

Dimmung vs. Energieeffizienz

Vergleich der Systemlichtausbeuten verschiedener Lampentypen

Silvia Marx, Mario Druwe, Heinrich Kaase

*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik
Einsteinufer 19, 10587 Berlin*

Einleitung

Durch steigende Energiepreise und knapper werdende Ressourcen wird ein effizienter Umgang mit elektrischer Energie immer bedeutender. Auch vor dem Hintergrund des Klimawandels und der durch das Kyoto-Protokoll festgeschriebenen Notwendigkeit der CO₂-Einsparung spielt eine effiziente Nutzung elektrischer Energie eine entscheidende Rolle. Für die Licht- und Beleuchtungstechnik bedeutet dies nicht nur die Substitution veralteter Lampen, Leuchten und Vorschalttechnik, sondern auch den Einsatz moderner Lichtmanagementsysteme, die das künstliche Licht abhängig vom Bedarf schalten bzw. dimmen.

Das im April dieses Jahres in Kraft getretene Energieeinsparungsgesetz EnEG 2009 regelt die Anforderungen an die Effizienz von Beleuchtungssystemen, insbesondere deren Wirkungsgrad, die Verbesserung der Tageslichtnutzung sowie die Ausstattung zur Regelung und Abschaltung der Systeme /1/. Das Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2006/32/EG über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen, die einen Energieeinsparrichtwert von 20% bis 2020 vorgibt. In diesem Zusammenhang sieht die EG-Verordnung 244/2009 ein gestuftes Inkrafttreten sogenannter Ökodesignanforderungen vor, die Mindestwerte für technische Parameter von Haushaltslampen vorgeben. Entsprechend ihrer Energieeffizienzklasse tritt somit ein schrittweises Verbot besonders ineffizienter Lampen ein.

Die vorliegende Arbeit soll aufzeigen, welchen Einfluss das Dimmen auf die Systemlichtausbeute verschiedener Lampentypen hat, um festzustellen, welche Lampen für den Einsatz im Dimmbetrieb – vor dem Hintergrund einer energieeffizienten sowie ökonomisch und ökologisch sinnvollen Nutzung – besonders geeignet sind. Dazu wurden die folgenden Lampen verglichen:

- stabförmige Leuchtstofflampen,
- Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem sowie mit externem Vorschaltgerät,
- Halogenmetalldampflampen,
- Leuchtdioden sowie
- Glüh- und Halogenglühlampen.

Messkonzept

Im Folgenden werden die ausgewählten Lampen, Betriebs- und Messgeräte vorgestellt. Außerdem werden der Messaufbau sowie das zur Durchführung verwendete Messprogramm erläutert.

Messaufbau und Material

Der prinzipielle Messaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Lampen wurden jeweils innerhalb eines Kugelphotometers (Durchmesser: 3 m) betrieben. Der Lichtstrom, die Leistung, der elektrische Strom und die Spannung, die Kugelinntemperatur sowie der Leistungsfaktor wurden aufgezeichnet. Da insbesondere Erkenntnisse über das Wirkungsgradverhalten im Dimmbetrieb gewonnen werden sollten, standen die Ermittlung des Lichtstroms sowie der elektrischen Systemleistung während der Messungen im Vordergrund.

