

Preisgünstiges Miniatur-Vorschaltgerät für Kompaktfluoreszenzröhren (CFL)

Peter WALTHER, Abteilung Mikrotechnik, TI Biel-Bienne,

Stand der Kompakt-Fluoreszenzröhre

Fluoreszenzröhren sind die zurzeit am weitesten verbreite Lichtquelle, die einen hohen Wirkungsgrad aufweisen. Anders als bei den Glühlampen, zu denen auch die Halogenlampen gehören, wo das Licht durch Glühen eines Lampenwendels erzeugt wird, wird das Licht durch eine ionisierte Gassäule bei niederem Druck erzeugt. Die Ionisierung des Gases wird dabei durch einen elektrischen Strom aufrecht erhalten. Der Strom wird durch zwei an den Enden der Röhre vorgesehenen Elektroden zugeführt. Das in der Gassäule enthaltene Quecksilber emittiert UV-Licht, das durch eine am Innenrand des Glaskörpers aufgebraute fluoreszierenden Schicht in sichtbares Licht umgewandelt wird. Der Wirkungsgrad und die Lebensdauer der Röhre sind zufriedenstellend.

Da das ionisierte Gas einen negativen Widerstand aufweist, muss ein sog. Vorschaltgerät zwischen Speisung und Röhre geschaltet werden, das den Strom begrenzt. Wird die Röhre bei höheren Frequenzen als den üblichen 50 bzw. 60 Hertz betrieben, steigt der Wirkungsgrad erheblich an.

In der ersten Energiekrise in den 70 Jahren wurde klar, dass mit der Energie besser umgegangen werden muss. So sind unter anderem kompakte Ausführungen der Fluoreszenzröhren (engl. CFL, Compact Fluorescent Lamp) entwickelt worden, die die Glühlampe ersetzen sollten.

Erste Modelle waren klassisch aufgebaut und enthielten noch Standardkomponenten für den 50 Hz Betrieb. Diese waren schwer, teuer und wenig beliebt. Auch die Lebensdauer war nicht überzeugend, wenn auch von der Industrie gepriesen. Abb. 1 zeigt eine solche Lösung von Philips.



Abb. 1: Klassische CFL mit Standardkomponenten

Bald wurde das Vorschaltgerät durch elektronisch ausgeführte ersetzt und die Röhre mit höherer Frequenz betrieben. Das hatte zwei grosse Vorteile. Der Wirkungsgrad wurde wesentlich verbessert, und das Vorschaltgerät konnte kleiner und leichter ausgeführt werden, als die klassische Variante. Allerdings hatte dies seinen Preis, da in jener Zeit die Hochspannungstransistoren etc. relativ selten und dementsprechend teuer waren. In der Zwischenzeit hat sich das Bewusstsein bezüglich Energiesparlampen gewandelt und sie sind weitgehend akzeptiert. Auch sind die Komponentenpreise stark gefallen. Da die Elektronik

kompakt sein muss, dass sie in den Lampenkörper passt, müssen viele der Bauteile von Hand stehend auf den Print montiert werden, was in der Regel nur von Hand möglich ist. Heute wird in praktisch allen CFL ein selbstschwingender Oszillator als Rechteckspannungsgenerator verwendet, bei dem ein Ringkerntransformator für die Rückkopplung und Steuerung der Schalttransistoren dient, der relativ viel Platz benötigt und kompliziert einzubauen ist. Daher werden die meisten CFL, wie viele andere Produkte, die viel Handarbeit benötigen, in China gefertigt, da dort die Handarbeit eben billig ist. Die Abb. 2 lässt die grossen Abmessungen eines heutigen elektronischen Vorschaltgerätes erkennen.

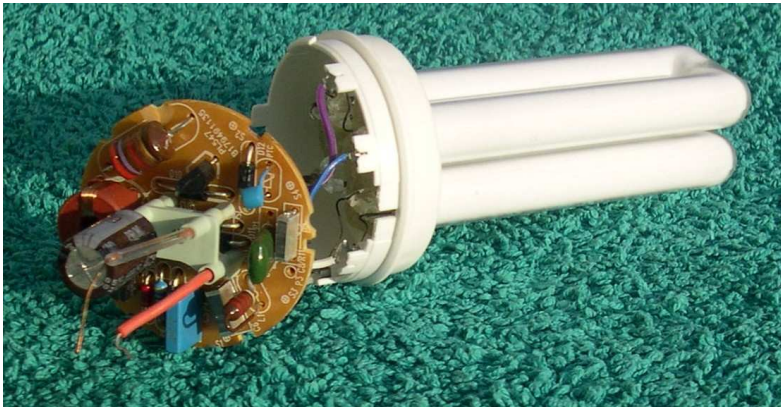


Abb.2: Elektronisches Vorschaltgerät für eine 11Watt CFL von OSRAM.

