

## **Die komfortable Energiesparlösung durch innovatives Lichtmanagement im Heimbereich**

*Hristo Ganev, Stefan Thiel, Stephan Völker*  
*Fachgebiet Lichttechnik, Technische Universität Berlin,*  
*Einsteinufer 19, 10587 Berlin*

### ***Zusammenfassung***

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die Entwicklung eines Systems für die Automatisierung der Beleuchtung in Wohngebäuden, um eine Steigerung der Energieeffizienz und des Lebenskomfort zu erreichen. Es werden die Anforderungen an entsprechende Systeme dargestellt und daraus Prämissen abgeleitet, die in Konzepten berücksichtigt werden sollten. Anhand eines realisierten Aufbaus werden die sich in den einzelnen Entwicklungsstufen ergebenden Forschungsfragen erörtert und die mit den getroffenen Entscheidungen verbundenen Vor- und Nachteile erläutert. Anschließend wird ein Ausblick auf das Potenzial der Hausautomatisierungssysteme bezüglich deren Verbreitung im privaten Wohnbereich gegeben.

### ***Einleitung***

Die zunehmende Sensibilisierung für Fragen des Umweltschutzes sowie gestiegene Energiepreise haben die Energieeffizienz zu einem der Hauptthemen von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik der vergangenen Jahre gemacht. Die Lichttechnik wird einen großen Beitrag zur Energieeinsparung leisten, da die dafür anfallenden Kosten im Vergleich zu anderen Bereichen relativ gering sind. Sie trägt in Zweckbauten jetzt bereits maßgeblich dazu bei, den Energieumsatz zu senken und zusätzliche Kostenersparnisse für die Betreiber zu realisieren. Dies geschieht vorrangig durch effizientere Lichtquellen mit gleichzeitig erhöhter Lebensdauer. Im genannten Anwendungsbereich haben auch Gebäudeautomatisierungssysteme (GA-Systeme) in den letzten Jahren verstärkt Einzug gehalten. Mit deren Hilfe lassen sich Einsparpotenziale mit gesteigertem Komfort sinnvoll kombinieren. Die Nutzung des natürlichen Tageslichtangebots mit gleichzeitiger Absenkung der Strahlungsbelastung im Innenraum zeichnet heutzutage jeden modernen Zweckbau aus. All dies ist ohne ein System für Regelung und Steuerung der in den

Gebäuden installierten Geräte nicht möglich.

Die in Zweckbauten am häufigsten zum Einsatz kommenden GA-Systeme basieren auf den beiden Bustechnologien KNX® und LonWorks® (*Local Operating Network*).

KNX ist ein internationaler [1] sowie ein europäischer [2] Standard für Gebäudeautomatisierung. Er bietet die Möglichkeit, Geräte unterschiedlicher Hersteller und Gewerke miteinander auf verschiedene Übertragungsmedien (wie z. B. Twisted Pair, Powerline, Funk oder IP/Ethernet) kommunizieren zu lassen. Zum heutigen Zeitpunkt sind über 1 Mio. Knoten mit verschiedenen Applikationen in KNX-Netzen angeschlossen.

LonWorks ist durch [3] ebenfalls als offener Standard definiert. Als Übertragungsmedien werden Twisted Pair und Powerline festgelegt. Falls ein erhöhtes Datenaufkommen entsteht, kann auch auf Glasfaser oder durch Tunneln auf IP-Netze eine Kommunikation aufgebaut werden. Die Verbreitung von LonWorks wird durch die weltweit über 350.000 im Betrieb befindlichen Systeme mit insgesamt über 100 Mio. Knoten unterstrichen.

