertikale Achse und ein Photometer im Radius von 1.91 m um die horizontale Achse. Der Lichtstrom wird durch numerisches Integrieren der spiralförmig abgetasteten Lichtquelle bestimmt.



Figur 3 Lichtstrom-Goniophotometer

3.3 Leuchtendaten

Die Bestimmung der Lichtstärkenverteilung und der Lichtausbeute der Leuchte erfolgt mittels eines Drehspiegel-Goniophotometers (Fig. 4). Es besteht im Wesentlichen aus einer rotierbaren Leuchtenhalterung, einem drehbaren Spiegel und einem Photometer. Die Lichtquelle wird auf einem Radius um den Spiegel geführt. Die Spiegelmitte liegt dabei im Drehzentrum. Beim Messvorgang lenkt der Spiegel das Licht in Richtung Photometerkopf um, damit das Messobjekt immer in seiner horizontalen Arbeitslage bleiben kann. Das Drehspiegel-Goniophotometer ermöglicht es, die Lichtstärkenverteilung von Leuchten zu messen, um daraus Lichtstrom, Wirkungsgrad, mittlere Leuchtdichten sowie Blendwerte zu berechnen. Der Photometerkopf kann in Messentfernungen von 12.96 m oder 24.41 m fest positioniert werden. Bei Bedarf sind auch variable Messentfernungen bis 40 m einstellbar. Zur Verhinderung von Streulicht sind zwischen Photometerkopf und Drehspiegel mehrere Lochblenden angeordnet. Das Umfeld ist zudem mit tiefschwarzer Mattfarbe, Teppich oder Samttuch ausgestattet. Weitere Informationen zum Drehspiegel-Goniophotometer sind online erhältlich [1].



Figur 4 Drehspiegel-Goniophotometer

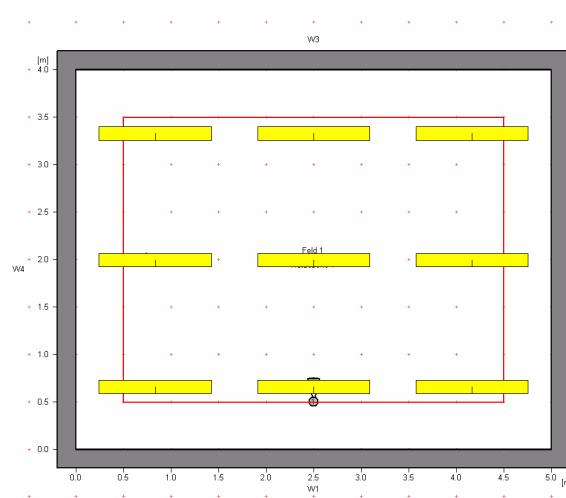
3.4 Messverfahren für T5-Lampen

T5-Lampen sind eine relative neue Generation von Leuchtstofflampen mit einem Rohrdurchmesser von 16 mm. Sie wurden speziell für das Einsparen von Energie und für das Design von kompakten Leuchten entwickelt. Bedingt durch ihre Konstruktion werden die lichttechnischen Eigenschaften dieser Leuchtmittel sehr stark durch die Umgebungstemperatur beeinflusst. Zudem können abweichende Kombinationen von Lampe und elektronischem Vorschaltgerät unterschiedliche Lichtströme ergeben. Lichttechnische Eigenschaften von Leuchten werden gemäss internationalen Normen gemessen und beurteilt (z. B. CIE 121 [2] oder EN 13032-1 [3]). Diese Normen reichen aber nicht aus, um genügend reproduzierbare und vergleichbare Messergebnisse zu erhalten. Bei T5-Lampen muss besonders auf die Handhabung (z.B. Einbrennen in vertikaler Position) geachtet werden. Aus diesem Grund hat METAS in Zusammenarbeit mit verschiedenen In- und Ausländischen Lampen- und Leuchtenherstellern ein verfeinertes Messverfahren entwickelt und im Rahmen des neuen Minergie-Labels für Leuchten veröffentlicht [4]. Sämtliche Messungen erfolgten gemäss diesem Verfahren. Die Umgebungstemperatur betrug (25.0 ± 0.5) °C.

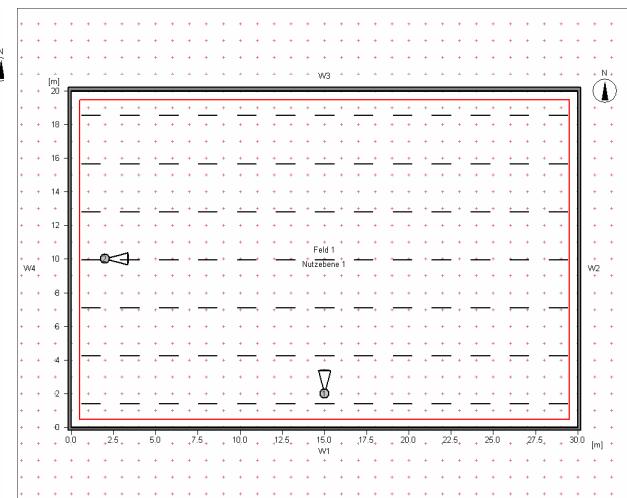
3.5 Lichttechnische Bewertung mittels numerischer Simulationen

Zur Beurteilung der lichttechnischen Eigenschaften in der Praxis werden je eine Beleuchtungssituation in einem Büro- sowie einer Lagerhalle mit den verschiedenen T5-Lampen/Leuchten simuliert. Die Beleuchtungsstärken, Gleichmässigkeiten und UGR-Blendwerte werden mittels eines kommerziellen Beleuchtungsberechnungsprogramms berechnet [6]. Der Bürraum wird mit klassischen T8-Rasterleuchten bestückt, die Lagerhalle mit T8-Lichtleisten.

Skizzen der Versuchsräume



Figur 5 Grundriss des für die Berechnungen benutzten Bürraums



Figur 6 Grundriss der für die Berechnungen benutzten Lagerhalle

Zusammenstellung der Berechnungswerte

Die zur Berechnung notwendigen Parameter wurden wie folgt angenommen:

- Höhe der Bewertungsfläche (Nutzebene) 0.75 m
- Raumhöhe: Lagerhalle (Fig. 5): 8 m, Bürraum (Fig. 6): 3 m
- Höhe der Leuchtenebene, Lagerhalle: 7.70m, Bürraum: 2.50 m
- Raumreflexionswerte B/W/D = 0.2/0.5/0.7
- Beobachterhöhe 1.2 m, Beobachterstandorte und Blickrichtungen entsprechend den Skizzen
- Wartungsfaktor 0.67
- Verwendeter Rechenalgorithmus: mittlerer bis hoher Indirektanteil

4. Begriffe

Zur Verbesserung des Verständnisses werden nachfolgend einzelne Fachbegriffe erläutert. Generelle Definitionen der lichttechnischen Begriffe können in einschlägiger Literatur nachgeschlagen werden [5].

4.1 Betriebswirkungsgrad

In der Regel erzeugen Leuchten geringere Lichtströme als frei brennende Lampen, denn die eingebaute Optik und ungünstiges Temperaturverhalten empfindlicher Lampen führen zu Lichtverlusten. Der Betriebswirkungsgrad gibt Aufschluss über die lichttechnische Effizienz einer Leuchte, liefert aber keine qualitative Aussage über deren Lichtstärkenverteilung. Ein Vergleich ist daher nur unter Leuchten zulässig, die charakteristisch identische Lichtstärkenverteilungen aufweisen.

4.2 Cold Spot Temperatur

Der „Cold Spot“ ist der kälteste Punkt auf der Lampenoberfläche. Bei stabförmigen T5-Leuchtstofflampen befindet er sich auf der Stempelseite beim Übergang Glasrohr – Metallkappe (siehe Fig. 7). Die Temperatur dieses Punktes bestimmt im Wesentlichen den Lichtstrom der Lampe. Da der Einfluss der Temperatur auf T8-Lampen gering ist, wird er in der Regel bei Messungen nicht erhoben.



