



Z-Wave

Anwenderhandbuch

© 2010 Dr. Christian Pätz

ISBN x – xxxxx – xxx – x

Auflage: 25.01.2011

Das vorliegende Werk ist in all seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht der Übersetzung, des Vortrages, der Reproduktion, der Vervielfältigung auf fotomechanischen oder anderem Wege oder der Speicherung in elektronischen Medien.

Ungeachtet der Sorgfalt, die auf die Erstellung von Text und Abbildungen verwendet wurde, können weder der Hausgeber noch der Autor für mögliche Fehler und deren Folgen eine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung übernehmen.

Die in diesem Werk wiedergegebenen Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. können auch ohne besondere Kennzeichnung Marken sein und als solche den gesetzlichen Bestimmungen unterliegen.

Inhaltsverzeichnis

Z-Wave	1
1 Einleitung	10
1.1 Anforderungen an ein funkbasierendes Protokoll	11
1.2 Alternative Funklösungen zur Hausautomation	12
1.2.1 Analoger Funk im 27 MHz oder 433 MHz Band	12
1.2.2 Proprietäre Funkprotokolle einzelner Hersteller	12
1.2.3 Powerline13	
1.2.4 Zigbee	14
1.2.5 En-Ocean	15
1.2.6 Z-Wave	16
1.3 Historie der Z-Wave-Charakteristik	17
1.4 Allgemeines Schichtenmodell in der Funkkommunikation	20
2 Funkebene/Hardware	21
2.1 Allgemeines zu Funksignalen	21
2.1.1 Abschätzungen zur Funkausbreitung	23
2.1.2 Abstand zu Störquellen	25
2.1.3 Effektive Wandstärke	26
2.1.4 Funkschatten	26
2.1.5 Reflexionen	27
2.1.6 Interferenzen	28
2.1.7 Montagehöhen	28
2.1.8 Grundregeln bei der Installation	29
2.1.9 Zur baubiologischen Verträglichkeit	29
2.2 Z-Wave Funkkodierung	31
3 Netzwerkebene	32
3.1 Funkzugriff und Transportschicht	32
3.2 Grundlagen des Netzes, Einbinden von Knoten	34
3.3 Vermaschung und Routing	40
3.4 Typen von Netzknoten	46
3.5 Herausforderungen beim Aufbau typischer Netzkonfigurationen	52
3.5.1 Z-Wave Netz mit einem portablen Controller	52
3.5.2 Z-Wave Netz mit einem statischen Controller	53
3.5.3 Mehrere Controller in einem Netz	54

3.6 Static Update Controller (SUC) und SUC ID Server (SIS)	57
3.6.1 Static Update-Controller (SUC)	58
3.6.2 Static ID Server (SIS).....	59
3.7 Dynamische Netze mit Routing-Slaves	61
3.8 Inclusion und Exclusion in der Praxis	64
3.8.1 Inclusion und Exclusion von Slaves	64
3.8.2 Inclusion bei Controllern.....	68
3.8.3 Inclusion von batteriebetriebenen Geräten	69
4 Applikationsebene	70
4.1 Z-Wave-Geräte	70
4.1.1 Kommandoklassen.....	72
4.1.2 Die Kommandoklasse Basic	73
4.1.3 Geräteklassen	74
4.2 Konfiguration	79
4.3 Batteriebetriebene Geräte	80
4.3.1 Fehlerfälle beim Einbinden in ein Netzwerk	83
4.3.2 Maximierung der Batterielaufzeit.....	84
4.4 Gruppen, Szenen und Assoziationen	88
4.4.1 Assoziationen	88
4.4.2 Gruppen.....	93
4.4.3 Szenen.....	94
4.4.4 Vergleich von Gruppen, Szenen und Assoziationen.....	94
4.5 Arbeiten mit IP- Gateways	95
4.5.1 Rückmeldungen von Statusänderungen	97
4.5.2 Controller zum Umschalten von Szenen	99
4.5.3 Automatische Konfiguration von Geräten durch das Gateway und direkte Assoziationen zwischen Geräten	103
5 Z-Wave in der Praxis	105
5.1 Prinzipielle Vorgehensweise bei Z-Wave – „Quick Start Guide“	105
5.2 Auswahl der Geräte	106
5.2.1 Controller	106
5.2.2 Slaves	107
5.3 Hinweise zur Installation von Z-Wave-Netzen	108
5.4 Typische Schwierigkeiten beim Umgang mit Z-Wave	110
5.4.1 Zu geringe Kenntnisse über die Z-Wave-Technologie	110
5.4.2 Unklare und verwirrende Bezeichnungen.....	110

5.4.3 Unterschiedliche Bedienung vom im Prinzip gleichen Geräten	110
5.4.4 Mehrere identische Node-IDs im Netzwerk	111
5.4.5 Kompatibilitätsprobleme	112
6 Einige Hinweise zu Elektroinstallation	113
6.1 Dimmer.....	113
6.1.1 Phasenanschnittdimmer	114
6.1.2 Phasenanschnittdimmer für induktive Lasten	114
6.1.3 Phasenabschnittdimmer	115
6.1.4 Universaldimmer	117
6.1.5 Leuchtstofflampen	117
6.1.6 LED Leuchten	118
6.1.7 Zusammenfassung	118
6.2 Treppenhausschaltung	119
6.3 Produktfamilien.....	120
6.3.1 ACT HomePro	120
6.3.2 Merten Connect	121
6.3.3 Düwi Z-Wave (chem. Interact)	122
Anhang A: Z-Wave-Kommandoklassen.....	124
Anhang B: Generische Geräteklassen.....	126
Anhang C: Szenenumschaltung von Z-Wave-Controllern	129