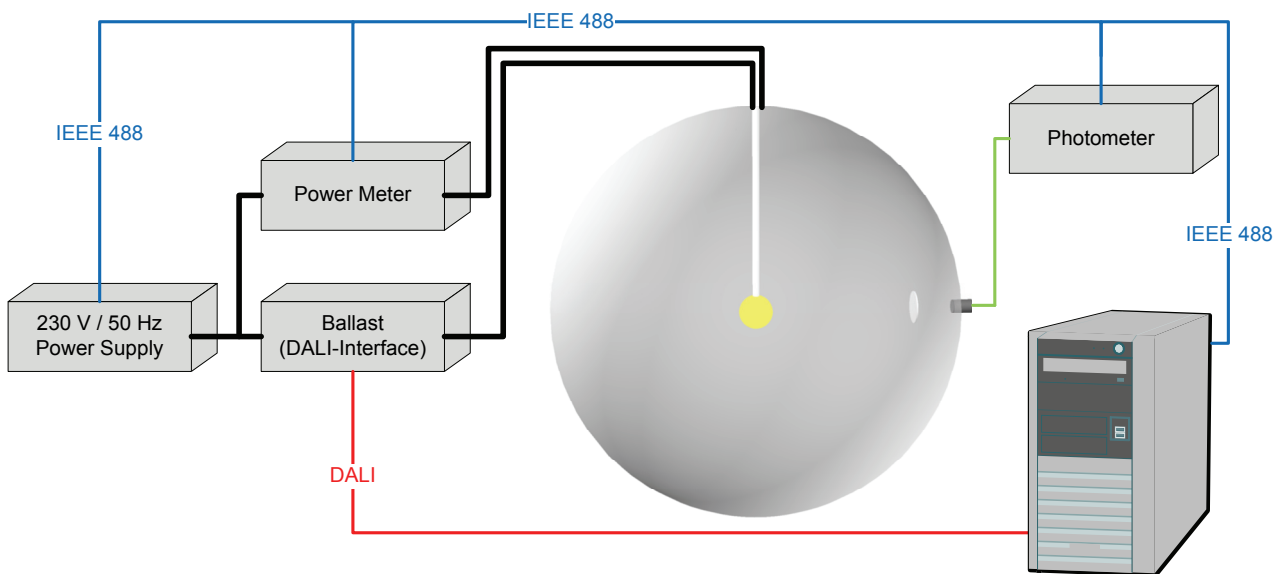


Abbildung 1: Prinzipieller Messaufbau

Pro Lampentyp wurden je zwei Exemplare zum Vergleich gemessen. Alle Lampen wurden entweder bis zum minimal möglichen Lichtstrom (siehe Tabellen 1 und 2) oder bis 1% des Nennlichtstroms gedimmt. Die genannten elektrischen und photometrischen Größen wurden sowohl beim Abwärts- als auch beim Aufwärtsdimmen gemessen.

Tabelle 1: Dimmbarkeit der gemessenen Lampen

Lampentyp	dimmbar von		
	0%	bis	100%
60 W-Glühlampe			
42 W-Halogenglühlampe			
20 W-Kompaktleuchtstofflampe			
18 W-Kompaktleuchtstofflampe			
35 W-T5-Leuchtstofflampe			
70 W-Halogenmetall dampflampe			
12 W-LED			

Die Bezeichnungen, technischen Daten sowie die Hersteller der verwendeten Lampen, Betriebs- und Messgeräte fasst Tabelle 2 zusammen.

Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Lampen, Betriebs- und Messgeräte

Bezeichnung	Technische Daten (Herstellerangaben)	Hersteller
Lampen		
Bellalux Soft White Globe	60 W, E 27, 490 lm, dimmbar von 100% bis 0%	OSRAM
EcoClassic 30, A-shape, HV	42 W, E 27, 230 V, 630 lm, dimmbar von 100% bis 0%	PHILIPS
CFL Dimm	20 W, E 27, 1320 lm, dimmbar von 100% bis 2% mit Phasen- oder abschnittsdimmer	GOVENA
Dulux T/E Plus	18 W, GX24q-2, 1200 lm, dimmbar von 100% bis 0%	OSRAM
Lumilux T5	35 W, G 5, 3300 lm, dimmbar von 100% bis 1% mit QT i	OSRAM
Powerball HCI-T	70 W, G12, 7300 lm	OSRAM
LINEARlight-DRAGON	12W, LD06A-W3F-854-L30, 6 x High-Flux Golden DRAGON , dimmbar durch PWM mit OT DIM	OSRAM
Betriebsgeräte		
Quicktronic DALI-T/E	1x18/230-240 DIM	OSRAM
Quicktronic DALI T5	1x35/49/80 DIM	OSRAM
Powertronic DALI HCI	70/220-240 DIM	OSRAM
Optotronic OT DALI	25/220-240/24 RGB	OSRAM
DALI-DU/E	Universaldimmer, 30 bis 300 W	ABB
Messgeräte		
Photometer U 1000	Kugeldurchmesser 3 m	LMT
AC-Power Netzgerät	ACN 270-4	J. Heinzinger
2532 Digital Power Meter	20 Hz bis 400 kHz	YOKOGAWA

Messprogramm

Den Programmablauf zeigt Abbildung 2. Zunächst wurden die Lampenbezeichnung, der Korrekturfaktor, die Warte- und Messzeit in Sekunden, die Abtastezeit, die die Anzahl der aufgenommenen Messpunkte pro Messzeit festlegt, die minimale und maximale Dimmstufe sowie die Schrittweite Delta in die entsprechenden Felder der Eingabemaske eingetragen. Gemessen wurde mit 254 DALI-Dimmstufen und einer Schrittweite von 10. Das Programm startete sowohl beim Abwärts- als auch beim Aufwärtsdimmen mit dem Einschalten der Lampe (respektive Zündung) bei 100% der Lampenleistung und begann die Messung dann bei maximaler bzw. minimaler Dimmstufe. Die eingegebene Wartezeit diente der Stabilisierung des Lichtstroms. Sie basierte auf Erfahrungswerten und Testmessungen.