Figur 7 Messung der Cold Spot - Temperatur einer T5 Lampe

4.3 Gesamtlightstrom auf Nutzebene

Der Gesamtlightstrom auf Nutzebene Φ_{nutz} bezeichnet den gesamten durch die installierte Beleuchtung in einem Raum erzeugten Lightstrom bezogen auf die Fläche des Raumes auf der Höhe der Nutzebene (üblicherweise 0.75 m). Das Verhältnis Φ_{nutz} / P_{lum} des Gesamtlightstroms und der gesamten installierten elektrischen Leistung in lm/W ist die wichtigste Kenngröße zur Beurteilung der Energieeffizienz einer Beleuchtung.

4.4 UGR- Blendungsbeurteilung

Als Mass für die Blendung einer Leuchte werden die von der CIE empfohlenen UGR-Werte (Unified Glare Rating) [8] bestimmt. In der folgenden Tabelle ist die Zuordnung der UGR-Werte zur Blendungs-empfindung zusammengestellt.

UGR Grenzwert	Güteklaasse nach CIE	Urteil	Zugehörige Arbeit
16	A	Blendung zwischen nicht vorhanden und merkbar	Sehr anspruchsvolle Sehaufgabe
19	B		Aufgabe mit hohem visuellem Anspruch
22	C	Blendung merkbar	Aufgabe mit mittlerem visuellem Anspruch
25	D		Aufgabe mit niedrigem visuellem Anspruch
28	E	Blendung zwischen merkbar und störend	Nicht ständig besetzte Arbeitsplätze mit Aufgaben mit niedrigem visuellem Anspruch

Tabelle1 Interpretation der UGR-Werte (Unified Glare Rating)

4.5 Messunsicherheit

Die angegebene Messunsicherheit ist das Produkt der kombinierten Standardunsicherheit mit einem Erweiterungsfaktor $k = 2$. Der Messwert (y) und die dazugehörige erweiterte Messunsicherheit (U) geben den Bereich $(y \pm U)$ an, der den Wert der gemessenen Grösse mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 95 % enthält.

Die Messunsicherheit beinhaltet Unsicherheitsbeiträge vom benutzten Normal, vom Messverfahren, von den Umgebungsbedingungen und vom Prüfling.

Für die Messgrössen in diesem Bericht betragen die Messunsicherheiten:

- Lichtstärkenverteilung $I_v(c, \gamma)$: $U = 0.07 \cdot I_v(c, \gamma)$ (Mittelwert, Einzelpunkte können eine höhere Unsicherheit aufweisen).
- Lichtstrom Φ_{mes} : $U = 0.05 \Phi_{\text{mes}}$

4.6 Rückverfolgbarkeit der Messresultate

Die angegebenen Messresultate sind auf nationale Normale und damit auf international abgestützte Realisierungen der SI-Einheiten rückverfolgbar. METAS betreibt ein integrales Qualitätsmanagementsystem nach der internationalen Norm ISO 17025. Weitere Informationen sind auf der Webseite von METAS erhältlich (<http://www.metas.ch>).

5. Ergebnisse

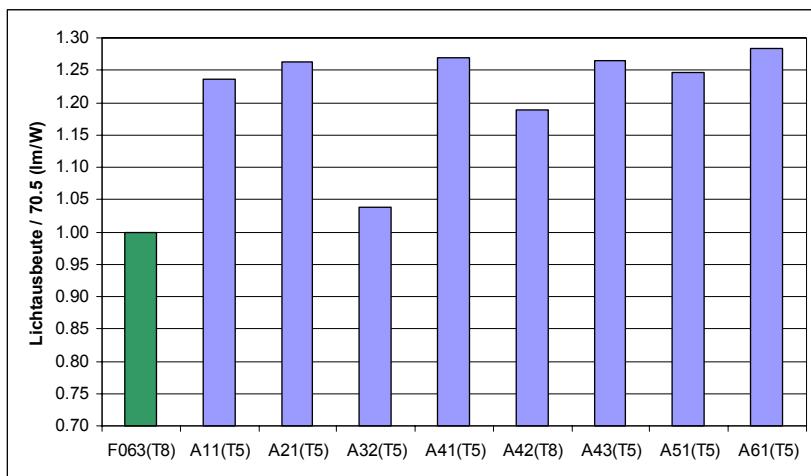
Auf den folgenden Seiten werden die Resultate zusammengefasst und diskutiert. Ausführliche Informationen mit Produktbezeichnungen sind im Messbericht 116-00654 [7] enthalten. Sämtliche Messwerte basieren auf Mittelwerten von mehreren Einzelmessungen.

5.1 Lampendaten (Lampe freihängend)

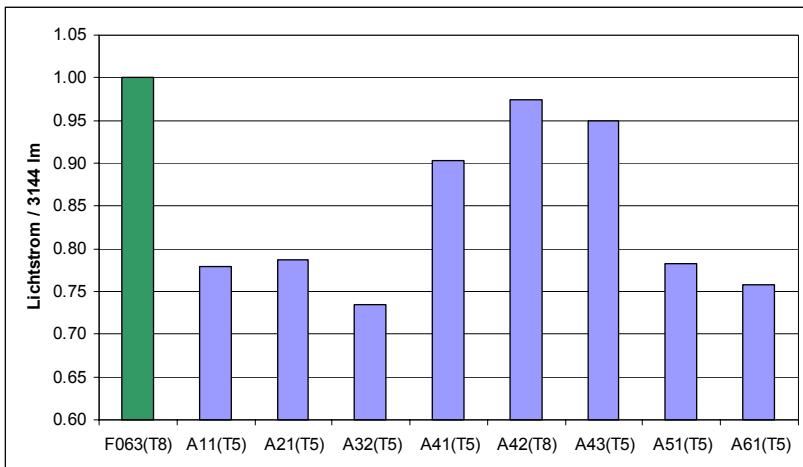
Die wichtigsten Grundeigenschaften der Adapter lassen sich bereits aus der Messung der freihängenden Lampe ableiten. Die Resultate der Messungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst und in den Figuren 8 und 9 illustriert.

	Elektrische Betriebsdaten				Lichtstrom		Lichtausbeute	Cold Spot-Temperatur
	gemessen				nominal	gemessen	gemessen	gemessen
ID	$U_{\text{prim}} / (\text{V})$	$I_{\text{sys}} / (\text{mA})$	$P_{\text{sys}} / (\text{W})$	PF	$\Phi_{\text{hom}} / (\text{lm})$	$\Phi_{\text{mes}} / (\text{lm})$	(lm/W)	$T_{\text{cs}} / (\text{°C})$
F063(T8)	230.0	411	44.59	0.473	3355	3144	70.5	-
A11(T5)	230.0	125	28.12	0.977	2600, 2900	2452	87.2	53.4
A21(T5)	230.0	124	27.8	0.975	2600, 2900	2477	89.0	51.8
A32(T5)	230.0	138	31.4	0.994	2600, 2900	2307	73.2	39.6
A41(T5)	230.0	139	31.7	0.992	2600, 2900	2837	89.5	73.5
A42(T8)	230.0	163	36.52	0.975	3350	3061	83.8	-
A43(T5)	230.0	156	33.5	0.934	2600, 2900	2983	89.2	41.2
A51(T5)	230.0	125	28.0	0.978	2600, 2900	2458	87.8	55.3
A61(T5)	230.0	118	26.3	0.967	2600, 2900	2382	90.5	45.3

Tabelle 2 Gemessene elektrische und lichttechnische Daten einer freihängenden Lampe für verschiedene Adapter. Der nominale Lichtstrom von T5-Lampen beträgt 2600 lm bei 25°C und 2900 lm bei 35°C Umgebungstemperatur [16].