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Zen-Sys Chip der dritten Generation	17
Abbildung 1.2 Webseite der Z-Wave Alliance (Stand 2009).....	18
Abbildung 1.3 Z-Wave Kompatibilitätslogo	19
Abbildung 1.4 Allgemeines Model einer Kommunikationsarchitektur	21
Abbildung 2.1 Dämpfung von Funkwellen an einer Wand.....	22
Abbildung 2.2 Mitgliedsländer des CEPT-Abkommens in Europa	23
Abbildung 2.3 Ablaufabelle zur Ermittlung der Funkdämpfung	24
Abbildung 2.4 Effektive Wandstärke	26
Abbildung 2.5 Funkschatten durch metallische Strukturen.....	27
Abbildung 2.6 Signalverstärkung durch Interferenz	28
Abbildung 2.7 Signalabschwächung durch Interferenz.....	28
Abbildung 2.8 Problem der Montagehöhen.....	29
Abbildung 2.9 Sendeleistung von Z-Wave und Telefon.....	30
Abbildung 3.1 Kommunikation ohne und mit Bestätigung	33
Abbildung 3.2 verschiedene Bauformen von Z-Wave Controllern.....	35
Abbildung 3.3 Z-Wave Geräte vor Inclusion in ein Netz	37
Abbildung 3.4 Netz nach erfolgreicher Inclusion.....	38
Abbildung 3.5 Zwei Z-Wave-Netze mit unterschiedlichen Home-IDs existieren nebeneinander	39
Abbildung 3.6 Nicht geroutetes Netz.....	40
Abbildung 3.7 geroutetes Z-Wave-Netz	41
Abbildung 3.8 Z-Wave funkt „um die Ecke“	42
Abbildung 3.9 maximale Kommunikation zwischen Sender und Empfänger über drei Zwischenstationen	43
Abbildung 3.10 Beispielhaftes vermaschtes Z-Wave-Netz	43
Abbildung 3.11 Routingtabelle eines Beispielnetzes.....	44

Abbildung 3.12 Routing von Knoten 1 über Knoten 3 zu Knoten 4	45
Abbildung 3.13 Routing über zwei Zwischenstationen	45
Abbildung 3.14 Routingtabelle des Netzes	46
Abbildung 3.15 Bildschirm des Z-Wave Controllers VERA mit Button zum Entfernen von nicht aktiven Nodes	49
Abbildung 3.16 Netzwerkneuaufbau beim Z-Wave Gateway VERA	50
Abbildung 3.17 Z-Wave Netz mit einem portablen Controller	52
Abbildung 3.18 Beispiel eines Netzes mit statischem Controller	53
Abbildung 3.19 Z-Wave-Netz mit mehreren Controllern.....	54
Abbildung 3.20 Controller-Shift bei VERA.....	56
Abbildung 3.21 SUC in einem Z-Wave-Netz.....	58
Abbildung 3.22 Update der Routingtabelle eines SUC.....	59
Abbildung 3.23 SIS Server im Z-Wave-Netz	60
Abbildung 3.24 Abgabe der Controllerfunktion beim Gateway VERA.....	61
Abbildung 3.25 Routing-Slave erkennt Positionsveränderung	62
Abbildung 3.26 Hilferuf eines Routing-Slaves	63
Abbildung 3.27 neue Route für einen ortsveränderten Routing-Slave.....	63
Abbildung 3.28 Wandschalter als Controller mit spezieller Taste zum Starten des Include-Vorganges	65
Abbildung 3.29 Inclusion-Funktion als Beispiel bei einer PC-Software	65
Abbildung 3.30 Beispiel einer Anleitung zur Inclusion eines Z-Wave Produktes	66
Abbildung 3.31 Beispiel einer Anleitung eines Herstellers zur Exclusion	67
Abbildung 3.32 Controller-Replikation.....	68
Abbildung 3.33 Beispiel für die beiden Inclusion-Funktionen für Controller in einer PC-Software	69
Abbildung 4.1 Verschiedene Z-Wave Geräte.....	71
Abbildung 4.2 Beispiel für verschiedene Funktionen als Kommandoklassen	72
Abbildung 4.3 Basic-Kommandoklasse	73