Die Herausforderung

Die Herausforderung ist besonders gross, die bestehende Lösung, die bereits mit einem Minimum von Bauteilen auskommt, noch weiter zu vereinfachen und so ein Vorschaltgerät für Kompakt Fluoreszenzröhren zu entwickeln, das mit noch weniger Bauteilen auskommt dabei zuverlässig arbeitet, kostengünstig herstellbar und klein in der Ausführung ist. Eine solche Lösung wäre gerade jetzt besonders willkommen, da die Nachfrage solcher Lichtquellen höchstwahrscheinlich sehr gross sein wird, wegen der gerade laufenden CO₂ Diskussion. Eine solche Entwicklung ermöglichte weiter eine weitgehend automatisierte Herstellung, was eine Fabrikation auch in Europa interessant machen würde. So bleibt die Wertschöpfung hier. Zudem können Ressourcen eingespart werden, weil weniger Bauteile für die selbe Funktion benötigt werden.

Sehr kleine Abmessungen der Elektronik würden es auch erlauben, das Design solcher Lichtquellen schlanker zu gestalten, was die Attraktivität dieser Lampen weiter erhöhen würde und deren Nachfrage hoffentlich weiter steigern liesse.

Die Funktionsweise einer Standart Fluoreszenzröhre

Die Warmkathoden-Fluoreszenzröhre besteht aus einem Glasrohr, an dessen Enden jeweils eine Elektrode in Form eines Glühwendels angebracht ist, wie in Abb. 3 dargestellt. Das Rohr ist vakuumdicht verschlossen und mit einem Edelgas bei sehr niedrigem Druck gefüllt, mit Krypton bei Röhren mit 26 mm Durchmesser und Argon bei solchen mit 38 mm Durchmesser und etwas Quecksilber. Die Glühwendel bestehen aus Wolframdraht, die mit einer speziellen Schicht versehen sind zur besseren Elektronenemission bei entsprechender

Temperatur. Bei Anlegen einer genügend grossen elektrischen Spannung an die beiden erhitzten Glühwendel entsteht ein elektrisches Feld im Glasrohr, das die Gassäule ionisiert. Den Gasatomen wird dabei jeweils ein Elektron entrissen, so dass eine grosse Zahl von einzelnen Elektronen (blaue Kreisflächen in Abb. 3) und positiv geladenen Atomrümpfen (rote Kreisflächen in Abb. 3) vorliegt. In diesem Zustand kann das Gas, das unter normalen Bedingungen ein Isolator ist, einen elektrischen Strom leiten. Die negativ geladenen Elektronen werden sich in Richtung positiver Elektrode bewegen und die positiv geladenen Atomrümpfe in Richtung der negativen. Diese Ionisation bleibt aufrechterhalten, solange ein elektrischer Strom fliesst und ein minimaler elektrischer Strom durch die Gassäule nicht unterschritten wird. Würden die Elektronen und die Atomrümpfe immer schön getrennt bleiben, so würde sich, ausser dass ein elektrischer Strom fliesst, nichts in der Röhre ereignen. In Wirklichkeit ist diese Ionisation aber nicht ein statischer Zustand, sondern es finden laufend Rekombinationen und Ionisationen statt. Bei der Ionisation wird dem im Inneren der Röhre vorhandene elektrischen Feld Energie entzogen, die von Aussen in Form von elektrischer Energie zugeführt wird, während bei der Rekombination ein Lichtquant emittiert wird. In der Regel handelt es sich dabei nicht um sichtbares Licht, sondern um nichtsichtbare ultraviolette Strahlung. Deshalb ist die Innenseite des Glasrohres mit einem fluoreszierenden weissen Pulver beschichtet, das ultraviolette Licht in sichtbares Licht umwandelt, siehe dazu Abb. 3. Daher auch der Name dieser Lichtquelle. Fluoreszenzröhren haben einen hohen Wirkungsgrad mit gutem Lichtspektrum und sind deshalb weit verbreitet, besonders an jenen Orten, wo helles Licht gefordert ist, wie bei Arbeitsplätzen aller Art.