Figur 8 Lichtausbeute für verschiedene Lampenadapter im Vergleich zum Referenzwert (grün)



Figur 9 Lichtstrom für verschiedene Lampenadapter im Vergleich zum Referenzwert (grün)

Beobachtungen:

- Die Lichtausbeute von T5-Lampen mit Adapters ist deutlich höher als von KVG betriebenen T8-Lampen (Zunahme zwischen 19% und 27%, mit einer Ausnahme (A32) welche nur 4% höher ist), siehe Fig. 8. Hauptgründe sind das Leuchtmittel selbst sowie das elektronische Vorschaltgerät.
- Die Reduktion des Lichtstromes und somit die zur Verfügung stehende Lichtmenge ist stark Produkte abhängig: Bei drei Produkten beträgt die Einbusse nur 3% bis 10%, bei vier Produkten zwischen 21% und 27%, siehe Fig. 9.
- Bei einer Umgebungstemperatur von 25°C liegt der gemessene Lichtstrom durchschnittlich 7% unter dem Nominalwert. Zwei Ausnahmen: (A41 + 9% und A43 +10%). Der Lichtstrom einer T5-Lampe ist u. a. stark abhängig von der Temperatur des Cold Spots. Bei einer frei brennenden T5-Lampe ist diese Temperatur direkt abhängig von der Umgebungstemperatur. Einzelne Adapter verdecken die Enden der Leuchtstoffröhre und somit den Cold Spot, so dass sich die Cold Spot Temperatur auf einen höheren Pegel einstellt und der Lichtstrom zunimmt.
- Hauptgrund, warum der Lampenlichtstrom und die Lichtausbeute bei Produkt A32 wesentlich tiefer liegen, ist die besondere Bauform des Adapters. Der einteilige T5-Adapter hat einen Verbindungssteg, welcher wie ein optisch-diffrakter Reflektor wirkt, und dadurch einen Teil des Lampenlichtstromes absorbiert. Andererseits erhöht dieser Reflektor die Lichtstärke in Richtung der Nutzungsebene leicht (siehe Abschnitt „T8-Lichtleiste mit Reflektoren“).
- Bei Produkt A41 wurde eine sehr hohe Cold Spot Temperatur festgestellt, welche sich negativ auf die Lampenlebensdauer auswirken kann.
- Es wurde keinen signifikanten Unterschied zwischen den zwei verschiedenen T5-Leuchtmitteln zweier unterschiedlichen Hersteller festgestellt.

Da die gemessenen Lichtströme stark Produkte abhängig und sehr verschieden von den Nominalwerten sind, wird in der Folge für die Auswertung der Leuchtenmessung mit den effektiv gemessenen Lichtströmen gearbeitet.

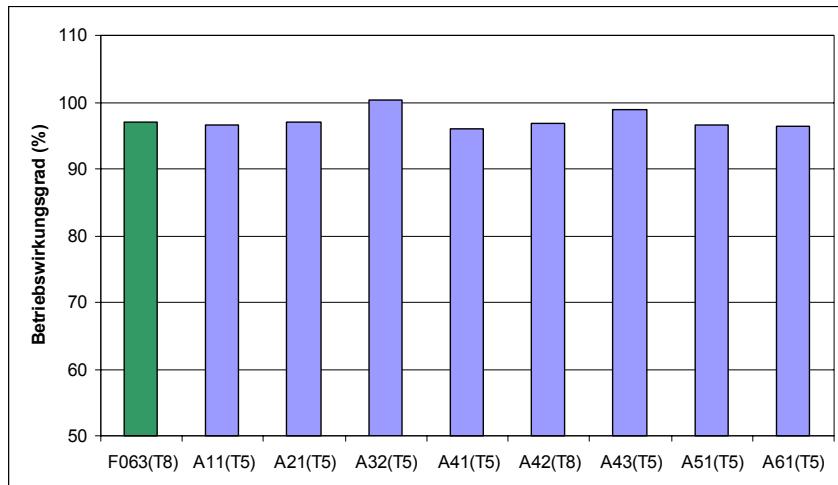
Aufgrund der Lichtstrommessung sind die zwei aussichtsreichsten Produkte die Adapter A42 (T8-Adapter) und A43 (T5 Adapter). Vorbehalte gegenüber dem Adapter A41 sind angebracht (viel zu hohe Cold Spot Temperatur).

5.2 T8-Lichtleiste

Eine mögliche Anwendung der Adapter ist das Ersetzen von T8-Leuchtmitteln in bestehenden einfachen Leuchten (T8-Lichtleisten, siehe Figur 1). Die Messresultate sind in Tabelle 3 zusammengefasst und in Figur 10 illustriert.

	Leuchten-Lichtstrom (lm)	Betriebswirkungsgrad, η_{LB} , normiert auf gemessenen Lampenstrom (%)	Cold Spot-Temperatur (°C)
ID	(lm)	(%)	(°C)
F063(T8)	3053	97.1	-
A11(T5)	2371	96.7	54.2
A21(T5)	2403	97.0	50.8
A32(T5)	2311	100.4	39.7
A41(T5)	2721	95.9	73.7
A42(T8)	2565	96.9	-
A43(T5)	2950	98.9	41.6
A51(T5)	2372	96.5	57.5
A61(T5)	2296	96.4	45.1

Tabelle 3 gemessene elektrische und lichttechnische Daten einer T8-Lichtleiste mit verschiedenen Adapters



Figur 10 Betriebswirkungsgrad der T8-Lichtleiste für verschiedene Lampenadapter im Vergleich zum Referenzwert (grün)

Beobachtungen:

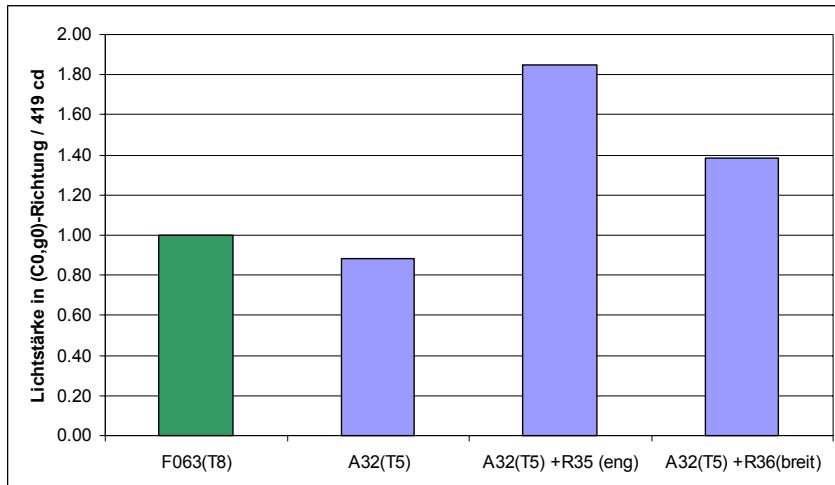
- Wie zu erwarten war, ist der Betriebswirkungsgrad der T8-Lichtleiste für die verschiedenen Adapter ähnlich. Die unterschiedliche Röhrengeometrie hat wenig Einfluss auf die Lichtausbreitung einer T8-Lichtleiste.
- Bei Produkt A32 beträgt der Betriebswirkungsgrad 100 %, da der Reflektor in den Adapter integriert ist und die Lichtleiste auf die Lichtstärkenverteilung praktisch keinen Einfluss mehr hat. Dieser Adapter besitzt aber einen deutlich tieferen Lichtstrom (s. Abschnitt „Lampenadapter“).

5.3 T8-Lichtleiste mit Reflektoren

Eine Möglichkeit die nutzbare Lichtmenge zu erhöhen ist das Einsetzen von Reflektoren. Untersucht wurde die Wirkung zweier verschiedener Reflektoren auf den Betriebswirkungsgrad, den Leuchtenlichtstrom und der Lichtstärkenverteilung. Die Resultate der Messungen sind in der Tabelle 4 zusammengefasst und in den Figuren 11 bis 15 illustriert.