Abbildung 4.4 Optionale, empfohlene und notwendige Kommandoklassen innerhalb einer Geräteklasse	76
Abbildung 4.5 Verschiedene Implementierung einer Geräteklasse „Lichtschalter“ durch unterschiedliche Hersteller	76
Abbildung 4.6 Schuko-Zwischenstecker	77
Abbildung 4.7 Beispiel für eine Konfigurationsschnittstelle einer Z-Wave-Software	80
Abbildung 4.8 Schlafen und Aufwachen.....	81
Abbildung 4.9 Softwarebeispiel zum Setzen des Wakeup-Intervals.....	82
Abbildung 4.10 Typische Alkaline-Batterie	1
Abbildung 4.11 kleines Z-Wave-Netz mit Assoziation.....	88
Abbildung 4.12 direkte Assoziation	89
Abbildung 4.13 Indirekte Assoziation	90
Abbildung 4.14 Taster zur Assoziation an einem Wandcontroller	91
Abbildung 4.15 Wandschalter mit zwei Schaltflächen	92
Abbildung 4.16 Dialog zum Setup on Szenenaktivierung durch zeitabhängige Variable.....	96
Abbildung 4.17 Fehlende Rückmeldung bei lokalen Schalten von Geräten	97
Abbildung 4.18 Szenen-Steuertasten auf einer Universal-Fernbedienung	102
Abbildung 6.1 Spannungsverlauf bei einem Phasenanschnittdimmer.....	114
Abbildung 6.2 Prinzipschaltbild eines Phasenanschnittdimmers	115
Abbildung 6.3 Spannungsverlauf bei einem Phasenabschnittdimmer.....	116
Abbildung 6.4 Prinzipschaltbild eines Phasenabschnittdimmers.....	117
Abbildung 6.5 Treppenhausschaltung durch Z-Wave.....	119
Abbildung 6.6 ACT HomePro Wandschalterdesign	120
Abbildung 6.7 Merten – Schalteinsatz, der durch eine Z-Wave-Funkwippe in gewünschter Form und Farbe ergänzt werden muss	122
Abbildung 6.8 Düwi – Funkzentrale zur Administration größerer Netze	122

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Dämpfung durch Baumaterialien	25
Tabelle 3.1	36
Tabelle 3.2 Eigenschaften der Z-Wave Gerätetypen	47
Tabelle 3.3	48
Tabelle 4.1	83
Tabelle 4.2	85
Tabelle 4.3	86
Tabelle 4.4	87
Tabelle 4.5	95
Tabelle 6.1	118

1. Einleitung

Unter dem Begriff Hausautomation (auch: „Home Control“) werden im Allgemeinen Maßnahmen und Lösungen zusammengefasst, die einzelne elektrisch betriebene Funktionen im Haus – beispielsweise Licht, Klimaanlage, Heizungen, Entertainment- und Sicherheitssysteme u.v.m.. – steuern und sinnvoll miteinander verbinden. In Wohnungen, Eigenheimen oder Firmengebäuden kann auf diese Weise der Grad an Komfort und Sicherheit deutlich erhöht werden. Darüber hinaus können Nutzer aber auch Energieressourcen wie Gas, Öl oder Strom effizienter einsetzen.

Die Verbindung der einzelnen elektrischen Komponenten kann drahtgebunden oder drahtlos erfolgen. Unter den drahtgebundenen Lösungen hat sich in Mitteleuropa vor allem der europäische Installationsbus, auch EIB oder KNX Bus genannt, durchgesetzt. Drahtgebundene Lösungen sind in der Regel sehr zuverlässig, benötigen allerdings eine genaue Planung, um alle notwendigen Leitungen und Kabel in den Wänden eines Hauses während der Bauphase verlegen zu können. Bei Renovierungen oder in Mietwohnungen kommen diese Lösungen daher nur selten zum Einsatz. Aus diesem Grund existiert eine Reihe von drahtlosen Verbindungsprotokollen. Bislang hat sich jedoch noch keine Technologie als universelle Lösung am Markt etablieren können.

Die Z-Wave-Technologie ist jedoch auf dem besten Wege. Dabei handelt es sich um einen internationalen Funkstandard, der eine solche funkbasierende Hausautomation ermöglicht und dabei viele Schwächen bisheriger Systeme ausräumt. Dieses Buch macht deutlich, inwiefern sie das tut. Es gibt einen Überblick über die derzeitigen Technologien auf dem Markt und wie sie arbeiten. Anschließend werden die technischen Hintergründe und Anforderungen an eine gute Funklösung zur Hausautomation beleuchtet. Abschließend wird aufgezeigt, wie Z-Wave in der Praxis eingesetzt werden kann.

1.1. Anforderungen an ein funkbasierendes Protokoll

Eine drahtlose Kommunikationstechnik hat eine Reihe von Anforderungen zu erfüllen, damit sie für den Einsatz in einem Hausautomationsnetzwerk geeignet ist:

1. **Zuverlässigkeit der Kommunikation:** Über Funk werden wichtige Elemente des Hauses wie z.B. Jalousien, Licht oder die Heizung gesteuert. Ein abgesendetes Funkkommando muss daher sicher beim Empfänger ankommen, worüber der Sender wiederum eine Bestätigung erhalten sollte. Diese Anforderung erfüllen bei Weitem nicht alle Funkprotokolle..
2. **Sicherheit in der Kommunikation:** Es muss sichergestellt sein, dass unbefugte Dritte – ob bewusst oder unbewusst – die hausinterne Steuerung der Geräte im Heimnetzwerk manipulieren oder stören können. Dies wird in der Regel über eine entsprechende Kodierung der Funkkommandos erreicht.
3. **Niedrige Funkabstrahlung:** Da diese Funktechnik in bewohnten Räumen eingesetzt wird, ist aus baubiologischen Gründen auf eine minimale Funkstrahlung zu achten.
4. **Einfache Bedienung:** Home-Control-Lösungen sollen das Leben des Bewohners einfacher und nicht komplizierter machen. Auf Grund dessen sollten die Geräte intuitiv, ohne technische Vorkenntnisse vorauszusetzen, bedienbar sein.
5. **Angemessener Preis:** Hausautomation muss heutzutage nicht mehr teuer sein. Die Zeiten in der für ein komplettes System mehrere Tausend Euro ausgegeben werden müssen, sind vorbei.
6. **Investitionsschutz:** Home Control-Systeme werden im Zuge von Neubauten oder Renovierungen installiert. Sie sollten demnach eine entsprechende Lebensdauer aufweisen, die im Rahmen normaler Investitions- und Renovierungszyklen liegt. Bereits bei der Anschaffung ist es ratsam, sicherzustellen, dass defekte Geräte auch nach Jahren noch durch identische oder baugleiche und zu den restlichen installierten Geräten kompatible Geräte ersetzt werden können.
7. **Interoperabilität:** Es ist empfehlenswert, dass Funkvernetzung von Geräten im Eigenheim bzw. im Unternehmen mit Produkten von

