

Licht drahtlos im Griff

Kabellos vernetzte Beleuchtungssysteme



© Etienne Girardet

Busse und Verbindungstechnologien für die Gebäudeautomation kann man einerseits in kabelgebundene oder kabellose (funkbasierte) und andererseits in proprietäre (herstellerspezifische) und offene Ausführungen einteilen. Bei großen Gebäuden setzt man eher auf kabelgebundene Vernetzung, bei kleineren Gebäuden, etwa Einfamilienhäusern, eher auf Funkvernetzung. Auch beim Licht sind offene kabellose Technologien eine attraktive Alternative zur typischen KNX- oder DALI-2-Kabelvernetzung. Kein Wunder: Die sich bei Funkanwendungen ergebenden Vorteile sind offensichtlich und bekannt: einfache Installation, geringere Kosten, hohe Flexibilität in der Nutzung und Nachrüstbarkeit.

Licht intelligent und bedarfsgerecht steuern

Dazu verbindet man entweder Bewegungs- oder Präsenzmelder mit dem (vorhandenen) Lichtsystem oder aber man installiert gleich ein Lichtsysteme mit integrierter Sensorik. Erfolgt die Verbindung mittels Funktechnik, so ist deren Reichweite zu beach-

ten. Hierbei stützt sich der erfahrene Installateur eher auf praktisch nachgewiesene Werte und vertraut nicht blind Herstellerangaben, da er deren Randbedingungen nicht kennt (s. Kasten). Die reale Reichweite des Funksystems setzt also der Fläche, auf der sich das Lichtsystem befindet, eine Grenze. Daher bleiben für die Lichtsteuerung auf weitläufigen Flächen Kabelverbindungen im Spiel. Ansonsten hat die Funklösung eigentlich nur Vorteile, s. oben. Dazu gehört auch die Flexibilität bei der Raumnutzung, da Zuweisungen innerhalb eines Mesh-Netzwerkes angepasst oder geändert werden können. Mit anderen Worten: Es gibt keinen Nachinstallationsaufwand, wenn ein Raum anders genutzt werden soll. Heutige stromsparende LED-Lichtsysteme und moderne Sensoren (Bewegungsmelder) begünstigen die Verleihung von Lichtintelligenz. Modernes Licht erreicht damit die Fähigkeit, sich den Bedürfnissen der Bewohner anzupassen, weil die Lichtsysteme und Sensoren im Innen- und Außenbereich miteinander verbunden sind. Beleuchtung wird intelligent automatisiert – als personalisiertes Licht zu Hause

und in professionellen Lichtanwendungen, z.B. im Büro. Es lassen sich Lichtstimmungen speichern – wie gedimmtes oder farbiges Licht – und per App aufrufen. Neben dem einfachen Ein- und Ausschalten können auch Farbe und Helligkeit einzelner (LED-)Leuchten oder ganzer Gruppen geändert werden (RGB/RGBW-LED-Beleuchtung).

Der offene Standard ZigBee Light Link

The Connected Lighting Alliance gab Mitte 2013 bekannt, dass ZigBee Light Link als gemeinsamer, offener Standard für vernetzte Lichtanwendungen im Wohnbereich ausgewählt wurde. Damit begann eine Erfolgsgeschichte, die das Potential offener Systeme unterstreicht. Denn je mehr verschiedene Produkte existieren, desto wichtiger werden einheitliche Standards, um Kompatibilität und sicheres Zusammenspiel zu gewährleisten. Zum wichtigsten Standard im Umfeld der drahtlose Lichtsteuerung hat sich ZigBee Light Link, kurz ZLL, gemauert. Es ist neben den Profilen ZigBee Home Automation (ZHA) und ZigBee Smart Energy (ZSE) der meistgenutzte Standard einer größeren Familie von Standards der ZigBee-Allianz, die auf den von IEEE 802.15.4 spezifizierten Schichten für die Funkübertragung aufsetzen. ZLL kommuniziert auch verschlüsselt.

In der Regel wird eine eigene Basisstation als Gateway benötigt. Diese ist an den Router gekoppelt und transferiert die von einem Smartphone

oder Tablet ausgehenden Befehle in das ZigBee-Format.