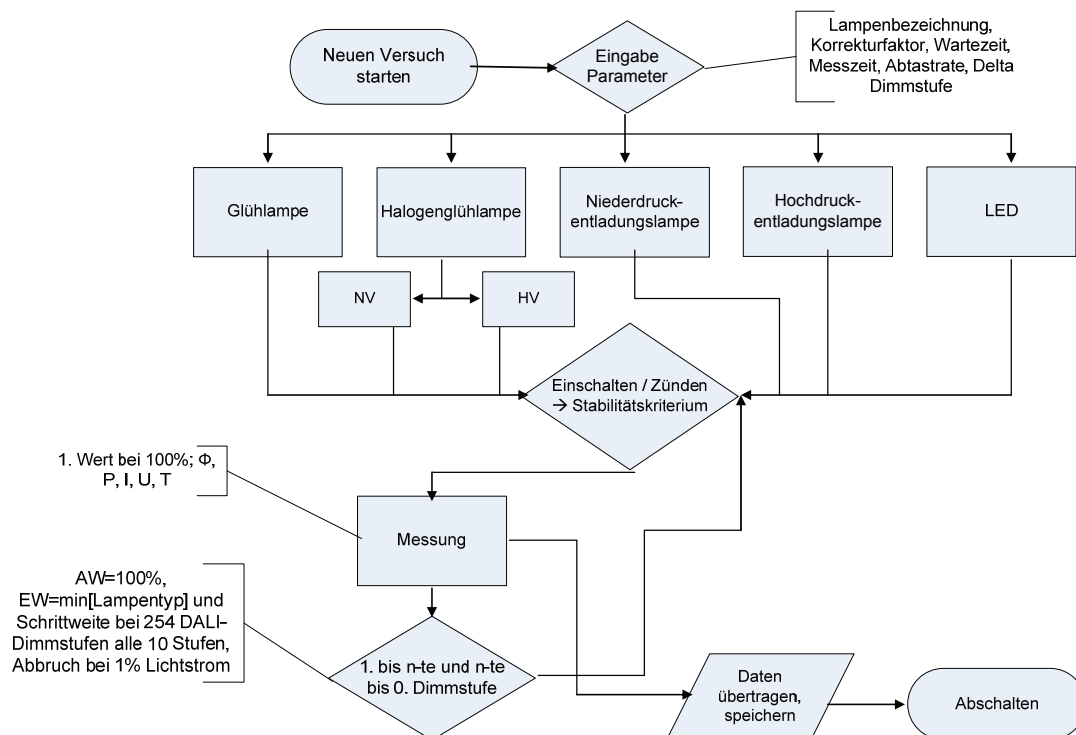


Abbildung 2: Programmablauf

Sämtliche Messwerte wurden für die anschließende Auswertung gespeichert.

Messergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Messungen der verschiedenen Lampentypen zeigen die folgenden Abbildungen. Zur Vergleichbarkeit der Effizienz der untersuchten Lampen im Dimmbetrieb wurde die relative Lichtausbeute über der relativen Systemleistung aufgetragen.