Herstellern realisiert wird, die in ihrem jeweiligen Gebiet entsprechende Kompetenzen haben. Es ist schwer vermittelbar, z. B. die Heizungssteuerung von einem Hersteller mit Kompetenz im Lichtbereich zu erwerben, nur um eine entsprechende gemeinsame Steuerbarkeit zu erreichen. Jede verwendete Funktechnologie muss daher unabhängig vom jeweiligen Hersteller einsetzbar sein.

1.2. Alternative Funklösungen zur Hausautomation

Am Markt existieren mehrere verschiedene Funkprotokolle, welche die oben genannten Anforderungen mehr oder weniger gut erfüllen:

1.2.1. Analoges Funk im 27 MHz oder 433 MHz Band

Analoge Funksysteme werden mittlerweile zu sehr niedrigen Preisen vor allem von asiatischen Herstellern angeboten. Sie sind in der Regel qualitativ eher niederwertig und in ihrer Funkkommunikation nicht sehr robust. Da auf Verschlüsselung oder korrekte Adressierung der einzelnen Funkknoten¹ verzichtet wird, ist ein analoges System sehr einfach – sei es bewusst oder unbewusst – zu stören bzw. zu manipulieren. Analoge Produkte eignen sich daher kaum als sinnvolle Lösung im Heim- oder Geschäftsumfeld. Im Detail:

1. Zuverlässigkeit der Kommunikation: nein
2. Sicherheit der Kommunikation nein
3. Niedrige Funkabstrahlung: ja
4. Einfache Bedienung: ja
5. Angemessener Preis: ja
6. Investitionsschutz: nein
7. Interoperabilität: nein

1.2.2. Proprietäre Funkprotokolle einzelner Hersteller

Mehrere Hersteller haben hauseigene Funklösungen entwickelt und bieten teilweise sehr umfangreiche Produktfamilien auf Basis ihrer speziellen

¹ Unter Funk-Knoten werden allgemein Produkte verstanden, die drahtlos mittels Sender und Empfänger mit anderen gleichartigen Produkten kommunizieren können.

Protokolle an. Nennenswert sind in diesem Bereich Intertechno, Free Control (Kopp), Homeeasy, FS 20, Intermatic oder XConnect (Eaton-Möller). Diese Protokolle nutzen meist die Funkfrequenz 868 MHz und kommunizieren in der Regel digital. Eine Rückbestätigung des Funkkommandos zur Sicherung der Übertragungsqualität wird bei diesen Lösungen nur teilweise angeboten.

Der größte Nachteil dieser Lösungen ist allerdings die Beschränkung auf einen oder sehr wenige Hersteller. Für den Anwender resultiert daraus jedoch ein hohes Investitionsrisiko. Denn für den einzelnen Hersteller ist es auf dieser Basis ein Leichtes, seinen eigenen „Standard“ einfach abzuändern, wodurch es beim Endanwender in Folge späterer Nachrüstungen zu Kompatibilitätsproblemen kommen kann. Auch die Lieferfähigkeit älterer Produkte Jahre später ist bei nur einem Anbieter meist nicht gewährleistet. Daher:

1. Zuverlässigkeit der Kommunikation: teilweise
2. Sicherheit der Kommunikation: teilweise
3. Niedrige Funkabstrahlung: ja
4. Einfache Bedienung: ja
5. Angemessener Preis: ja
6. Investitionsschutz: nein
7. Interoperabilität: nein

1.2.3. Powerline

Sogenannte „Powerline“ Kommunikationsprotokolle verwenden das 230 V-Stromnetz, um darüber Signale zu modulieren und die Kommunikation der Geräte untereinander sicherzustellen. Das wohl wichtigste Protokoll auf dieser Basis ist X10, das vorwiegend in den USA, mittlerweile aber auch in Europa eine Reihe von Kunden finden konnte. Bis zur Etablierung akzeptabler Funkprotokolle war X10 quasi der Standard für selbst zu installierende Automationslösungen im Heimbereich. Der immer breitere Einsatz von Schaltnetzteilen und die damit verbundenen Störungen innerhalb der Stromversorgung führten allerdings zu massiven technischen Problemen, sodass X10 nicht mehr weiterentwickelt wurde.

Powerline-Kommunikation wird heute digital betrieben und auch hier

existieren leider eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren, die alle nicht zueinander kompatibel sind.

In den vergangenen Jahren berichtete die Presse über eine weitere Initiative auf Basis von Powerline-Kommunikation: die Digitalstrom-Technologie. Ausgehend von technischen Entwicklungen an der Universität Zürich hat sich eine Allianz gebildet, die eine entsprechende Kommunikationsinfrastruktur für das Messen und Steuern von elektrischen Verbrauchern im Haus propagiert. Bisher sind die Hersteller allerdings den Beweis schuldig geblieben, dass den Ankündigungen in der Presse eine entsprechend zuverlässige und leistungsfähige Technologie gegenübersteht.