		Betriebswirkungsgrad, η_{LB} , normiert auf gemessenen Lampenstrom	Leuchten-Lichtstrom	Cold Spot-Temperatur	Lichtstärke in Richtung (C0/γ0)
ID	Reflektor	(%)	(lm)	(°C)	cd
F063(T8)	ohne	97.1	3053	-	419
A32(T5)	integriert in Reflektor	100.4	2311	39.7	371
A32(T5)	R35 (eng)	95.9	2166	42.6	774
A32(T5)	R36 (breit)	96.9	2212	42	581

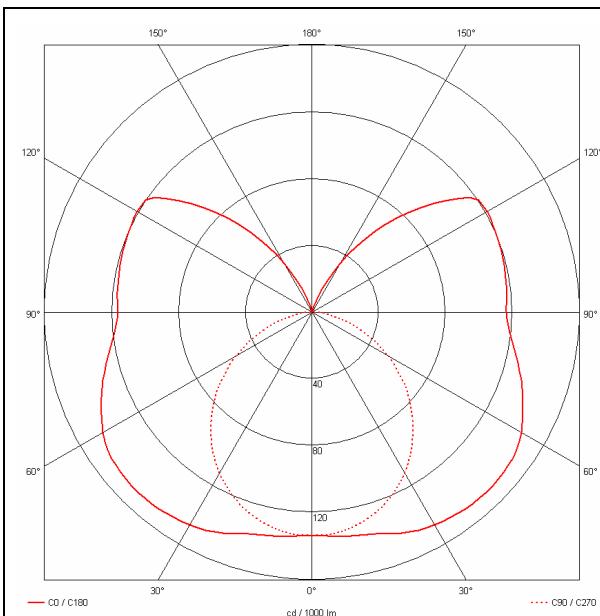
Tabelle 4 gemessene elektrische und lichttechnische Daten einer T8-Lichtleiste mit einem Adapter mit zwei verschiedenen und ohne Reflektor im Vergleich zum Referenzwert



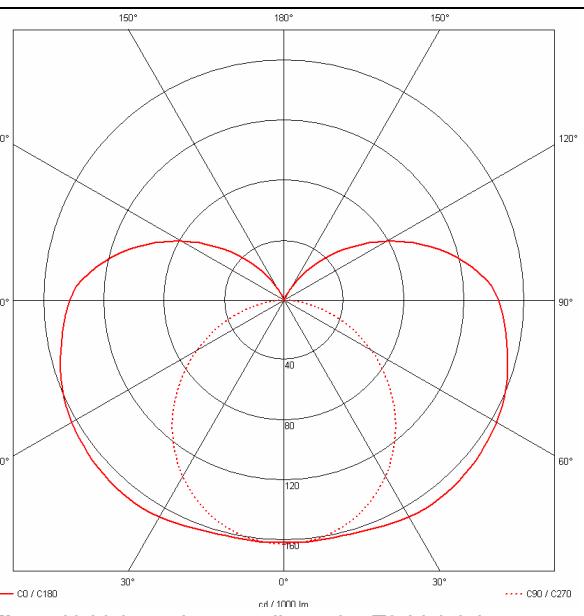
Figur 11 Lichtstärke in Nutzungsrichtung der T8-Lichtleiste für einen Adapter mit zwei verschiedenen Reflektoren im Vergleich zum Referenzwert (grün)

Beobachtungen:

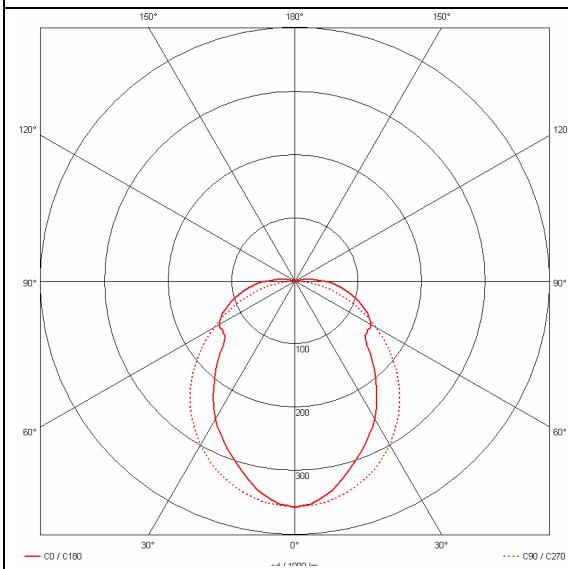
- Die Lichtstärkeverteilung der Lichtleiste bestückt mit dem T5-Adapter (Figur 13) ändert sich leicht gegenüber der originalen T8 bestückten Lichtleiste (Figur 12). Grund dafür ist der unterschiedliche Röhrendurchmesser.
- Der Reflektor reduziert leicht den Betriebswirkungsgrad da ein Teil des Lichtes durch ihn absorbiert wird. Hingegen wird die Lichtstärke in die Nutzungsrichtung klar erhöht.
- Die Erhöhung der Lichtstärke in Hauptstrahlrichtung (siehe Figur 14 und 15, 0° Richtung) ist keine Eigenschaft der T5-Adapter sondern der Reflektoren. Vergleichbare Eigenschaften sind deshalb auch mit Reflektoren für T8-Lampen möglich. Die Erhöhung der Lichtstärke in Hauptstrahlrichtung kann nur bedingt in generellen Beleuchtungssituationen benutzt werden (z.B. bei isolierter Beleuchtung). Sobald in einem Raum mehrere Leuchten verwendet werden, verringert sich dieser Nutzen deutlich (siehe auch Lagerhalle-Simulationen).
- Die Reflektoren beeinflussen die Lichtstärkeverteilung wesentlich. Der Einsatz muss somit individuell den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden.



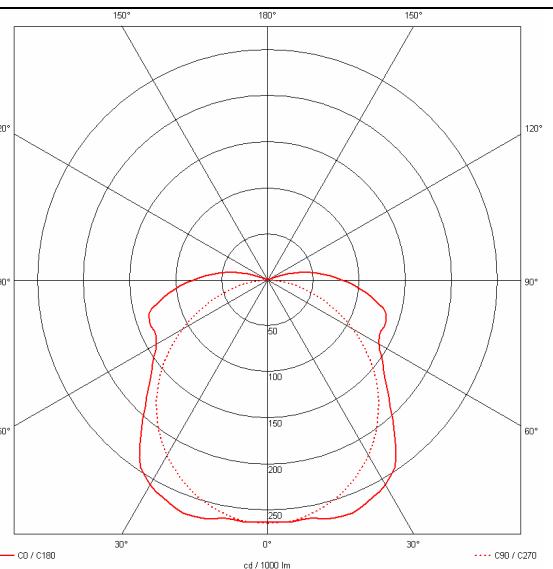
Figur 12 Lichtstärkenverteilung der T8-Lichtleiste, bestückt mit einer T8-Lampe 36 W



Figur 13 Lichtstärkenverteilung der T8-Lichtleiste, bestückt mit einer T5-Lampe 28 W und Adapter A32



Figur 14 Lichtstärkenverteilung der T8-Lichtleiste, bestückt mit einer T5-Lampe 28 W und Adapter A32 sowie engstrahlendem Reflektor R35