Es liegt die Vermutung nahe, dass auch im Bereich privater Lebensräume eine Automatisierung sinnvoll sein kann. Bislang gibt es jedoch keinen nennenswerten Markt in diesem Segment. Als Hauptgründe dafür können die hohen Preise der Komponenten, die aufwendige Installation und die komplizierte Inbetriebnahme genannt werden. Für den normalen Nutzer sind die Kosten eines solchen Systems durch die zumeist lange Amortisationszeit kaum vertretbar. Neben der Energieeffizienz ist die Steigerung des Lebenskomforts entscheidend für die Akzeptanz potentieller Nutzer. Ein Hausautomatisierungssystem muss vielseitig einsetzbar sein, sowohl bei Neuinstallationen als auch bei der Sanierung und dem Nachrüsten der Wohnräume. Letzteres erscheint besonders wichtig, da bei der Applikation in Bestandsbauten besondere Anforderungen an die Systeme gestellt werden.

All diese dienen als Prämissen für ein Systemkonzept zur Lichtsteuerung, das am Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Berlin entwickelt wurde und im Folgenden vorgestellt wird. Zu Beginn werden die theoretischen Ansätze eines System für Hausautomatisierung aufgeführt. Der nachfolgende Teil, welcher die praktische Realisierung beinhaltet, zeigt die Eigenschaften der zum Einsatz kommenden Technologien und darauf basierende Hard- und Softwarelösungen. Anschließend wird eine Übersicht über die Einsparpotentiale gegeben, die durch den Einsatz des Systems entstehen können.

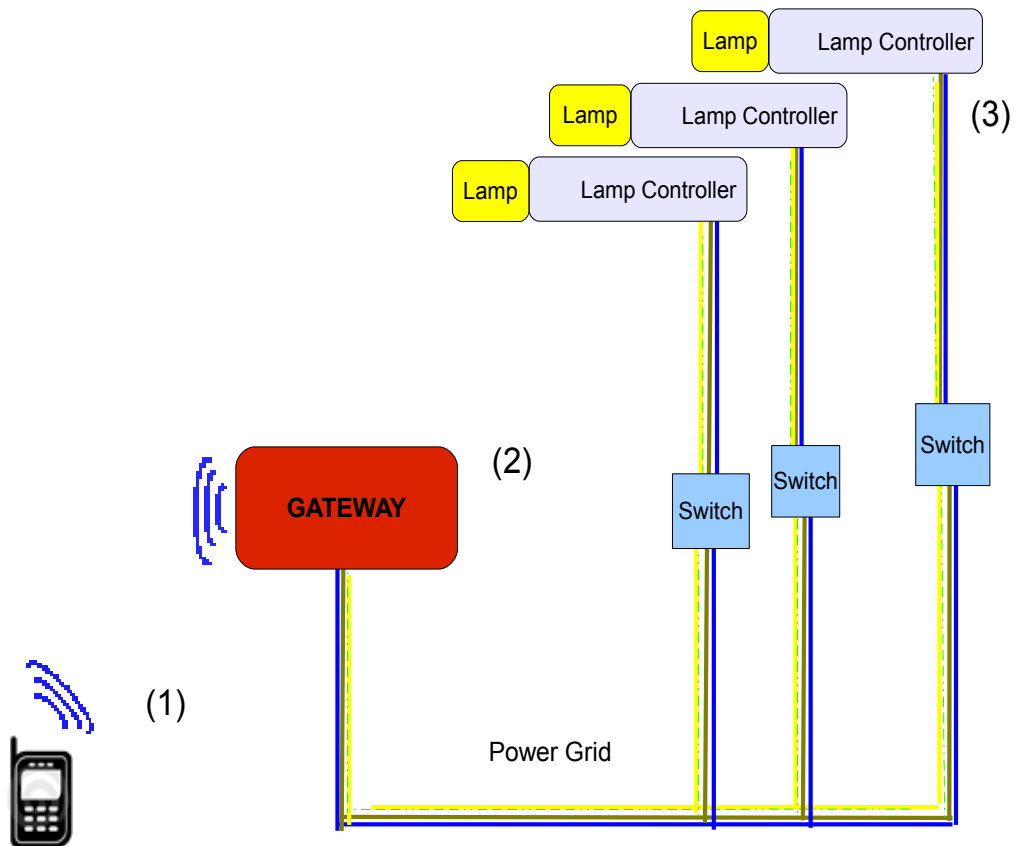
## ***Ansätze für die Entwicklung eines innovativen System für Lichtsteuerung***

Ein System zur intelligenten Lichtsteuerung im Heimbereich muss folgenden Anforderungen des Nutzers entsprechen:

- niedrige Anschaffungskosten
- intuitive Bedienbarkeit
- minimaler Installationsaufwand
- Inbetriebnahme ohne den Einsatz von Konfigurations- und/oder Planungssoftware
- Steigerung des Beleuchtungskomforts
- geringe Standby-Verluste
- etc.