1. Zuverlässigkeit der Kommunikation: fraglich
2. Sicherheit der Kommunikation: fraglich
3. Niedrige Funkabstrahlung: ja
4. Einfache Bedienung: ja
5. Angemessener Preis: ja
6. Investitionsschutz: ja
7. Interoperabilität: ja

1.2.4. ZigBee

ZigBee ist ein offener Funknetzstandard. Ein Teil seiner Funktionalität basiert auf der IEEE-Spezifikation IEEE 802.15.4, die es ermöglicht, Haushaltsgeräte, Sensoren u.v.m. auf Kurzstrecken (10 bis 100 Meter) zu verbinden. Dieser Standard ist eine Entwicklung der ZigBee-Allianz, die Ende 2002 gegründet wurde. Dabei handelt es sich um einen Zusammenschluss von derzeit mehr als 230 Unternehmen, die die weltweite Entwicklung dieser Technologie vorantreiben. Erste ZigBee-Produkte kamen Anfang 2005 auf den Markt.

Da ZigBee nur die „unteren“ Protokoll- bzw. Funkschichten standardisiert, haben die verschiedenen Anwender zusätzlich ihre eigenen Funktionen definiert und implementiert. Das Resultat: ZigBee-Geräte verschiedener Hersteller sind in der Regel untereinander nicht kompatibel. Auch existieren

technische Schwierigkeiten. Dazu schreibt Wikipedia²:

„Da im ZigBee-Standard 2003 nur ein Koordinator möglich ist, kann bei Verwendung indirekter Adressierung der Ausfall des Koordinators das gesamte Netz gefährden, da dieser alle Routing- und Geräteinformationen in einem flüchtigen Speicher hält. Das ZigBee-Netz ist hierarchisch strukturiert und hat dadurch einen single Point of Failure (sPoF). Allerdings können Router so konfiguriert sein, dass sie im Fehlerfall die Aufgabe des Koordinators übernehmen.

Praxis-Tests zeigten im 2,45-GHz-Band größere Probleme bei der Koexistenz von IEEE 802.15.4 mit WLAN und Bluetooth. Bei Bluetooth erweist sich das seit der Version 1.2 eingeführte adaptive Frequenzsprungverfahren (engl. frequency hopping), welche WLAN ausweicht, aber dafür die verbleibenden Frequenzen häufiger belegt, als Störer. WLAN macht durch den stark gewachsenen Datenverkehr Probleme. Die Aussagekraft dieser Ergebnisse wird von der ZigBee Alliance angezweifelt und durch eine Verträglichkeitsstudie ein Gegenbeweis angetreten. Um die Problematik der Interferenzen zu vermeiden, bietet ZigBee die Möglichkeit, anstelle des 2,4-GHz-Bandes das 868-MHz-Band zu verwenden, in welchem die geringen maximal erlaubten Belegungszeiten (unter einem Prozent Sendeaktivität pro Sender) für die Minimierung möglicher Interferenzen sorgen.“

1. Zuverlässigkeit der Kommunikation: meist ja
2. Sicherheit der Kommunikation: ja
3. Niedrige Funkabstrahlung: ja
4. Einfache Bedienung: -
5. Angemessener Preis: noch nicht
6. Investitionsschutz: -
7. Interoperabilität: nein

1.2.5. EnOcean

EnOcean ist die Entwicklung eines Münchner Unternehmens gleichen Namens, das ebenfalls durch eine Allianz von mehr als 100 Unternehmen unterstützt wird. EnOceans Alleinstellungsmerkmal ist der sehr geringe

² <http://de.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

Stromverbrauch der Sensoren und Aktoren, der unter gewissen Bedingungen einen batterielosen Betrieb ermöglicht. EnOcean wird daher von mehreren Wandschalter-Herstellern im deutschsprachigen Raum eingesetzt, hat sich aber außerhalb Europas – auch wegen der vergleichsweise hohen Kosten – noch nicht durchsetzen können.

1. Zuverlässigkeit der Kommunikation: nein
2. Sicherheit der Kommunikation: nein
3. Niedrige Funkabstrahlung: ja
4. Einfache Bedienung: ja
5. Angemessener Preis: nein
6. Investitionsschutz: ja
7. Interoperabilität: ja

1.2.6. Z-Wave

Von allen vorgestellten Funkprotokollen deckt Z-Wave die genannten Anforderungen an drahtlose Kommunikation bis dato am besten ab. Die Stärken von Z-Wave liegen vor allem in der großen Anzahl sehr unterschiedlicher Produkte verschiedener Hersteller sowie in der technisch sehr robusten und sicheren Kommunikation. Preislich liegen Z-Wave Produkte oberhalb der proprietären und meist weniger sicheren Funkprotokolle einzelner Hersteller, jedoch noch deutlich unterhalb von vergleichbaren Lösungen wie ZigBee oder EnOcean.

1. Zuverlässigkeit der Kommunikation: ja
2. Sicherheit der Kommunikation: ja
3. Niedrige Funkabstrahlung: ja
4. Einfache Bedienung: ja
5. Angemessener Preis: ja
6. Investitionsschutz: ja
7. Interoperabilität: ja

1.3. *Historie der Z-Wave-Charakteristik*

Z-Wave ist eine Entwicklung des dänischen Unternehmens Zen-Sys, das Ende der 90er-Jahre von zwei dänischen Ingenieuren gegründet wurde. Aus der Idee, eine eigene Hausautomationslösung zu entwickeln, reifte im Laufe der Zeit das Geschäftsmodell, einen elektronischen IC mit eigener Firmware an andere Hersteller zu verkaufen, die auf dieser Basis zueinander kompatible Geräte zur Hausautomation herstellen konnten.