Anfang 2016 zeigte sich ZigBee in der Version 3.0. Damit wurden konsequent verschiedene Profile vereinheitlicht, sodass sich fortan die nach dem neuen Standard zertifizierten Geräte gleichzeitig für weitere Anwendungen, wie Smart Home, Energiemanagement, Sicherheit, Sensoren oder Health Care nutzen ließen. Dieser Wurf sollte ZigBee zum beworbenen allumfassenden Standard für Heimautomation und das Internet der Dinge werden lassen. Erfolgsrezept: Ermöglichung der Interoperabilität zwischen den Geräten verschiedenster Hersteller.

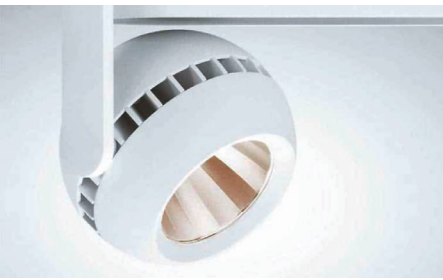
Zunächst basierte ZLL auf einem kompakten Protokoll-Stack, der auch auf 8-Bit-Mikrocontroller passte. Heute basiert ZLL meist auf Mikrocontrollern von ARM mit 32 Bit und einem integrierten ZigBee-Funktransceiver. Dieser ist einen näheren Blick wert, unterscheidet er sich doch vorteilhaft von anderen Funktechniken. Sein Geheimnis ist die so niedrig wie möglich ausgelegte Übertragungsrate. Das mag Laien verblüffen, jedoch wissen Fachleute, dass der Energieverbrauch mit der Übertragungsrate einhergeht. Und so lassen sich diese Komponenten über Jahre wartungsfrei und ohne einen Batteriewechsel betreiben.

Rund um „Blauzahn“ (Bluetooth)

Bluetooth ist ein in den 90er Jahren durch die Bluetooth Special Interest Group (SIG) entwickelter Industrie-



Das auf ZigBee basierende LED-Leuchtersystem Philips Hue (hier das Philips Hue White Color Ambiance Starterkit) zählt zu den bekanntesten Produkten aus dem ZigBee-Portfolio, auch aufgrund seiner einfachen Benutzersteuerung © Philips Lighting



Mit einem optionalen ZigBee-Interface kann der Shop-Strahler In.Evo von Trilux die Steuerbefehle auch drahtlos empfangen
© Trilux GmbH & Co. KG

standard für die Datenübertragung zwischen Geräten über kurze Distanz per Funktechnik. Hauptzweck von Bluetooth ist das Ersetzen von Kabelverbindungen zwischen Geräten. Für die größeren Entfernungen bei Lichtsystemen eignet sich die Klasse 1 mit der größten Sendeleistung, welche in Innenräumen ca. 100 m überbrücken kann. Im Jahr 2024 gelang übrigens eine Bluetooth-Verbindung über eine Distanz von 600 km zu einem künstlichen Erdsatelliten. Bluetooth durchlief eine Reihe von Versionen. Die letzte Version 6.0 wurde im September 2024 veröffentlicht. Ein großer Teil der Verbesserungen zielte auf genauere Ortung und stabilere Audioverbindungen über Bluetooth Low Energy. Somit ging die Weiterentwicklung mehr oder weniger an Lichtenwendungen vorbei. Bluetooth Low Energy, Bluetooth LE (kurz BLE) ist eine Ausprägung, mit der sich Geräte im Abstand von bis zu etwa 10 m vernetzen lassen. Zwar hat BLE einen deutlich geringeren Stromverbrauch, doch scheinen die Anwendungen in Lichtsystemen entsprechend beschränkt, gäbe es da nicht einen Trick:

Der basiert auf Bluetooth 5.0 mit seinen Änderungen für Low Energy und mit neuen Modi für die Gebäudeautomation, wofür später auch ein Mesh-Protokoll hinzugefügt wurde. Bluetooth Mesh basiert auf Bluetooth Low Energy. Many-to-Many-Netzwerke lassen sich damit einfach realisieren, d.h., dass eine Vielzahl von Geräten, den sogenannten Knoten, miteinander verbunden sein können. Das Netzwerk überträgt die Informationen über diese Knoten bis zum Ziel. Informationen können damit über die eigentliche Funkreichweite eines einzelnen Geräts hinaus weitergegeben werden (s. Kasten).

LED-Sensor-Lichtsysteme als Connected-Lighting-Lösung

Modernes, intelligentes Licht passt sich den Bedürfnissen der Nutzenden an und begleitet sie auf dem Weg durch ein Gebäude bis zu ihrem Ziel. Die entsprechenden Produkte der Steinel GmbH setzen dabei voraus, dass die Lichtsysteme und Sensoren im Innen- und Außenbereich kabellos via Bluetooth Mesh miteinander verbunden sind.