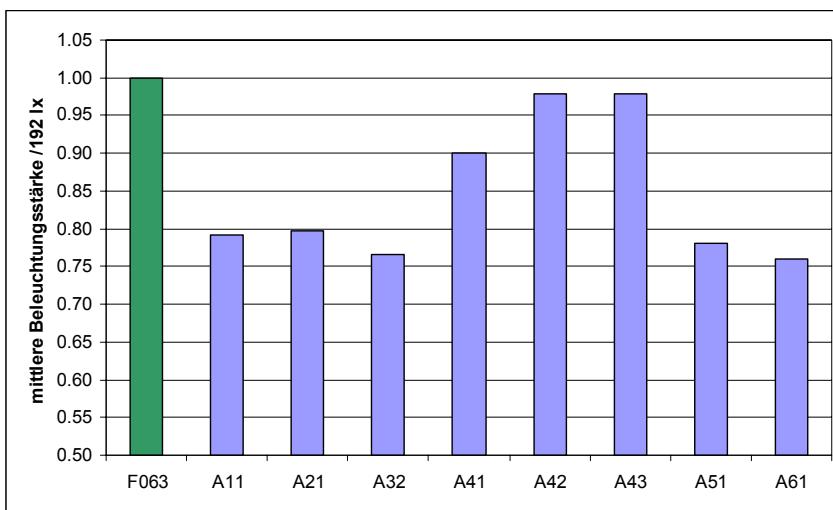
Figur 15 Lichtstärkenverteilung der T8-Lichtleiste, bestückt mit einer T5-Lampe 28 W und Adapter A32 sowie breitstrahlendem Reflektor R36

5.4 Anwendung der T8-Lichtleiste in einer Lagerhalle

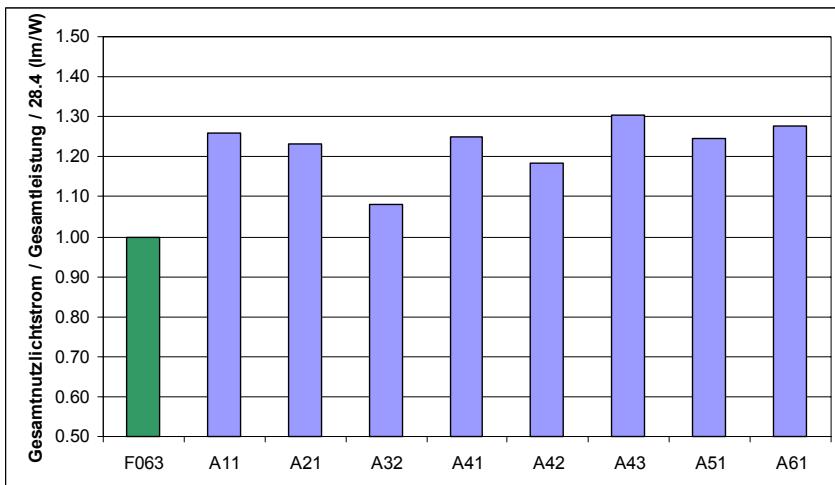
Die Auswirkung der verschiedenen Lichtstärkenverteilungskurven (LVKs) auf die Qualität des Lichtes wird anhand von Simulationen berechnet. T8-Lichtleisten wurden/werden hauptsächlich in grossen Räumen mit einfachen Sehaufgaben eingesetzt. Ausgangslage ist deshalb eine Lagerhalle, die mit T8-Lichtleisten bestückt ist, welche auf einer Nutzebenenhöhe von 0.75 m eine mittlere Beleuchtungsstärke von rund 200 lx ergeben. Diese Lichtleisten werden nun mit T5-Lampen inkl. den verschiedenen Adapters bestückt und die lichttechnischen Parameter erhoben. Die Resultate der Simulationen sind in der Tabelle 5 zusammengefasst und in den Figuren 16 und 17 illustriert.

Leuchte	Elektrische Leistung	Mittlere Beleuchtungsstärke auf Nutzfläche	Gesamtlichtstrom auf Nutzebene / Gesamtleistung	Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärke	maximaler UGR-Blendungsgrad	
	P_{lum} / W	E_{hm} / lx	$\Phi_{nutz} / P_{lum} / (\text{lm/W})$	E_{min} / E_{max}	Beob 1	Beob 2
F063 (T8)	4059	192	28.4	0.48	22.5	20.4
A11s	2548	152	35.8	0.47	23.2	21.6
A21s	2620	153	35.0	0.47	23.2	21.6
A32s	2876	147	30.7	0.48	24.1	22.4
A41s	2921	173	35.5	0.47	23.5	22.0
A42s (T8)	3358	188	33.6	0.48	22.2	19.5
A43s	3048	188	37.0	0.47	23.9	22.5
A51s	2539	150	35.4	0.47	23.1	21.5
A61s	2412	146	36.3	0.47	22.9	21.4

Tabelle 5 Berechnete elektrische und lichttechnische Daten einer Simulation der Lagerhalle



Figur 16 Mittlere Beleuchtungsstärke in der Nutzebene einer Lagerhalle im Vergleich zum Referenzwert (grün). Als Leuchte wird eine T8-Lichtleiste bestückt mit verschiedenen Adapters verwendet.



Figur 17 Verhältnis des gesamten Lichtstromes in Nutzebene einer Lagerhalle zur elektrischen Systemleistung. Als Leuchte wird eine T8-Lichtleiste bestückt mit verschiedenen Adapters verwendet.

Beobachtungen:

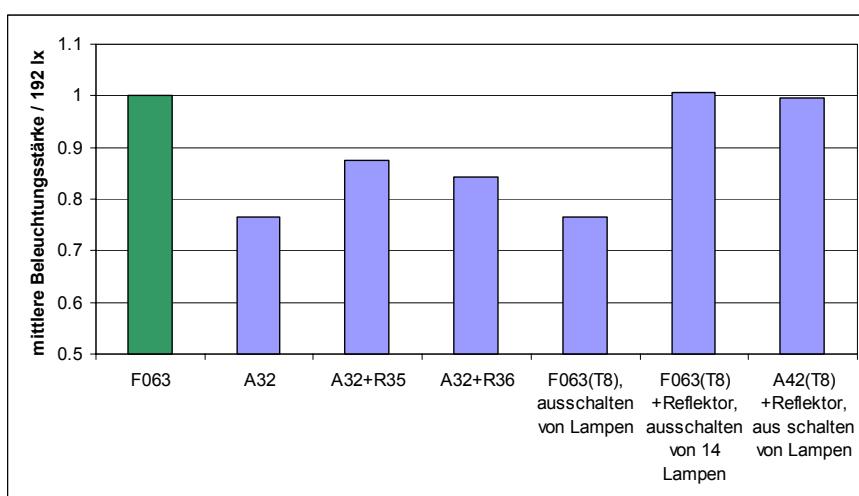
- Der Rückgang der mittleren Beleuchtungsstärke und der elektrischen Gesamtleistung im Vergleich zu den Referenzwerten entspricht in etwa die der einzelnen Lampen (Vergleich zwischen Figur 16 mit Figur 9). Dieser Rückgang ist stark Produkte abhängig. Im schlechtesten Fall (A32) beträgt er 24% im Vergleich zur Original T8-Leuchte. Produkte A42 und A43 sind am viel versprechendsten.
- Das Verhältnis der gesamten Lichtmenge auf der Nutzungsebene zur gesamten elektrischen Leistung ist bei sämtlichen Adapters deutlich höher als die T8-Lichtleiste. Dies entspricht etwa den Erwartungen gemäss der Lichtausbeute der einzelnen Adapter (Vergleich zwischen Figur 17 und Figur 8).
- Die Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärke ändert unwesentlich.
- Der Blendungsgrad der T5-Adapter ohne Reflektor ist leicht höher als der der T8-Leuchte. Dies ist eine Eigenschaft des Leuchtmittels selbst. Die Blendwerte sämtlicher Kombinationen erlauben jedoch Aufgaben mit mittlerem visuellem Anspruch.