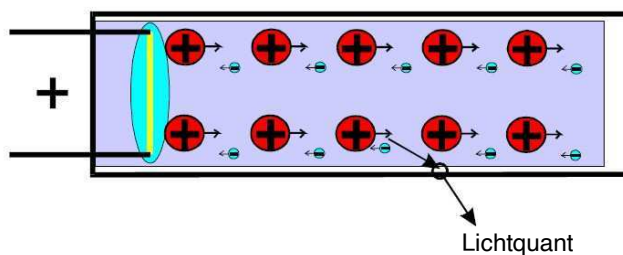


Abb. 3 Aufbau einer Fluoreszenzröhre mit Gas im ionisierten Zustand

Bei einem Betrieb mit 50 Hz können die Ionen und die Elektronen an die entsprechenden Elektroden gelangen und so zu einen Stromanteil führen, der nicht in Licht umgewandelt wird. Verwendet man stattdessen hochfrequente Spannungen, so ist diese Ionenbewegung vernachlässigbar und die Lichtausbeute wird dadurch grösser. Das bedeutet einen höheren Wirkungsgrad. Dieses Verhalten stellt sich schon bei Frequenzen um 10kHz ein und wird bei noch höheren Frequenzen noch ausgeprägter.

Kompakt Fluoreszenzröhren (CFL) funktionieren auf die selbe Weise. Der Rohrdurchmesser



Abb. 4: Beispiel einer gewendelten Röhre

ist in der Regel kleiner und die Röhre kürzer und oft sind sie gewendelt, um sie noch kompakter zu machen, wie beispielhaft in Abb. 4 gezeigt. Deutlich ist auch das Gehäuse in Abb. 4 zu erkennen, in welchem sich die Elektronik für das Vorschaltgerät befindet. Es hat relativ grosse Ausmasse im Vergleich zur gewendelten Röhre.

Funktionsweise eines elektronischen Standard Vorschaltgerätes

Das Vorschaltgerät hat die Aufgabe, eine Wechselspannung hoher Frequenz und genügend hoher Spannung zu erzeugen. Damit die Schaltung klein wird, verwendet man in der Regel direkt die gleichgerichtete Spannung des Wechselstromnetzes von 230Veff ohne Transformator. Diese Spannung beträgt nach dem Gleichrichter über 300V. Eine Transistorschaltung, bestehend aus zwei identischen Transistoren, die abwechslungsweise ein und ausgeschaltet werden, erzeugt eine Rechteckspannung mit einer Frequenz von ca. 30kHz und einer Amplitude von 300V. Das bedeutet, dass diese Transistoren für diese hohe Spannung ausgelegt sein müssen.