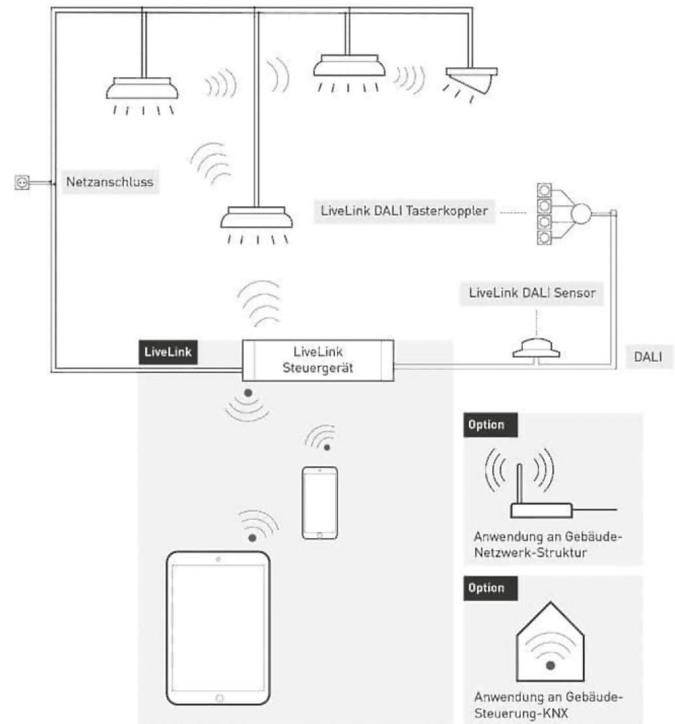
Connected Lighting bedeutet bei Steinel, dass Bluetooth-fähige Leuchten etwa in der Tiefgarage, in Funktionsräumen und auch im Außenbereich in die intelligente Lichtsteuerung einbezogen werden, da sie sich alle kabellos miteinander verbinden lassen. Um das zu ermöglichen, geht man von einem zentralen Steuergerät ab und verlagert bei der Vernetzung via Bluetooth Mesh die Steuerungsfunktion in die einzelnen Geräte. Alle Knoten, sprich alle Komponenten, können miteinander kommunizieren. Folglich reduziert sich die Datenmenge, und die Weitergabe der Informationen erfolgt ohne Engpässe.

Dank einer kabellosen Vernetzung per Bluetooth Mesh können Leuchten und Sensoren auch mit der Steinel Connect App bedient werden. Intuitiv und auf Fingertipp werden mehrere Leuchten per Bluetooth Mesh miteinander vernetzt und zu Lichtgruppen zusammengefasst. Den gebildeten Lichtgruppen werden bestimmte Parameter wie Helligkeit für Grund- und Hauptlicht, Nachlaufzeit oder Nachbarfunktion für mitlaufendes Licht zugewiesen, um nur dort das Licht einzuschalten, wo sich eine Person gerade aufhält und sich in Kürze aufhalten wird. In ungenutzten Bereichen bleibt das Licht ausgeschaltet oder auf einem gedimmten Niveau.

Einflüsse auf die Reichweite

„Die tatsächlich erzielbare Reichweite hängt außer von der Sendeleistung von einer Vielzahl von Parametern ab. Hierzu zählen beispielsweise die Empfindlichkeit eines Empfängers und die Bauformen der auf Funkkommunikationsstrecken eingesetzten Sende- und Empfangsantennen. Auch die Eigenschaften der Umgebung können die Reichweite beeinflussen, beispielsweise Mauern als Hindernisse innerhalb der Funkkommunikationsstrecken. Auch die Typen der Datenpakete können wegen Unterschieden in Länge und Sicherungsmechanismen Einfluss auf die erzielbare Reichweite haben.“

Quelle: Wikipedia/Bluetooth



Sowohl das Steuergerät als auch das ZigBee-DALI-Interface in den Leuchten von Trilux besitzen einen DALI-Ausgang, über den sich beispielsweise weitere Leuchten, Taster oder Sensoren einbinden lassen

© Trilux GmbH & Co. KG

Z-Wave: Einheitliche Einrichtung über Marken, Anwendungen und Gerätetypen hinweg

Dieses drahtlose Kommunikationsprotokoll wurde 1999 von Zensys, Inc. entwickelt (daher das Z) und hat sich zu einer der führenden drahtlosen Technologien für die Kommunikation elektronischer Geräte wie Lampen, Ventilatoren, Heiz- und Kühleinheiten usw. entwickelt. Denn es bietet ein Low-Power/Long-Range-Protokoll, also eine große Reichweite bei geringem Stromverbrauch und zudem beste Sicherheit.