Neben den vom Nutzer ausgehenden Ansprüchen müssen auch eine Reihe an technischen Anforderungen in Betracht gezogen werden. Einige davon sind:

- modularer Hardwareaufbau
- technische Erweiterbarkeit
- Programmierung in Protokoll-Schichtenmodell und Abstraktion
- Nutzung etablierter und/oder standardisierter Technologien
- etc.



**Abbildung 1:** Schema des Systemkonzeptes

Abbildung 1 zeigt das am Fachgebiet verfolgte Systemkonzept.

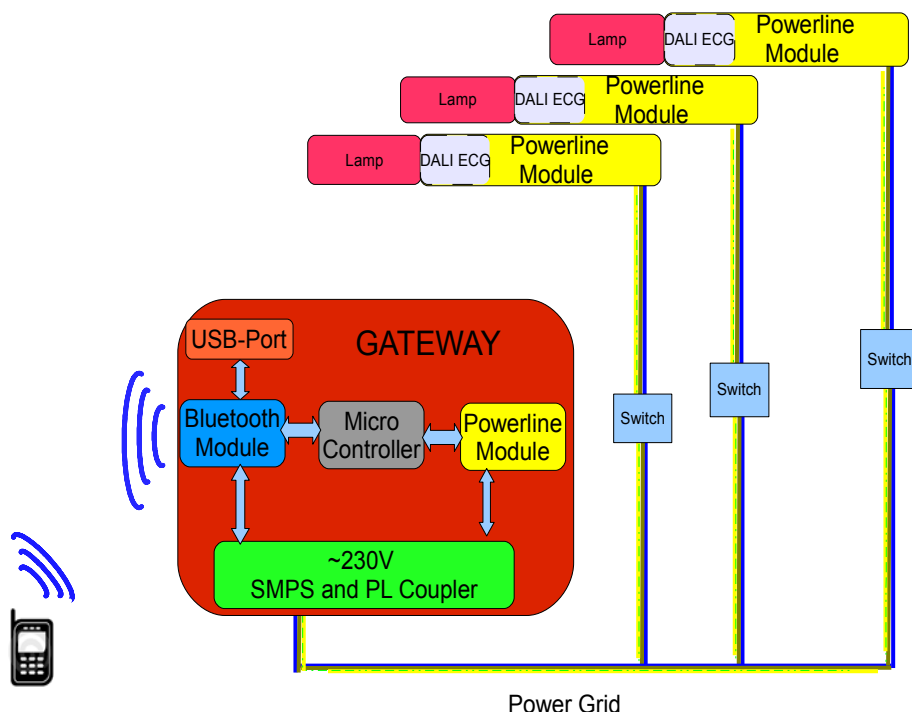
Es besteht aus folgenden Komponenten:

- (1) dem mobilen Kommunikationsgerät,
- (2) dem *Gateway* und
- (3) den Lampenaktoren (*Lamp Controller*).

Mit dem mobilen Kommunikationsgerät wird die Steuerung und die Konfigurierung des gesamten Systems ermöglicht. Das setzt gewisse Anforderungen an die Hard- und Softwareschnittstellen voraus. Die vom Applikationsprogramm in (1) erzeugten Befehle werden an das *Gateway* weitergeleitet, das das Herzstück des gesamten Systems ist. Es ist modular aufgebaut, um eine hohe Flexibilität bei der Auswahl von Übertragungsmedien

und Kommunikationsprotokollen zu erlauben. Seine Hauptfunktion ist die Umsetzung der gesendeten Informationen entsprechend den spezifischen Anforderungen der eingesetzten Geräte. Die Datenübertragung erfolgt bidirektional, um Messdaten, Statusinformationen und Empfangsbestätigungen (ACK) erhalten zu können. Der *Lamp Controller* kombiniert ein Kommunikationsmodul auf Powerline-Basis und die Schnittstelle zur digitalen Ansteuerung eines elektronischen Vorschaltgerätes.