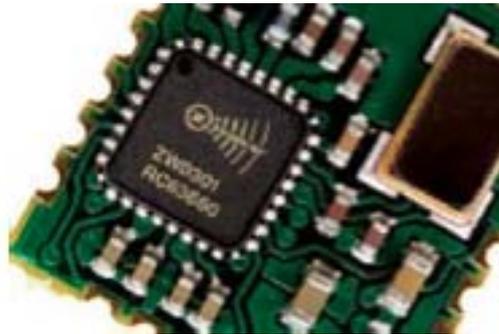


Abbildung 1.1: Zen-Sys Chip der dritten Generation

Die erste Generation dieser Hardware kam im Jahr 2003 erstmals auf den Markt – damals noch als eine Kombination aus Standard-Microcontroller (Atmel) und Funkchip. Diese Hardwareplattform wurde in den folgenden Jahren mit den Chipgenerationen 100 (2003), 200 (2005), 300 (2007) und zuletzt 400 (2009) konsequent erweitert. Dabei nahmen Funktionalität und Leistungsfähigkeit ständig zu.

Die ersten großen Kunden fand Zen-Sys in den USA, wo aufgrund der Verbreitung der Powerline Technologie X10 bereits ein Markt im Heimbereich vorhanden war. Auch gelang es Zen-Sys, in den USA einige größere Gerätehersteller zu akquirieren.

Der erste größere Z-Wave-Geräte-Hersteller in Europa war der deutsche Schalterhersteller Merten, der sein auf Z-Wave basierendes System namens CONNECT Ende 2007 der Öffentlichkeit vorstellte. Seit Anfang 2009 hat die Marktdynamik in Europa stark zugenommen. Mittlerweile gewinnt Z-Wave auch in Asien zunehmend an Bedeutung. Dies ist nicht zuletzt der Übernahme von Zen-Sys durch den in Asien etablierten Chiphersteller Sigma Designs zu verdanken. Sigma kaufte das bis dato durch verschiedene

Risikokapitalgeber – darunter Intel Ventures – finanzierte Unternehmen im Dezember 2008.

Z WAVE ALLIANCE™

MEMBER LOGIN | FAQ | CONTACT | ZENSYS | Z-WAVE | SEARCH

Home | About Us | Members | Benefits | Products | Press Room | Events

Smart Homes. Smart Grid.
Learn More...

Z-Wave for Developers

The Z-Wave Alliance puts total control in your hands.

Home control has been the subject of science fiction and futuristic magazine articles for years. But the reality has been rather disappointing. What home control systems have been available until now are either too expensive, too difficult to install and use and too limited in their scope.

The Z-Wave Alliance has changed all of that. It is a consortium of leading independent manufacturers who have agreed to build wireless home control products based on the Zensys' Z-Wave open standard.

Having this standard means every product that bears the Z-Wave mark will work with all other Z-Wave products, with no special programming, regardless of who originally manufactured the item. As a result, total home control has been made simple, accessible and affordable to consumers everywhere. Not three years from now. Not next year -- today.

Whether you're a consumer, home builder, remodeling contractor, or retailer, the Z-Wave Alliance has something to offer. Catch the Z-Wave today.

Check out the latest fourth generation Z-Wave technology!

Join the Ecosystem!

Z WAVE ALLIANCE™

Abbildung 1.2: Webseite der Z-Wave Alliance (Stand 2009)

Einen der bedeutendsten Meilensteine in der Z-Wave Entwicklung stellt die Gründung der Z-Wave Alliance im Jahre 2005 dar. In dieser Industrieallianz sind alle Hersteller Z-Wave-kompatibler Produkte vereinigt (Stand Januar 2011 mehr als 200 Unternehmen). Die Z-Wave Allianz treibt die Weiterentwicklung und Marktverbreitung des Funkstandards voran und realisiert zentrale Marketingmaßnahmen, wie z. B. Gemeinschaftsstände auf Messen. Eine weitere zentrale Aufgabe der Z-Wave Allianz ist die Kontrolle der Interoperabilität der Geräte auf Basis des Z-Wave-Protokolls. Dies wird durch ein Zertifizierungsprogramm gewährleistet, nach dessen erfolgreichem Bestehen ein Logo am Gerät die Einhaltung der notwendigen Interoperabilitätskriterien garantiert.



Abbildung 1.3: Z-Wave Kompatibilitätslogo

Während alle Hersteller ihre Produkte auf Basis der Hardware von Zen-Sys entwickeln, gibt es bei der Software gewisse Gestaltungsspielräume der Hersteller. Zen-Sys definiert die Funkebene mit den gewählten Kodierungen und schreibt ebenfalls die Funktionen zur Organisation des Netzes zwingend vor. Dies wird durch vorkompilierte Firmware-Bibliotheken erreicht, die von den einzelnen Herstellern nicht verändert werden können.