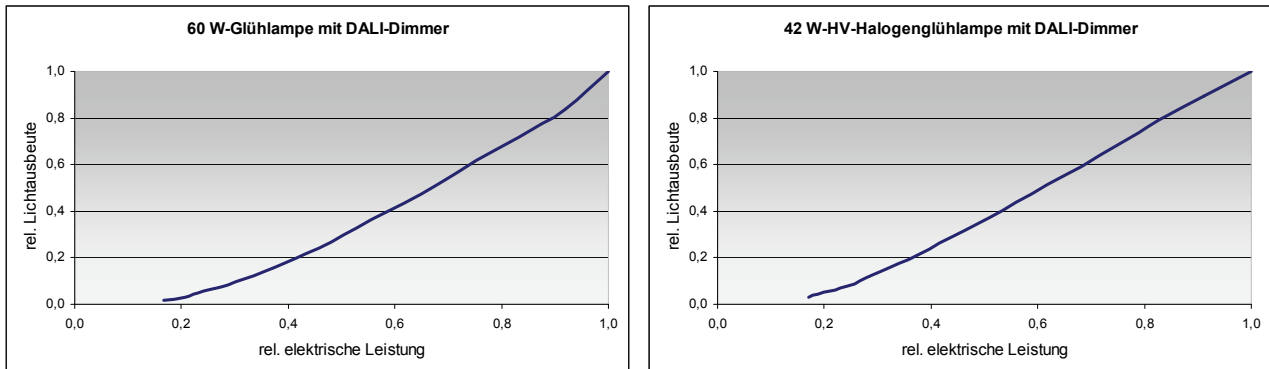


Abbildung 3: Dimmkurven einer Glühlampe 60 W und HV-Halogenglühlampe 42 W

Abbildung 3 zeigt das Verhalten einer 60 W Glühlampe sowie einer 42 W Hochvolt-Halogenglühlampe beim Abwärtsdimmen. Die relative Systemlichtausbeute sinkt bei beiden Lampen stark mit abnehmender Leistung, bei der Glühlampe etwas stärker als bei der Halogenglühlampe, da der Lichtstrom der Glühlampe stärker von Spannungsänderungen abhängig ist ^{/2/}. Der Lichtstrom der Glühlampe ist außerdem abhängig von der Wendeltemperatur, die im Betrieb etwa 2.700 K beträgt. Je höher die Wendeltemperatur, desto höher der Lichtstrom und respektive auch die Lichtausbeute, aber desto geringer die Lebensdauer aufgrund der stärkeren Wolfram-Abdampfung ^{/3/}. Der Dimmbetrieb wirkt sich daher zwar positiv auf die Lebensdauer aus, ein effizientes Dimmen ist mit beiden Lampen – nicht zuletzt aufgrund der ohnehin geringen Lichtausbeute – jedoch nicht möglich.

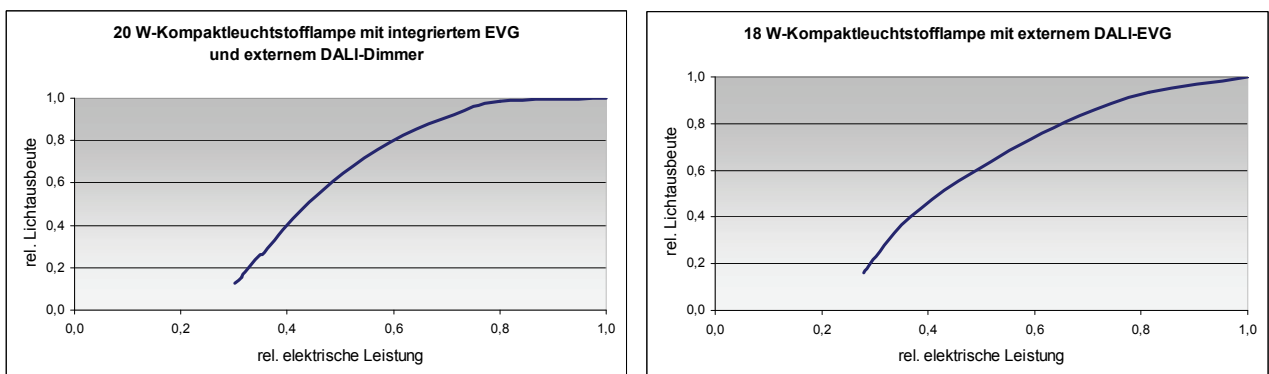


Abbildung 4: Dimmkurven einer Kompaktleuchtstofflampe 20 W mit integriertem EVG und einer Kompaktleuchtstofflampe 18 W mit externem EVG

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse für eine 20 W-Kompaktleuchtstofflampe (KLL) mit integriertem elektronischem Vorschaltgerät sowie eine 18 W-Kompaktleuchtstofflampe mit externem EVG dargestellt. Die Lampen sind von 100% bis 2% bzw. 100% bis 0% dimmbar. Besonders die 20 W-KLL zeigt im Bereich zwischen 100% und 80% der Leistung keine Abnahme der relativen Systemlichtausbeute, die 18 W-KLL zeigt lediglich ein geringes

Absinken. Beide Lampen weisen im Vergleich zu den beschriebenen Glühlampen ein weitaus effizienteres Verhalten im Dimmbetrieb auf.