## ***Praktische Realisierung des Konzepts***



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung des Systems

Die praktische Realisierung des im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Systemkonzepts ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die Rolle des mobilen Kommunikationsgerätes wird im gezeigten Fall von einem Mobiltelefon übernommen. Darauf wird eine Applikation zur Beleuchtungssteuerung ausgeführt. Diese ist so universell ausgeführt, dass sie an verschiedene Laufzeit-

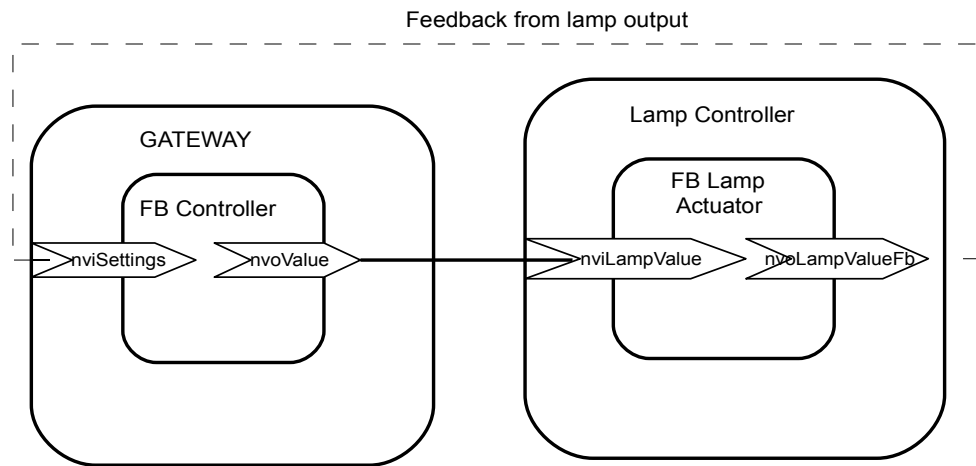
umgebungen angepasst werden kann. Außerdem wird eine *Bluetooth*<sup>®</sup>-Schnittstelle vorausgesetzt, um die Verbindung zum *Gateway* herzustellen.

Das *Gateway* besteht aus mehreren austauschbaren Hardware-Modulen. Die in Abbildung 2 gezeigte Konstruktion beinhaltet einen *Bluetooth-Radio*- und einen *Powerline-Transceiver*. Die vom Mobiltelefon kommenden Signale werden durch die *Bluetooth*-Schnittstelle empfangen und der zentralen Recheneinheit, einem *Microcontroller*, zur weiteren Verarbeitung bereitgestellt. Darin werden die Befehle der Applikationssoftware des Mobiltelefons in DALI<sup>1</sup> - konforme Datentelegramme transformiert. Diese werden mittels der seriellen UART<sup>2</sup> - Schnittstelle direkt an das *Powerline-Transceiver*-Modul des *Gateways* weitergeleitet. Letzteres besteht aus einem *PL 3170 Neuron*<sup>®</sup> *Smart Transceiver* der Firma Echelon<sup>®</sup> und dazugehöriger externer Beschaltung. Das *Gateway* bezieht seine Stromversorgung aus einem von Echelon spezifizierten Schaltnetzteil, das nicht nur die 230 V Wechselspannung auf 18 V Gleichspannung transformiert, sondern auch die Signaleinkopplung über das Spannungsversorgungsnetz ermöglicht. Die Datentelegramme propagieren über die Stromleitungen und erreichen schließlich den Lampenaktor (*Lamp Controller*). Er ist aus zwei separaten Einheiten aufgebaut, um Änderungen in zukünftigen Entwicklungen besser und schneller implementieren zu können. Das erste ist ein *Powerline-Transceiver*-Modul, das dem im *Gateway* eingesetzten identisch ist. Unterschiedlich ist lediglich die Spannungsversorgung, da hier eine galvanische Trennung entsprechend der gewählten Geräte-Schutzklasse nicht nötig ist. Das spiegelt sich in der Größe und in den Herstellungskosten wieder und erlaubt einen kompakteren Aufbau des *Lamp-Controllers*. Die zweite Komponente ist ein DALI-fähiges elektronisches Vorschaltgerät, wodurch eine standardisierte Schnittstelle bis zum Lampenbetriebsgerät definiert ist. Um die Kommunikation zwischen *Gateway* und *Lamp Controller* verständlicher zu machen, folgt eine kurze Beschreibung der dort ablaufenden Prozeduren.