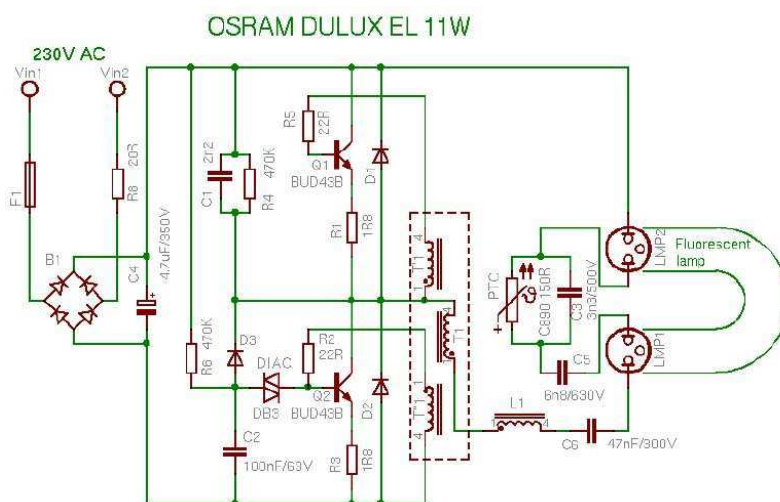


Abb. 5: Vorschaltgerät für CFL von OSRAM für 11W Lampe

Die beiden Transistoren Q1 und Q2 werden von einer geglätteten Gleichspannung vom Kondensator C4 gespeist und über einen Ringkerntransformator T1 über zwei Sekundärwicklungen angesteuert, siehe dazu Abb. 5. Die beiden Sekundärwicklungen T'1 schalten dabei die Transistoren abwechselnd ein und aus. Es handelt sich um einen selbstschwingenden Leistungsozillator, der eine Rechteckspannung erzeugt. Dabei ist es wichtig, dass während des Umschaltvorganges nie beide Transistoren gleichzeitig leiten, da sonst grosse Verluste auftreten, die die Transistoren unnötig erhitzen oder sogar zerstören können. Die Frequenz der Schaltung wird im wesentlichen durch die Sättigungseigenschaften des Transformator T1 und die Storage Time t_s der Transistoren, die unter diesen Betriebsbedingungen Werte bis zu $5\mu s$ annehmen können, bestimmt. C6 dient der Gleichstromentkopplung. Der Kaltleiter (PTC) hat die Aufgabe die Vorheizung der Lampenwendel zu steuern, indem er die Kapazität C3 während der Vorheizzeit kurzschliesst und damit dafür sorgt, dass der Strom durch die beiden Heizwendel und C5 fliesst und die Röhre während ca. 1 sec. vorheizen kann. Während dieser Zeit wird der PTC heiss und

dadurch hochohmig. Nun kommen die Spule L1 und die in Reihe geschaltete Kondensatoren C3 und C5 in Resonanz, mit dem Ergebnis, dass sich eine hohe Resonanzspannung über den Kondensatoren und damit über die Röhre einstellt, die hoch genug ist, um die Röhre zu zünden. Sobald die Lampe brennt, reduziert sich die Spannung über der Lampe auf unter 100V und die Kapazität von C3 und C5 wird vernachlässigbar. Der Lampenstrom wird nun im wesentlichen durch die Spule L1, die Lampeneigenschaften und natürlich durch die Frequenz des Oszillators stimmt.

Die Widerstände R1, R2, R3 und R5 dienen der Strombegrenzung der Basis- bzw. Emitterströme. Der Widerstand R6, der Kondensator C6 und der Diac dienen dem Zünden der Oszillatorschaltung beim Einschalten der Lampe, da der Oszillator nicht selbst anspricht. Die Diode D3 verhindert ein weiteres Zünden, wenn die Schaltung läuft. Der Kondensator C1 hat die Funktion eines Snubbernetworks, das den Spannungsabfall der Transistoren verzögert und so die Schaltverluste der Transistoren verringert. Die beiden Dioden D1 und D2 dienen dem Schutz vor Falschpolung der Transistoren und wirken Störungen entgegen. Diese Schaltung ist im wesentlichen bei allen CFL anzutreffen, wenn auch mit kleineren Variationen. Philips ging früher in dieser Angelegenheit eigene Wege, verwendet aber bei den neuesten SOFTTONE und anderen neueren CFL auch dieses Schaltprinzip, und fertigt nun leider auch in China.

Das neue Schaltkonzept

Es ist möglich, durch Verwendung von Komplementärtransistoren eine push-pull Oszillatorschaltung aufzubauen, die mit einer einzigen gemeinsamen Rückkopplungswicklung des Steuertransformators funktioniert und so den Schaltungsaufwand merklich reduziert.

Weiter ist vorteilhaft, das auf diese Weise garantiert ist, dass nie beide Transistoren gleichzeitig eingeschaltet sein können. Damit werden automatisch Schaltverluste verringert und es können leistungsschwächere Transistoren für die Aufgabe eingesetzt werden, was einen Preisvorteil darstellt. Der Wirkungsgrad wird dadurch ebenfalls verbessert. Die zum Patent angemeldete Schaltung ist in Abb. 6 zu sehen und funktioniert im wesentlichen gleich wie jene in Abb. 5

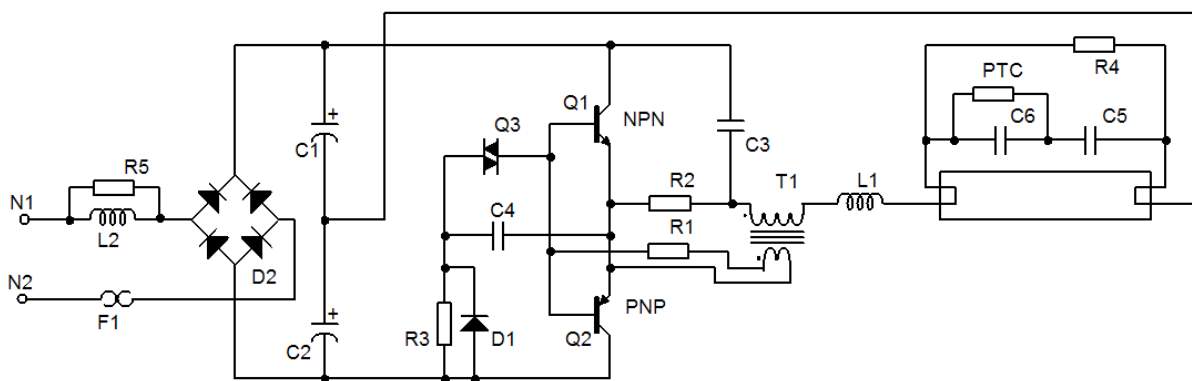


Abb. 6: Preisgünstiges Miniatur Vorschaltgerät für Kompaktfluoreszenzröhren (CFL). Patent angemeldet.