5.5 Anwendung der T8-Lichtleiste mit Reflektoren bestückt in einer Lagerhalle

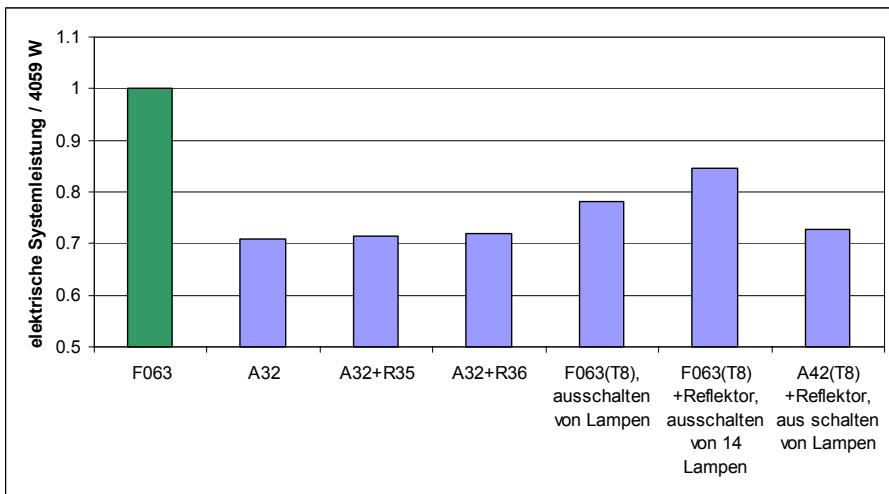
Abschnitt 5.3 illustrierte die ausgeprägte Erhöhung der Lichtstärke in die Hauptbeleuchtungsrichtung bedingt durch den Einsatz von Reflektoren. Die Anwendbarkeit der mit Reflektoren bestückten Lichtleisten wird nun errechnet. Zusätzlich wurde berechnet, wie gross die Einsparungen sind, falls Leuchten gezielt ausgeschaltet werden. Die Resultate der Simulationen sind in der Tabelle 6 zusammengefasst und in den Figuren 18 und 19 illustriert.

Leuchte	Elektrische Leistung	Mittlere Beleuchtungsstärke auf Nutzebene	Gesamtlichtstrom auf Nutzebene/Gesamtleistung	Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärke	maximaler UGR-Blendungsgrad	
	P_{lum} / W	E_{hm} / lx	$\Phi_{nutz} / P_{lum} (\text{lm/W})$	E_{min} / E_{max}	Beob 1	Beob 2
F063 (T8)	4059	192	28.4	0.48	22.5	20.4
A32s	2876	147	30.7	0.48	24.1	22.4
A32R35s	2903	168	34.7	0.45	22.1	22.4
A32R36s	2921	162	33.3	0.45	22.4	22.3
A42s (T8)	3358	188	33.6	0.48	22.2	19.5
F063(T8), ausschalten von 20 Lampen	3167	147	27.6	0.58	22.2	20.0
F063 (T8) +Reflektor, ausschalten von 14 Lampen	3427	191	33.4	0.52	22.8	23.3
A42(T8) +Reflektor, ausschalten von 11 Lampen	2952	193	39.2	0.53	22.7	23.4

Tabelle 6 Berechnete elektrische und lichttechnische Daten einer Simulation der Lagerhalle. Als Leuchte wird eine T8-Lichtleiste bestückt mit einem Adapter mit und ohne Reflektoren verwendet.



Figur 18 Verhältnis der mittleren Beleuchtungsstärke zum Referenzwert. Als Leuchte wird eine T8-Lichtleiste bestückt mit einem Adapter mit und ohne Reflektoren verwendet.



Figur 19 Verhältnis der elektrischen Systemleistung zum Referenzwert.

Als Leuchte wird eine T8-Lichtleiste bestückt mit einem Adapter mit und ohne Reflektoren verwendet.

Beobachtungen:

- Der Einsatz von Reflektoren erhöht die mittlere Beleuchtungsstärke um 10% bis 15%. Hingegen ist die Erhöhung viel kleiner als dies die Messung an einer einzelnen Leuchte suggeriert, sie betrug bis zu 80% in die Hauptaustrahlungsrichtung (siehe Figur 18 im Vergleich zu Figur 11). Durch den Einsatz der Reflektoren wird das Licht enger in eine bestimmte Richtung gelenkt. In der Nutzebene erhalten die Beobachtungspunkte aber dadurch Licht aus einer geringeren Anzahl Lichtquellen. Die Erhöhung der Beleuchtungsstärke ist somit geringer als bei einer einzelnen isolierten Lichtquelle. Vorgängige Studien haben dies nicht berücksichtigt [13,17].
- Der Einsatz von Reflektoren kann somit die Lichtstromeinbusse von schlechten T5-Adaptoren (welche einen Lichtstromrückgang bis 27% aufweisen) nur beschränkt kompensieren. Hingegen können Reflektoren durchaus sinnvoll in bestehenden Systemen eingesetzt werden und zu Energieeinsparungen führen (z.B: kombiniert mit dem gezieltem Abschalten von Lampen).
- Falls die Anwendung eine Einbusse der mittlere Beleuchtungsstärke von rund 25% erlaubt beträgt die Leistungseinsparung zwischen dem Einsatz des Lampenadapters A32 und dem Einsatz einer reduzierten Anzahl ursprünglicher Lampen, bestückt mit Reflektoren, nur 10%.
- Die Reflektoren beeinflussen die Lichtstärkeverteilung wesentlich z.B. wird die Decke zwischen den Leuchten weniger angestrahlt und erscheint somit dunkler. Der Einsatz muss somit individuell den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Eine verlässliche Aussage über die Erhöhung der Beleuchtungsstärke kann somit nur individuell gemacht werden.
- Alle Blendwerte erlauben Aufgaben mit mittlerem visuellem Anspruch.

5.6 T8-Rasterleuchte 36W bei Anwendung in einem Bürraum

Als mögliche weitere Anwendung wurde eine anspruchsvollere Beleuchtungssituation gewählt: Ein Bürraum, welcher mit bestehender T8-Rasterleuchte (Figur 2) bestückt ist, soll mittels Adapter umgerüstet werden. Die benötigte mittlere Beleuchtungsstärke beträgt 500 lx.

Als erstes wurden die Adapter in die T8-Rasterleuchte eingebaut und die Lichtstärkenverteilung, der absolute Lichtstrom und der Betriebswirkungsgrad bestimmt. Die Resultate der Messungen sind in der Tabelle 7 zusammengefasst. Detaillierte Resultate sind im Messbericht 116-00654 ersichtlich [7]. Nur wenige Produkte liessen den Einbau in Rasterleuchten zu. Auch war der Einsatz von zusätzlichen Reflektoren nicht möglich. Der Betriebswirkungsgrad der T8-Rasterleuchte ist für verschiedene Adapter ähnlich. Die unterschiedliche Geometrie der T5-Lampe und der T8-Lampe hat in Bezug auf die Lichtstärkeverteilung für diese einfache Rasterleuchte keinen signifikanten Einfluss. Generell wurde ein Rückgang des Lichtstroms vergleichbar mit dem Rückgang des Lichtstroms an einer freihängenden Lampe festgestellt. Das Produkt A41 generiert zwar den höchsten Lichtstrom, die hohe Cold Spot Temperatur kann sich aber auf die Lampenlebensdauer negativ auswirken.