---

1 DALI – **D**igital **A**ddressable **L**ighting **I**nterface [4]

2 UART – Universal Asynchronous Receiver Transmitter



**Abbildung 3:** Vereinfachte Darstellung der Funktionsprofile einzelner Geräte

Das aus dem Gateway ausgehende Signal wird auf eine Trägerfrequenz von 132 kHz (bzw 115 kHz als Ersatzfrequenz) moduliert und in die Niederspannungsleitung eingespeist. Die während der Ausbreitung entstehende Dämpfung kann bis zu 80 dB groß sein, um einen sicheren Datenaustausch zu gewährleisten. Das entspricht einem Verhältnis von 1:10.000 zwischen der Stärke des empfangenen und der des gesendeten Signals. Das sogenannte *Dual Carrier Frequency* – Verfahren garantiert eine zuverlässige Kommunikation und minimiert den Einfluss der im Versorgungsnetz befindlichen Störungen. Die Daten selbst sind in Form von Netzwerkvariablen (NV) in den Datentelegrammen eingebettet. Das Prinzip der NVs ist grundlegend für die Philosophie der LonWorks® -Technologie. Basierend auf dieser Idee wurde das LonTalk® - Protokoll von Echelon® Anfang der neunziger Jahren entwickelt. Seine Hauptidee basiert auf der Annahme, dass für die Kommunikation zwischen ähnlichen Geräten der Gebäudeautomatisierung nur ein kleines Datenaufkommen notwendig ist. Daraus entstanden die Netzwerkvariablen, die von LonMark® International (LMI) ausgearbeitet und festgelegt werden. Die LMI ist eine Vereinigung, in der Hersteller von Geräten für Gebäude- und Hausautomatisierungssysteme und Anwender zusammengeschlossen sind. Die LMI legt auch funktionale Profile fest, mit denen jedes einzelne Gerät charakterisiert

werden kann. Die Anwendung der funktionalen Profile entsprechend des Konzepts dieser Arbeit ist in Abbildung 3 dargestellt.

Im Gateway wird das Funktionsprofil „*Controller*“ eingesetzt. Es beinhaltet mehrere NVs (auf dem Bild sind aus Gründe der Übersichtlichkeit nur zwei dargestellt), in denen sich die eingebetteten DALI-Befehle (2 Byte) befinden. Die NVs werden in Abhängigkeit von ihrer Richtung in Eingehende (*nvi-network variable input*) und Ausgehende (*nvo-network variable output*) unterteilt. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass nvoValue (Controller) mit nvoLampValue vom Funktionalprofil *Lamp Actuator* eine Richtung der Kommunikation zwischen dem *Gateway* und *Lamp Controller* realisiert. Die andere Richtung wird mit Hilfe der NVs nvoLampValueFb und nviSettings zu einem Informationskreislauf geschlossen. Die Nutzung von NVs bringt noch einen wichtigen Vorteil mit sich. Es wird bei der Änderung einer Messgröße immer ein Datentelegramm mit der zugehörigen NV erzeugt und durch das Kommunikationsnetz verbreitet. Ein Beispiel dafür ist die Beobachtung des Beleuchtungsniveaus in den Räumen mittels Präsenzmelder mit eingebautem Helligkeitssensor. Die automatisch erfassten Messwerte aus dem Helligkeitssensors werden sofort als NV durch das Netz geschickt und erreichen so die *Lamp Controller*. In Abhängigkeit von der Programmierung wird eine Änderung des Lichtstroms der Lampe vorgenommen, bis der definierte Sollwert wieder erreicht wird. Diese Funktionalität ist nicht nur der Beleuchtung vorbehalten, sondern kann auch von anderen Gewerken (wie Heizung und Klimatisierung) genutzt werden.