Die Transistoren Q1 und Q2 stellen die Leistungsschalter dar, die abwechselnd von einer gemeinsamen Wicklung eines Stromtransformators angesteuert werden. Der Widerstand R1 dient der Strombegrenzung der Steuerströme. C2 und C3 sind Glättungskondensatoren, die hier in Serie geschaltet sind um die Durchmesser klein zu halten, damit die Schaltung in den

Lampensockel passt. Weiter kann der Entkopplungskondensator (C6 in Abb. 5) entfallen. Der Steuertransformator und die resonanzbestimmenden Elemente sind ausserhalb angeordnet, da sie lampenspezifisch sind. Werden SMD Bauteile verwendet, so kann die Schaltung kompakt gestaltet und automatisch gefertigt werden. Die Schaltung in Abb. 6 ist universell für alle Lampenleistungen von 3W bis 21 W einsetzbar und findet Platz im Lampensockel E27. Das entsprechende Layout ist in Abb. 7 zu sehen.

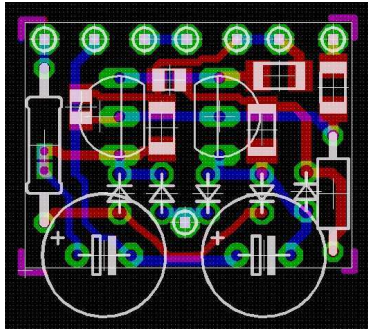


Abb. 7: Layout der zum Patent angemeldeten Schaltung mit SMD Bauteilen misst ca. 17mm x 22mm

Die Signale der neu entwickelten Schaltung

In Abb. 8 sind die wichtigsten Signal dargestellt. Blau das Rechteckausgangssignal bei 41.5kHz mit sehr steilen flanken und gelb der Strom durch die Lampe einer 11W Kompaktlampe von OSRAM.

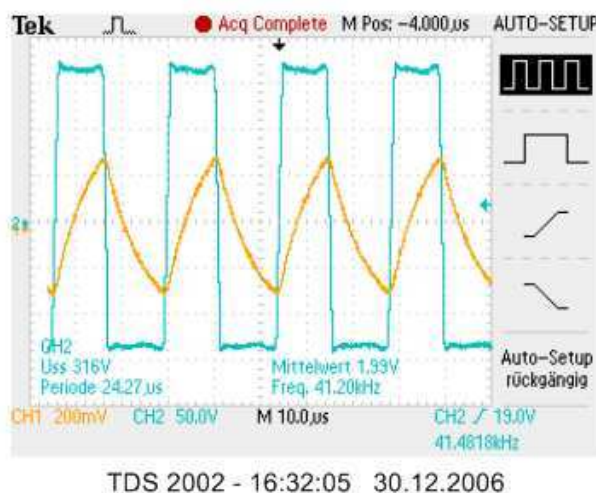


Abb. 8: Signale der neuartigen Schaltung

Das Verhalten der Schaltung ist in jeder Hinsicht mit dem Verhalten der Originalschaltung vergleichbar, hat aber passive Sicherheiten eingebaut, die garantieren, dass während des Umschaltens nie beide Transistoren gleichzeitig eingeschaltet sein können.

Prototypen

Ein Prototyp ist in Abb. 9 und 10 zu sehen. Die Lampe funktioniert zur vollsten Zufriedenheit. Zu erkennen ist auch, dass die lampenspezifischen Elemente ausgelagert sind und nur der universelle Teil im Sockel enthalten ist. Damit ist es möglich, das Vorschaltgerät im Sockel integriert als Einheit zu vermarkten. Mit einer Schnappvorrichtung könnte dies mit einer Lampe gewünschter Leistung kombiniert werden. In den Abbildungen ist auch der original Steuertransformator zu sehen, der noch die drei Originalwicklungen aufweist, wobei aber eine der beiden Sekundärwicklungen nicht verwendet wird. Dieser gehört zum lampenspezifischen Teil, wie auch die resonanzbestimmenden Elemente und der PTC, die sich direkt bei der Lampe befinden.