Für die Funktionen der konkreten Anwendung (z.B.: Schalter A schaltet Licht mittels Schalter B) und die Einhaltung der auf dieser Ebene vorhandenen Protokolldefinitionen sind die Hersteller allerdings selbst verantwortlich. Hier existieren lediglich Referenzimplementierungen, welche die meisten Hersteller in ihrem Sinne optimieren und an ihre Produktumgebung anpassen. Die Zertifizierungstests konzentrieren sich daher vor allem darauf, sicherzustellen, dass die konkrete Ausgestaltung einer bestimmten Funktion eines Gerätes durch den Hersteller konform ist zu den Vorgaben der Z-Wave Spezifikation und damit eine gemeinsame Benutzung dieser Geräte mit anderen zertifizierten Geräten möglich ist. Hier müssen je nach Produkt bestimmte Kommandos verstanden und entsprechend beantwortet werden.

1.4. Allgemeines Schichtenmodel in der Funkkommunikation

Funksysteme sind komplex und bestehen aus einer Vielzahl von Funktionen. Um diese sinnvoll betrachten zu können, wird ein Funksystem in mehrere Schichten eingeteilt, die übereinander liegen. Darüber liegende Schichten nutzen dabei die Dienste der darunterliegenden. Die niedrigste Schicht ist immer das verwendete Kommunikationsmedium, im Falle von Funk ist es die Luft. Die höchste Schicht ist immer der Anwender, im Bereich der Hausautomation also der Mensch.

Bei Z-Wave hat es sich als sinnvoll erwiesen, die Gesamtfunktionalität in drei Schichten zu gliedern.

1. **Funkschicht:** Hier wird definiert, wie Signale zwischen zwei Funkknoten ausgetauscht werden. Dies beinhaltet Fragen der Funkausbreitung, der verwendeten Frequenzen, Kodierungen, Sende- und Empfangshardware.
2. **Netzwerkschicht:** Hier wird definiert, wie Daten zwischen zwei Kommunikationspartnern sinnvoll ausgetauscht werden. Dies beinhaltet Fragen der Adressierung, Organisation des Netzes, der Behandlung von Kommunikationsfehlern sowie des Weiterleitens von Nachrichten.
3. **Anwenderebene.** Hier wird definiert, mittels welcher Befehle und Mechanismen konkrete Anwendungen wie das Schalten von Licht oder eines Heizungsthermostates realisiert werden.

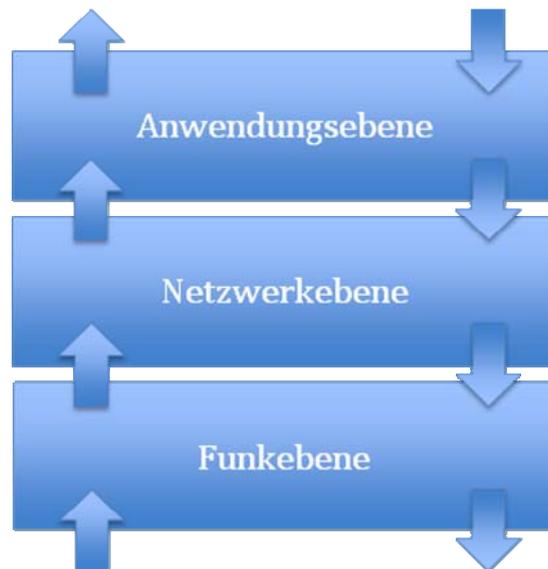


Abbildung 1.4: Allgemeines Model einer Kommunikationsarchitektur

Die folgenden Kapitel beschreiben die Architektur und das notwendige Anwenderwissen auf den drei Kommunikationsebenen Funk, Netzwerk und Anwendung.

2. Funkebene/Hardware

2.1. Allgemeines zu Funksignalen

Funkwellen breiten sich wie Lichtwellen aus – im Idealfall mit Lichtgeschwindigkeit nach allen Richtungen gleichmäßig ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$) in den freien Raum. Gleichzeitig erzeugen sie ein kugelförmiges Feld. Für die jeweiligen technischen Anwendungen sind die Wellenlänge λ oder die Frequenz f von Bedeutung. Sie stehen mit der Lichtgeschwindigkeit c in folgendem Zusammenhang:

$$\lambda = c / f$$

Im Gegensatz zu Infrarot- oder Lichtwellen können Funkwellen Decken, Wände, Möbel und andere Gegenstände durchdringen. Allerdings schwächen solche Hindernisse das Funksignal ab und reduzieren die Reichweite.