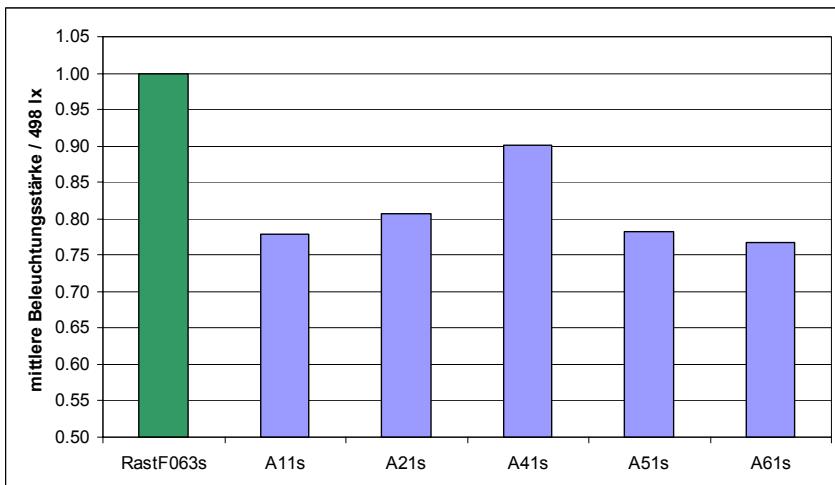
	Lichtstrom	Betriebswirkungsgrad, η_{LB}	Cold Spot-Temperatur
ID	(lm)		(°C)
F063(T8)	2160	68.7	-
A11(T5)	1714	69.9	55.8
A21(T5)	1739	70.2	55.6
A32(T5)	nicht einsetzbar		
A41(T5)	1960	69.1	75.4
A42(T8)	nicht einsetzbar		
A43(T5)	nicht einsetzbar		
A51(T5)	1701	69.2	56.2
A61(T5)	1665	69.9	48.8

Tabelle 7 Gemessene elektrische und lichttechnische Daten einer T8-Rasterleuchte mit verschiedenen Adaptern

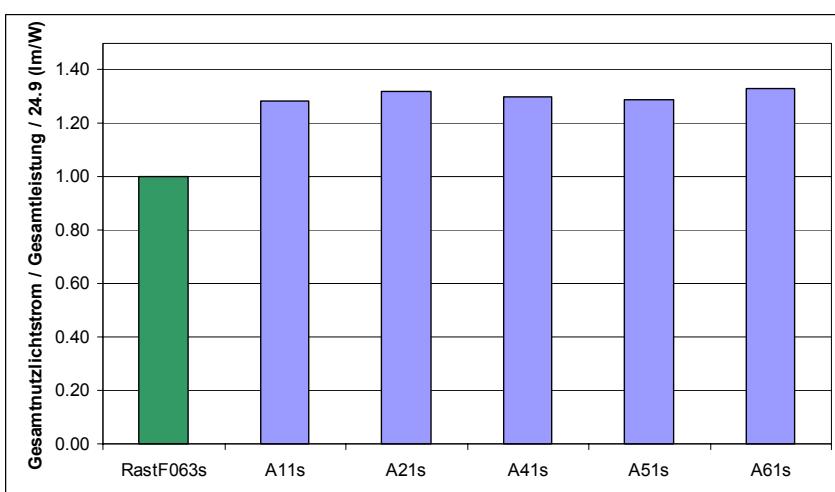
Die Resultate der Bürraum-Simulationen sind in Tabelle 8 zusammengefasst und in den Figuren 20 und 21 illustriert. Auch hier entspricht der Rückgang der mittleren Beleuchtungsstärke und der elektrischen Gesamtleistung im Vergleich zu den Referenzwerten in etwa den einzelnen Lampen (Vergleich zwischen Figur 20 und Figur 9). Die Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärke und der Blendungsgrad ändern unwesentlich.

ID	Elektrische Leistung P_{lum} / W	Beleuchtungsstärke auf Nutzfläche $E_{hm}(lx)$	Gesamtnutzlichtstrom / Gesamtleistung $\Phi_{nutz} / P_{lum} (lm/W)$	Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärke E_{min} / E_{max}	maximaler UGR-Blendungsgrad	
					Beob 1	Beob 2
RastF063s	400.5	498	24.9	0.61	17.2	17.1
A11s	242.1	388	32.0	0.62	17.0	16.3
A21s	243.9	402	32.9	0.60	16.5	16.2
A41s	277.2	449	32.4	0.62	17.2	16.9
A51s	243	390	32.1	0.62	16.7	16.4
A61s	231	382	33.1	0.62	16.6	16.3

Tabelle 8 Berechnete elektrische und lichttechnische Daten einer Simulation des Bürraums



Figur 20 Verhältnis der mittleren Beleuchtungsstärke zum Referenzwert (grün).
Als Leuchte wird eine T8-Rasterleucht bestückt mit verschiedenen Adaptern.



Figur 21 Verhältnis des gesamten Lichtstromes in der Nutzebene eines Büorraums
zur elektrischen Systemleistung. Als Leuchte wird eine T8-Rasterleucht bestückt mit
verschiedenen Adaptern verwendet.

Da bei anspruchsvollen Beleuchtungssituationen meistens eine minimale Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche gefordert wird und die Beleuchtung dadurch für T8-Leuchten optimiert wurde ist der Einsatz von T5-Adapter unter dieser Voraussetzung nicht empfehlenswert. Falls weniger Licht benötigt wird, kann dies auch durch das gezielte Ausschalten von Leuchten erreicht werden. Die zwei ausreichendsten Adapter (A42 und A43) können bedingt durch ihre Bauart nicht in Rasterleuchten eingebaut werden.

6. Diskussion

Die meisten Ergebnisse wurden bereits direkt nach der Darstellung der Messresultate diskutiert. Eine generelle Erkenntnis ist, dass die wichtigsten lichttechnischen Grundeigenschaften sich bereits aus der Messung der freihängenden Lampe ableiten lassen, nämlich:

- Die Lichteausbeute ist bei sämtlichen Adapters deutlich höher als bei der T8-Lampe (4% bis 27%). Diese Erhöhung kann aber nur beschränkt genutzt werden, da der Lichtstrom bei einigen Adapters deutlich tiefer liegt als bei der ursprünglichen T8-Lampe.
- Der Rückgang des Lichtstroms ist stark Produkte abhängig. Die meisten Produkte haben einen Rückgang des Lichtstromes von über 20% zur Folge. Bei 3 Produkten lag die Einbusse bei nur 3% bis 10%. Eines dieser 3 Produkte besaß eine unüblich hohe Cold Spot Temperatur (über 70°C), welche sich negativ auf die Lampenlebensdauer auswirken kann.
- Der Einsatz von Reflektoren kann die Beleuchtungsstärken auf der Nutzfläche bedingt erhöhen (10% bis 15%), kann aber die Lichtstromeinbusse der meisten Adapter nicht kompensieren. Hingegen können Reflektoren durchaus sinnvoll in bestehenden Systemen eingesetzt werden und zu Energieeinsparungen führen (z.B: kombiniert mit dem gezielten Abschalten von Lampen). Da die Lichtstärkeverteilung stark ändert, muss der Einsatz von Reflektoren individuell geklärt werden. Die Angabe über eine Erhöhung der Lichtstärke in eine bestimmte Richtung, resp. der Beleuchtungsstärke an einem einzelnen Punkt lässt keine Schlüsse auf die Gesamtsteigerung in reellen Beleuchtungssituationen zu.

6.1 Anwendbarkeit , Wirtschaftlichkeit und Qualität

Eine umfassende Studie zur Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Leuchtenadapters wurde bereits veröffentlicht [12]. Die jetzige Untersuchung bestätigt sämtliche Aussagen des bereits veröffentlichten Berichts, u.a. dass die Anwendbarkeit der Adapter auf einfache Beleuchtungssituationen limitiert ist. Viele Adapter können nicht in geschlossene Leuchten montiert werden. Hauptanwendung sind bestehende Beleuchtungsanlagen in grossen Räumen (Lagerhalle, etc). Die Wirtschaftlichkeit muss unter Berücksichtigung aller Aspekten (z.B. Rest-Nutzungsdauer der Anlage, Arbeitsaufwand für die Montage) individuell abgeschätzt werden. Zusätzlich müssen folgende Punkte beachtet werden:

6.2 elektromagnetischen Verträglichkeit

Nach wie vor schwierig sind verlässliche Aussagen bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) zu erhalten. Sämtliche Produkte sind zwar mit einem CE Zeichen versehen, welche im Prinzip die EMV bestätigt, eine kritische Beurteilung bleibt angebracht. So hat im November 2007 die Kriminalinspektion des Bundeslandes Baden-Württemberg gegen die Verantwortlichen der Vertreiber eines der T5-Adapter Produkte ein Ermittlungsverfahren wegen Falschdeklaration und Warenbetrug in Zusammenhang mit einer nicht gegebenen EMV eingeleitet. Der Hersteller der zwei viel versprechendsten Produkte konnte den Nachweis der EMV durch Prüfberichte belegen. Er weist aber darauf hin, dass es ausnahmsweise Situationen geben könnte, bei denen bedingt durch die Lampenkonstruktion, EMV-Grenzwerte überschritten werden können und unter Umständen ergänzende Messungen vor Ort angezeigt sind.