Z-Wave arbeitet nach dem Prinzip der Z-Wave Mesh-Netzwerk-Topologie,

die eine bidirektionale Kommunikation zwischen mehreren Geräten verwendet. Damit gelingt es, alle Smart-Home-Geräte zu verbinden und mehrere Kanäle und Routen für die Kommunikation zwischen den einzelnen Geräten bereitzustellen. Alle Geräte sind mit einem intelligenten zentralen Gerät verbunden, dem Z-Wave-Hub oder Gateway-Controller. Wenn der Benutzer einen Befehl von seiner Smartphone-Anwendung sendet, um etwa eine LED-Lampe einzuschalten, dann empfängt der Z-Wave-Gateway-Hub diesen Befehl und leitet ihn an die Lichtenanlage weiter.

Wie der Name schon sagt, ist der Z-Wave-Gateway-Controller die zentrale Steuereinheit des Netzwerks. Es steuert alle anderen Z-Wave-Geräte. Controller-Geräte werden als Heim-ID programmiert, die eindeutig und vom Endbenutzer nicht änderbar ist.

Die Z-Wave-800-Serie ist die neueste Version dieses drahtlosen Protokolls; es wurde 2021 veröffentlicht. Die Reichweite wird jetzt mit 2400 m angegeben und die Batteriebensdauer mit bis zu zehn Jahren (durch Schlafmodus).



Die Firma EnOcean bietet auch batterie-lose Funkmodule für BLE-Systeme. Hier das Schaltermodul PTM 215B. Es ist erstmals mit einer NFC-Funktionalität ausgestattet und soll so das Einlernen und Konfigurieren des Schalters vereinfachen.
© EnOcean GmbH

Die Betriebsfrequenz von Z-Wave liegt je nach Einsatzgebiet zwischen 800 und 930 MHz. Dies bietet zwar gegenüber Technologien mit 2,4 GHz eine höhere Störsicherheit, zwingt aber zur länderspezifischen Auswahl der Geräte. Man muss also vor dem Kauf eines Z-Wave-Geräts sicherstellen, dass es mit dem Frequenzbereich der Region kompatibel ist. In Großbritannien und Europa funktioniert das Z-Wave-Protokoll auf 868,40, 868,42 und 869,85 MHz. Wenn man die Z-Wave-Produkte grob kategorisiert, erkennt man folgenden drei Typen: Zentralhub, Knotensensoren und Aktoren/Controller. Eine zentrale Smart Hub Z-Wave ist für die Installation des Z-Wave-Mesh-Netzwerks erforderlich, während die Anzahl der anderen beiden Produkte optional ist.

Last not least: Sicherheit

Durch das Mesh-Prinzip mit seinen kleinen Sendeleistungen und Geräterreichweiten haben es Hacker schwer, den Datenverkehr direkt zu manipulieren, da sie an diesen physikalisch schwer herankommen. Ist das Internet einbezogen, sieht das etwas anders aus. Fest steht: Durch ihre breite Nutzung rückt die Smart-Home-Technologie immer mehr in

den Fokus von Cyberkriminellen. Kann ein Angreifer die Funkkommunikation mithören oder diese sogar aktiv manipulieren, hat das eventuell weitreichende Folgen. Hacker suchen hierfür nach Schwachstellen im Protokoll oder in der jeweiligen Implementation. Alle Systeme kommunizieren darum verschlüsselt und sind weitgehend sicher. Das ZLL-Profil ermöglicht es Verbrauchern, LED-Beleuchtungen und Steuereinrichtungen in ZigBee-Netzwerke sowie deren Sicherheitsarchitekturen zu integrieren. Es verwendet einen Netzwerkschlüssel, der mithilfe des Masterkeys an alle Funkmodule übertragen wird. Damit ist gewährleistet, dass die Kommunikation zuverlässig und vor unbefugtem Zugriff geschützt bleibt. Herstellerübergreifende Sicherheitsprobleme treten bei der Implementierung von Netzwerkschlüsseln auf, wenn die Information ungesichert übertragen wird. Wenn ein Gerät gezwungen ist, den Schlüsselaustausch neu zu beantragen, besteht die Möglichkeit, dass der Netzwerkschlüssel mitgelesen oder gestohlen werden kann. Der Bluetooth-Standard sieht Sicherheitsmechanismen vor, die optional aktiviert werden können. Übertragene Daten lassen sich verschlüsseln