Abb. 9: Erster Prototyp eines neu entwickelten, zum Patent angemeldeten 11 W Vorschaltgerätes

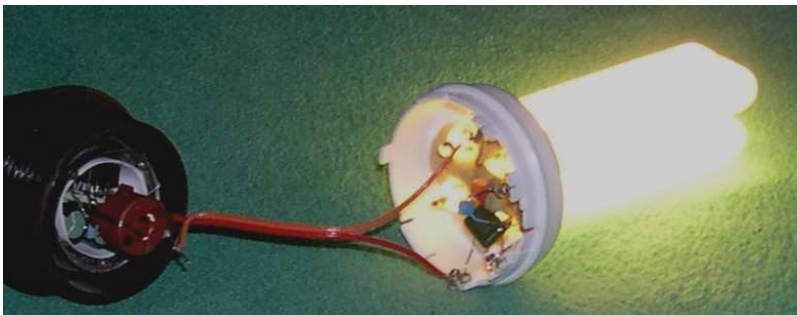


Abb. 10: Erster Prototyp eines neuentwickelten 11 W Vorschaltgerätes in Betrieb

Zukunftsaussichten

Dadurch, dass das Vorschaltgerät in den Sockel integriert werden kann, sind neue Möglichkeiten des Designs möglich. Ein Beispiel für ein neuartiges Design ist in Abb. 11a zu sehen, wo die Abmessungen des Adapterstückes zwischen Sockel und Lampe so schlank wie möglich gehalten und deutlich kleiner als das Original, das in Abb. 11b zu sehen ist.



Abb. 11a : Schlankes Design dank integriertem Vorschaltgerät im Sockel



Abb. 11b: Original OSRAM 11 W Lampe

Zusammenfassung der ausgeführten Arbeit

Beim vorliegenden Projekt ist es nun gelungen, die an sich bereits mit einem Minimum an Bauteilen arbeitende Schaltung eines Vorschaltgerätes für CFL noch weiter zu vereinfachen, die ohne Einbusse an Zuverlässigkeit arbeitet, kleiner ist und zudem preisgünstiger zu fertigen ist. Es ist insbesondere gelungen, den selbstschwingenden Oszillator so zu vereinfachen, dass mehrer Bauteile eingespart werden konnten und die Schalttransistoren in einem sicheren Bereich betrieben werden, so dass die Zuverlässigkeit und sogar der Wirkungsgrad des Vorschaltgerätes weiter erhöht werden konnten. Durch den Wegfall einiger Komponenten wurde es weiter möglich, die Masse derart zu reduzieren, dass die Schaltung im Lampensockel (E27) der Röhre untergebracht werden kann, so dass auch für das Lampendesign attraktive Gestaltungsmöglichkeiten denkbar sind. Die Schaltung ist universell, d.h. sie kann für Lampen in einem grossen Leistungsbereich eingesetzt werden. Es wäre also möglich ein Einheitsvorschaltgerät für CFL zu fabrizieren, das durch die dadurch nachgefragte grosse Masse unschlagbar wäre im Preis. Die Schaltung ist patentrechtlich geschützt.

Nachweis des ökonomischen Nutzens und/oder der Gewinn für die Gesellschaft

Da mit einem Anstieg der Nachfrage nach CFL in den nächsten Jahren zu rechnen ist, wäre es ein Segen, wenn auch in einem Hochlohnland solche Lampen zu einem attraktiven Preis hergestellt werden könnten. Wenn zudem für das Design grössere Freiheiten möglich sind, könnte dies die Akzeptanz noch weiter erhöhen, was dem Umweltschutz dienen würde. Der Ersatz der Glühlampe durch CFL würde den CO₂ Ausstoss drastisch verringern, da weniger Energie, auch fossile, für die Beleuchtung nötig wäre.

Australien will die Glühlampe in den kommenden Jahren generell verbieten und durch die Kompakt-Fluoreszenzröhren ersetzen. Auch in Deutschland werden solche Ideen diskutiert. Die Zeit ist also reif für den Durchbruch dieser Beleuchtungsart.

Es ist daher ein günstiger Zeitpunkt das hier entwickelte und zum Patent angemeldete Vorschaltgerät auf den Markt zu bringen, das es erlaubt, CFL noch kompakter, zuverlässiger und günstiger, auch in einem Hochlohnland, herzustellen.