Kompaktleuchtstofflampen benötigen für denselben Lichtstrom wie Glühlampen nur etwa ein Fünftel der Leistung bei sechsfacher Lebensdauer /4/. Bezüglich einer energieeffizienten Beleuchtung im Innenraum sind sie eindeutig vorzuziehen.

Die Ergebnisse der Messungen einer 35 W-T5-Leuchtstofflampe zeigt Abbildung 5. Die stabförmige T5-Leuchtstofflampe weist gegenüber den Kompaktleuchtstofflampen eine noch geringe Abnahme der Lichtausbeute bei einer Reduktion der Leistung auf. Der Lichtstrom der Leuchtstofflampe wird in geringerem Maße als die Lampenleistung von Änderungen der Netzspannung beeinflusst /2/.

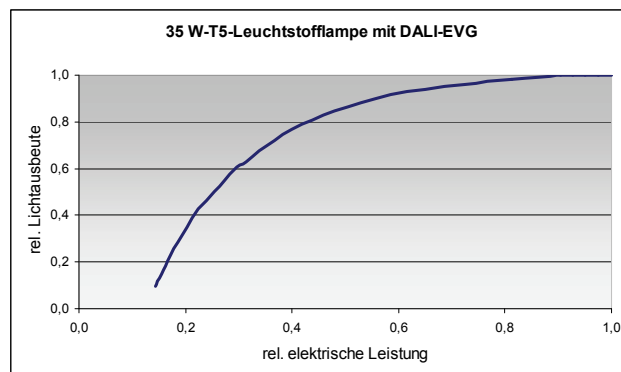


Abbildung 5: Dimmkurve einer T5-Leuchtstofflampe 35 W

Die Dimmkurve einer 70 W-Halogenmetall dampflampe mit Keramikbrenner ist in Abbildung 6 dargestellt. Sie konnte bis etwa 55% der Leistung gedimmt werden und zeigt insbesondere im Bereich zwischen 100% und 70% einen der 18 W-Kompaktleuchtstofflampe ähnlichen Verlauf. Aufgrund der begrenzten Dimmbarkeit ist der Anwendungsbereich von Halogenmetall dampflampen im Zusammenhang mit modernen Lichtmanagementsystemen jedoch eingeschränkt.

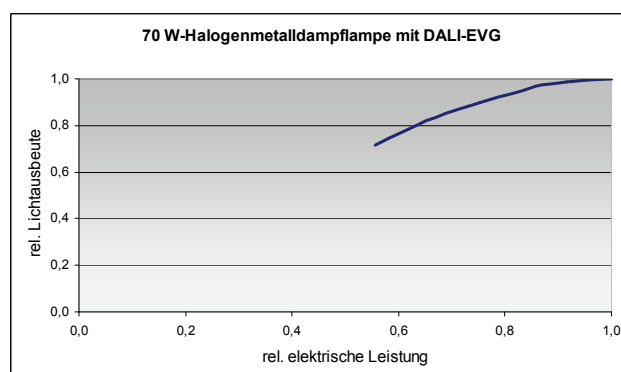


Abbildung 6: Dimmkurve einer Halogenmetall dampflampe 70 W

Eine besonders geringe Veränderung der relativen Systemlichtausbeute konnte bei der Messung der LED festgestellt werden. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 7.

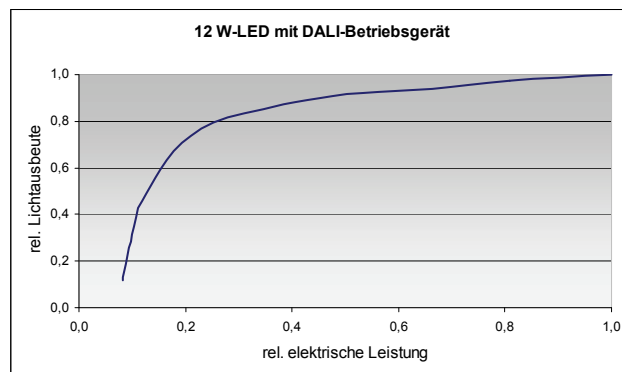


Abbildung 7: Dimmkurve einer LED 12 W

Bei einer Reduktion der Leistung auf 25% der Nennleistung werden immer noch 80% der Systemlichtausbeute im Normalbetrieb erreicht, wobei zu vermuten ist, dass die Verluste hauptsächlich dem Betriebsgerät zuzurechnen sind. Damit weist die LED im relativen Vergleich den geringsten Rückgang der Systemlichtausbeute bzw. das effizienteste Verhalten der betrachteten Lampen im Dimmbetrieb auf.