oder signieren. Zum Schutz der Privatsphäre des Nutzers ist es außerdem möglich, die Geräteadresse in zeitlichen Abständen zu wechseln. Schwachstellen im Protokoll betreffen meistens alle Bluetooth-LE-Geräte, da ein grundsätzliches Problem beim Design vorliegt. Implementierungsspezifische Schwachstellen betreffen einen oder eine begrenzte Anzahl an Herstellern, da hier Vorgaben der Bluetooth-LE-Spezifikation ungenau oder falsch umgesetzt wurden. Die Entscheidung, wann welche Sicherheitsmechanismen aktiviert werden, kann entweder generell für alle Verbindungen mit einem Gerät oder beschränkt auf Interaktionen mit bestimmten Services getroffen werden (LE Security Mode 1 oder 2, Level 1 oder 2). Der initiale Schlüsselaustausch zum Aufbau eines verschlüsselten Kanals wird als Pairing bezeichnet. BLE kennt vier verschiedene Pairing-Methoden: Just Works, Passkey Entry, Out of Band (OOB) und Numeric Comparison. Z-Wave nutzt den AES128-Verschlüsselungsstandard mit einer zusätzlichen Sicherheitsebene 2 (S2). Das S2-Protokoll basiert auf einem neuen und intelligenten Algorithmus namens Curve25519 anstelle der typischen AES-128-Bit-Verschlüsselungssicherheit. Es bietet

auch Schutz vor illegalem Backdoor-Zugriff. Die Z-Wave-Sicherheitsebene bietet Nachrichtenverlässigkeit, Datenschutz und Datenoriginalität. Die Nachrichten werden verschlüsselt, und nur die sicheren intelligenten Geräte können die Nachrichteninhalte im Netzwerk lesen.

FS



Neben der Hank-Leuchte gibt es Leuchtmittel mit eingebauter Z-Wave-Funktionalität von Aeotec sowie von Zipato. © Hank

Das Mesh Network

Von Beginn an setzten Z-Wave und ZigBee auf die Mesh-Netzwerk-Technologie. Die ZigBee-Mesh-Netzwerk-Topologie ist der Hauptunterschied zwischen der traditionellen Smart-Home-Methodik und dem Z-Wave-Smart-Home-Konzept, bei dem im traditionellen Netzwerk jedes Smart-Home-Gerät direkt mit dem Internet verbunden ist. Vor acht Jahren brachte die SIG, die Bluetooth Special Interest Group, Mesh-fähige Bluetooth-Geräte an den Start. Mit Bluetooth Mesh hat man die Möglichkeit, Smartphones und Tablets direkt in das Ökosystem einzubinden – indem diese entweder Befehle durch das Netzwerk senden oder selbst ein Teil des Netzwerks werden. Wie bei Z-Wave und ZigBee gilt übrigens auch bei Bluetooth Mesh, dass lediglich netzstrombetriebene Komponenten als Repeater dienen können. Das Mesh Network ergänzt den Low-Energy-Teil des Bluetooth-Protokolls, bei dem es darum geht, kurze Datenpakete möglichst energiesparend zu übertragen. Mit dem Mesh-Netzwerk-Protokoll wurde Bluetooth LE auch in den Bereichen Gebäudeautomation, Sensornetzwerke und Nachverfolgung von Gütern einsetzbar. Bei einem vermaschten Netz sind alle Knoten untereinander verbunden, wodurch die Reichweite erhöht wird und blockierte Verbindungsstücke umgangen werden. In diesem Punkt waren ältere Automationsstandards wie ZigBee und Z-Wave lange Zeit Bluetooth voraus. Als Funkstandard erfüllt Bluetooth Mesh die Industrieanforderungen hinsichtlich Sicherheit, Robustheit und Skalierbarkeit der Datenübertragung. Daneben bietet es eine herstellerübergreifende Interoperabilität, ein Vorteil von dem Nutzer wesentlich profitieren.



Die Steinel-LED-Außenbeleuchtung (hier der Strahler XLED Home 2) in Z-Wave-Technologie ist mit dem System Smart Friends kompatibel. © Steinel