6.3 Lebensdauer und Schaltzyklen

Die vorliegende Studie hat die Lebensdauer und Anzahl Schaltzyklen nicht untersucht. Die Aussage basieren somit auf Angaben des Herstellers der zwei vielversprechendsten Produkte. Gemäß seinen internen Untersuchungen ergaben 25'000 Schaltungen im 15-Minutentakt über einen Zeitraum von 18 Monaten eine Lichteinbusse von lediglich 12%. Auch konnte der Dauereinsatz der Geräte von 26'000 Stunden nachgewiesen werden. Gemäß diversen Aussagen von Herstellern ist die Lebensdauer des elektronischen Vorschaltgerätes wesentlich länger als die des konventionellen Vorschaltgerätes.

6.4 Lampenlebensdauergarantie und Produkthaftung

Gemäß des deutschen Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) kann die Produkthaftpflicht des Leuchtenherstellers durch den nachträglichen Einbau von Adapter verloren gehen [14,15]. Auch können unter Umständen die Lampenlebensdauergarantien erlischen. Gegengutachten von Adapterherstellern legen die Rechtsvorschriften aber anders aus. Eine rechtsverbindliche Aussage ist schwierig und liegt außerhalb dieser vorliegenden Studie.

7. Schlussfolgerungen

Haupteinsatzgebiet von Lampenadapters ist das Umrüsten von bestehenden Beleuchtungseinrichtungen auf energieeffizientere Leuchtmittel inklusive Ersatz des konventionellen Vorschaltgerätes mit elektrischem Vorschaltgerät. Da die Adapter immer noch technisch weiterentwickelt werden und viele Produkte jeweils nur kurz auf dem Markt sind, kann dieser Bericht nur moment-gültige Aussagen machen.

Aus lichttechnischer Sicht kann der Einsatz der Adapter nicht ohne Vorbehalte erfolgen. Er muss im Einzelnen und entsprechend den Gegebenheiten abgeklärt werden. Wenn auch generell mit einer um durchschnittlich rund 20% verbesserten Energieeffizienz gerechnet werden darf, muss bei den meisten Produkten (5 von 8 Prüflingen) eine signifikante und meist inakzeptable Einbusse des Lichtstromes hingenommen werden, welche nur bedingt mit Reflektoren kompensiert werden kann. In diesen Fällen können ähnliche Einsparungen auch durch das gezielte Ausschalten von Leuchten erreicht werden. Nur zwei Produkte, darunter ein T8-T8 Adapter, zeigen eine nur geringe Einbusse des Lichtstroms. Bedingt durch ihre Konstruktion lassen sich diese beiden Adapter aber nicht in komplexere Leuchten einbauen (Rasterleuchte). Der Einsatz von Adapters beschränkt sich auf lichttechnisch einfache Beleuchtungssituationen. Speziell empfehlenswert zeigt sich der T8-T8 Adapter, da dieser nicht nur eine kleine Einbusse des Lichtstromes hat, sondern auch da die bereits eingesetzten Leuchtmittel weiterverwendet werden können.

Auf jeden Fall soll der Hersteller von Adapters mindestens folgende Nachweise erbringen:

- absoluter Lichtstrom unter Angabe des benutzten Leuchtmittels und dem Messverfahren. Das Messverfahren sollte den erhöhten Ansprüchen der T5-Lampen angepasst sein [4],
- Lichtausbeute unter Angabe des benutzten Leuchtmittels und dem Messverfahren
- EMV-Konformitätserklärung
- Lebensdauer des Adapters und des Leuchtmittels, geprüft entsprechend einem anerkannten Verfahren

Symbolverzeichnis

Symbol	Messgrösse	Masseinheit
η_{LB}	Betriebswirkungsgrad einer Leuchte [5 (845-09-39)]	1
η	Lichtausbeute einer Strahlungsquelle [5 (845-01-55)]	lm / W
U_{prim}	Primärspannung der Lampe/Leuchte	V
I_{sys}	Elektrischer Strom des Systems	mA
P_{sys}	Elektrische Systemleistung	W
PF	Leistungsfaktor (Power factor), Absolutwert der Phasenverschiebung	

Referenzen

- [1] Hans Lehmann und Peter Blattner, METAS dreht den Spiegel, METInfo, Vol.13, No2/2006, online verfügbar unter <http://www.metas.ch/metInfo>
- [2] CIE 121-1996, The photometry and goniophotometry of luminaries, (bestellbar über <http://www.cie.co.at>)
- [3] SN EN 13032-1:2004, Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten, Teil 1: Messung und Datenformat
- [4] S.A.F.E. , Messverfahren für Leuchtstofflampen T5 und Kompaktleuchtstofflampen, 08.06.2007, online unter <http://www.toplicht.ch>
- [5] IEC 50 (845)/CIE 17.4; International Lighting Vocabulary
- [6] Als Berechnungsprogramm wird Relux 2007 professional eingesetzt, über dessen Genauigkeit wir keine Angaben machen können.
- [7] METAS Messbericht 116-00654 vom 27.09.2007
- [8] CIE 117-1995 Discomfort glare in interior lighting, (bestellbar über <http://www.cie.co.at>)
- [9] Marcel Guler "Energieeffizienzmessungen von Energiesparadatfern T5", Schlussbericht, DIS-Projekt Nr 101002, Im Auftrag des BFE, Mai 2005
- [10] Hans R. Ris, „Betrieb von T5-Lampen in T8-Leuchten?“, ET Licht, 56ff, 2006
- [11] Rainer Wrenger „Umrüstung auf „T5“ mit Nebenwirkungen – Stellungnahme OSRAM“, EVG Spot 2006/01
- [12] S.A.F.E. „Ratgeber T5 Adapter“, Stand 3/2004, online unter <http://www.energieeffizienz.ch>
- [13] Arnold Schermann, „Durchführung von Messreihen zur Überprüfung der Energieeinsparung, die durch das Adaptieren von Leuchten mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) gegen das EVG-Adapter-Set erzielt werden kann“ Prüfbericht des Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung im Auftrag der Firma Revolux GmbH, 26.04.2005.
- [14] Norbert Wittig, „T5 – Adapter zum Einsatz in Leuchten für T8 – Lampen“, Eine Stellungnahme vom Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI), Frankfurt am Main, November 2005.
- [15] Jürgen Waldorf und Norbert Wittig „Gewährleisten T5-Adapter für T8-Leuchten sicheres und normgerechtes Licht?“, Eine Stellungnahme vom Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI), Frankfurt am Main, März 2006
- [16] Verschiedene Datenblätter von den Lampenherstellern z. B: PHILIPS “ Fluorescent lamps MASTER TL5 High Efficiency, „online verfügbar unter <http://www.lighting.philips.com> oder OSRAM „A new direction for modern lighting design”, Applications notes, online verfügbar unter <http://www.osram.de> .
- [17] J.L. Scartezzini, A. Thanacharonkit, „Messung der Beleuchtungseigenschaften eines Spiegelreflektors aus Aluminium mit hohem Reflexionsgrad“, Bericht EPFL-ENAC-LESO-PB im Auftrag der Firma Elektrogros AG (MirrorLight ®), 25. Sept. 2003