Die Möglichkeit mehrere Funktionsprofile in der Software des Gateways einzubeziehen, erlaubt eine Erweiterung des Systemansatzes über die Grenzen der Beleuchtungssteuerung hinaus. Dies wandelt das *Gateway* in eine zentrale Einheit für Steuerung der Hausautomatisierung.

## ***Ergebnisse und Ausblick***

Der entwickelte Ansatz für die Automatisierung der Beleuchtung in Wohngebäuden zeigt eine Reihe von Möglichkeiten auf, einfache und kostengünstige Systeme zu entwickeln, mit denen eine erhebliche Komfortsteigerung verbunden ist. Viele der angewandten Technologien sind heutzutage ausschließlich in Geräten für professionelle Anwendungen zu finden. Deren hoher Preis spiegelt allerdings nicht die Herstellungskosten der Komponenten wieder, sodass bei einem breiteren Einsatz und effizienterer Fertigung mit einem deutlichen Preisrückgang zu rechnen ist.



Der modulare Aufbau von Soft- und Hardware des *Gateways* lässt ein schnelles Umrüsten und eine reibungslose Umstellung von einem Übertragungsmedium zum Anderen (z. B. von *Powerline* auf Funk) zu. Als deutlicher Vorteil des Systems wird angesehen, dass die in nahezu jedem Haushalt mittlerweile vorhandenen Bediengeräte genutzt werden, was die Investitionskosten senkt, das Anbieten weiterer Dienste ermöglicht und etablierte Bedienkonzepte nutzt. Hier sind allerdings vorhandene Kundenhemmnisse durch Marketingmaßnahmen zu überwinden, was erste Umfrageergebnisse zeigen. Zusätzliche Benutzerschnittstellen sind nötig, um eine breite Zielgruppe anzusprechen. Schon deshalb ist es notwendig, auch im Wohnbereich auf Übertragungsstandards wie LonWorks, EnOcean, Z-Wave oder ZigBee zu setzen. Als problematisch erweist sich aber der Mangel an standardisierten Protokollen und Schnittstellen zwischen den Geräten verschiedener Hersteller und Gewerke (Heizung, Haushaltsgeräte und Elektronik). Die im Moment auf dem Markt befindlichen Lösungen für Hausautomatisierung sind fast ausschließlich proprietär und eine Kommunikation zwischen Geräten unterschiedlicher Systeme ist zumeist nicht möglich. Diese Problematik ist einer der Hauptgründe, weshalb die Verbreitung von GA-Systemen so langsam erfolgt. Würde diese Hürde überwunden werden, lassen sich sehr hohe Energieeinsparpotentiale, z. B. im Bereich der Heizung- und Klimatechnik, erschließen. Ein weiterer Aspekt des Konzeptes ist die vereinfachte, fast intuitive, Bedienung der Benutzerschnittstelle (mobiles Kommunikationsgerät), da diese immer mehr im alltäglichen Leben Verwendung findet.

## ***Literaturquellen***

- [1] ISO/IEC 14543-3-6 2007 : *Information technology -- Home electronic system (HES) architecture - Part 3-6: Media and media dependent layers - Network based on HES Class 1, twisted pair.*
- [2] CENELEC EN 50090 01. 2002 : *HBES System Overview - General Technical Requirements.*
- [3] ISO/IEC 14908-1 12.2008 : *Open Data Communication in Building Automation, Controls and Building Management - Control Network Protocol - Part 1: Protocol Stack.*
- [4] IEC 62386-2 03.2008 : *Digital addressable lighting interface: General requirements - System.*