Fazit

Die Untersuchung zeigt das Potenzial der verschiedenen Lampentypen im Hinblick auf eine effiziente Nutzung im Dimmbetrieb. Die Art der Darstellung ermöglicht einen direkten Vergleich der verschiedenen Technologien. Besonders positive Eigenschaften können für die LED festgestellt werden.

Selbstverständlich müssen vor einer Integration des jeweiligen Lampentyps in ein Beleuchtungskonzept weitere Faktoren wie beispielsweise die Anschaffungskosten, die Lebensdauer, die absolute Lichtausbeute sowie der Betriebswirkungsgrad der Leuchte berücksichtigt werden. Dennoch können die Untersuchungsergebnisse als Grundlage bei der Planung besonders energieeffizienten Beleuchtungssysteme dienen.

Abschließend fasst Abbildung 8 die gemessenen Dimmkurven aller untersuchten Lampen noch einmal zusammen.

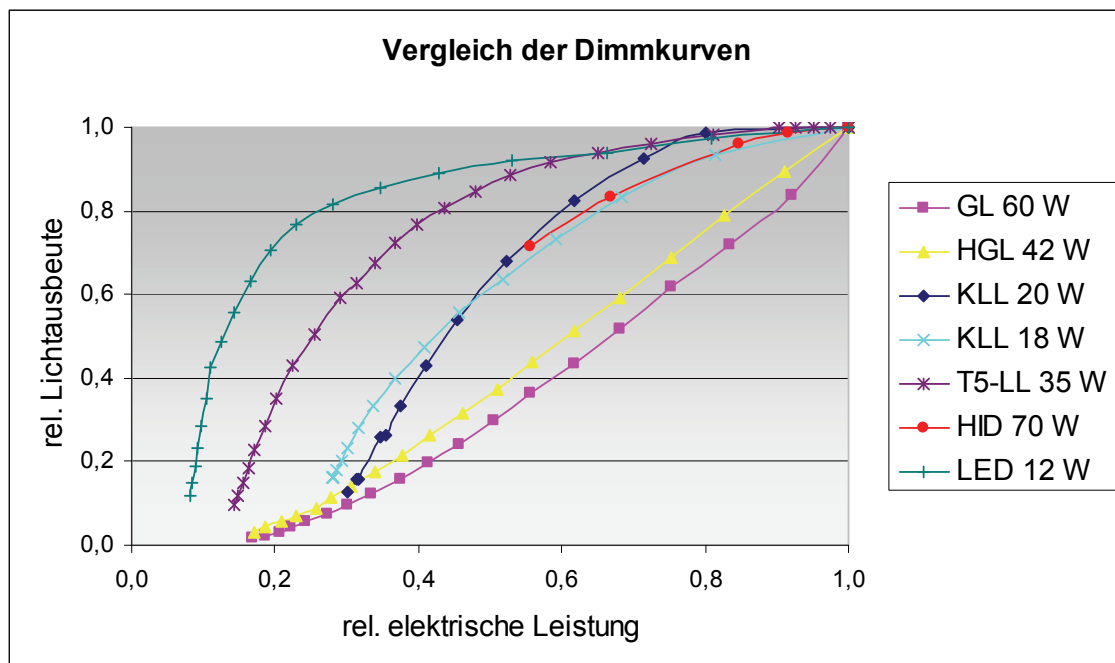


Abbildung 8: Vergleich der Dimmkurven aller untersuchten Lampen

Literaturverzeichnis

- /1/ Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG) §2 Absatz 2 Satz 7, 2009.
- /2/ Weis, B., Grundlagen der Beleuchtungstechnik, Pflaum Verlag, München 2001.
- /3/ Baer, R., Beleuchtungstechnik, 3. Auflage, Huss-Medien GmbH, Berlin 2006.
- /4/ Hentschel, H.-J., Licht und Beleuchtung, Hüthig Verlag, Heidelberg 2002.