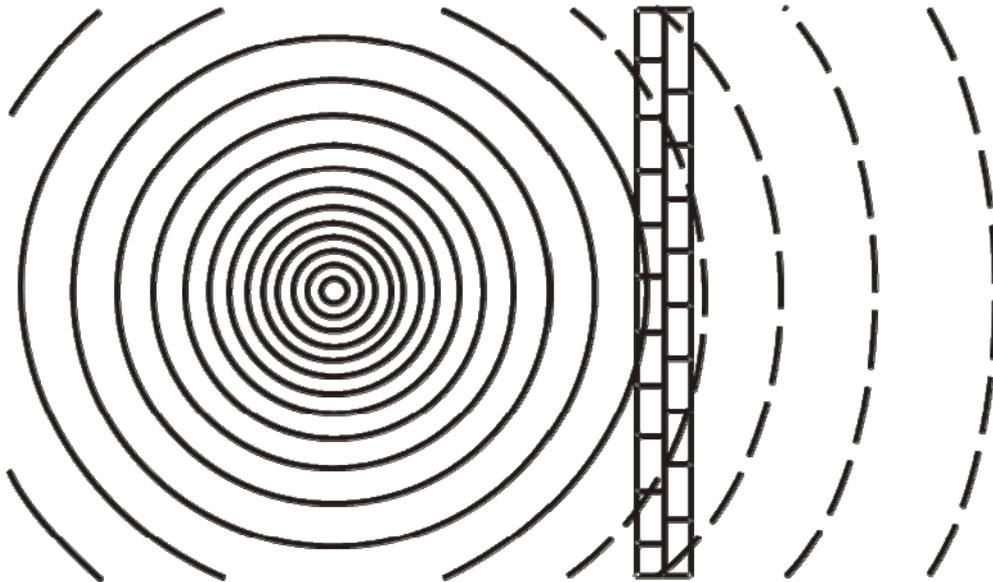


Abbildung 2.1: Dämpfung von Funkwellen an einer Wand

Für die Praxis folgt daraus, dass Funkkomponenten nicht an völlig beliebigen Orten installiert werden können. Vielmehr müssen Beeinflussungen durch bauliche und andere räumliche Gegebenheiten berücksichtigt werden.

Der für Z-Wave-Geräte gewählte Frequenzbereich von 868,42 MHz in der EU (Wellenlänge: ca. 34 cm) ist ein Teil des ISM-Bandes (**I**ndustrial-**S**cientific-**M**edical), das speziell für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Produkte reserviert wurde. Die Frequenzbereiche für unterschiedliche Anwendungen innerhalb dieser Bandbreite sind genau festgelegt. Die Produkte, die in diesen Bändern arbeiten, sind für den Anwender anmeldefrei. In diesen Frequenzbereichen liegt die maximal zulässige Sendeleistung im Milliwattbereich.

Die Funkübertragungszeit bei der Frequenz 868 MHz ist exakt festgelegt. Die Übertragungssicherheit wird durch die kurzen festgeschriebenen Sendezeiten und durch die Wiederholung der Sendesignale erreicht. Folglich gibt es keine Dauersender auf dieser Frequenz und für Neuentwicklungen gelten die oben erwähnten festgeschriebenen Sendezeiten, sodass Dauerstörsignale nicht vorhanden und auch in Zukunft nicht zu erwarten sind. Im Rahmen des CEPT-Abkommens sind die Produkte für die meisten europäischen Länder zugelassen. So ist der 868 MHz-Bereich zum Beispiel in Deutschland, den Niederlanden, Belgien, Österreich, der Schweiz, Portugal, Spanien und UK

freigegeben, da diese Länder das CEPT-Abkommen bereits in nationale Vorschriften umgesetzt haben.



Abbildung 2.2: Mitgliedsländer des CEPT-Abkommens in Europa

2.1.1. Abschätzungen zur Funkausbreitung

Im Folgenden wird an einem Beispiel gezeigt, wie die Installation von Funkkomponenten optimal geplant werden kann.

Im ersten Schritt wird die absolute Entfernung zwischen Sender und Empfänger ermittelt. Diese muss geringer sein als die vom Gerät angegebene maximale Entfernung (typisch sind 50 m oder 100 m). Danach werden alle zwischen Sender und Empfänger befindlichen Funkhindernisse ermittelt. Mit Hilfe der Tabelle 2.1 **Dämpfung durch Baumaterialien** und der **Ablaufabelle** kann danach die Dämpfung des Funksignals ermittelt werden.

Hindernis	Startreichweite	Art	Dämpfung	Resultierende Reichweite
①	30 m	Beton	30%	21 m
↓				
②	21m	Glas	10%	18,9 m
↓				
③	18,9 m	Gipskarton	10%	17 m
↓				
....	17 m

Abbildung 2.3: Ablauftabelle zur Ermittlung der Funkdämpfung

Bei der Abschätzung der Dämpfungswerte muss unbedingt der Winkel beachtet werden, mit dem das Funksignal das dämpfende Baumaterial durchdringt. Müssen die Funksignale das dämpfende Material in einem flachen Winkel durchdringen, wird die Dämpfungswirkung stark erhöht. Wenn die zum Schluss resultierende Reichweite größer ist als die gemessene Entfernung zwischen Sender und Empfänger sollten die Komponenten problemlos funktionieren.

Folgende zusätzliche Dämpfungsfaktoren müssen gegebenenfalls berücksichtigt werden:

- Möbel
- Einbau von Funkkomponenten in eine Unterputzdose
- Metallbeschichtungen
- Bepflanzungen
- hohe Luftfeuchtigkeit

Da sich für diese Faktoren nur schwer Richtwerte angeben lassen, empfiehlt

sich ein Test vor der Festinstallation.

Nr.	Material	Materialstärke	Dämpfung
1	Holz	< 30 cm	10 %
2	Gips, Gipskarton	< 10 cm	10 %
3	Glas (ohne Metallbeschichtung)	< 5 cm	10 %
4	Stein, Pressspanplatten	< 30 cm	30 %
5	Bimsstein	< 30 cm	10 %
6	Gasbetonstein	< 30 cm	20 %
7	Ziegelstein	< 30 cm	35 %
8	Eisenarmerter Beton	< 30 cm	30 ...90 %
9	... Decke	< 30 cm	70 %
10	... Außenwand	< 30 cm	60 %
11	... Innenwand	< 30 cm	40 %
12	Metallgitter	< 1 mm	90 %
13	Aluminiumkaschierung	< 1 mm	100 %

Tabelle 2.1: Dämpfung durch Baumaterialien

2.1.2. Abstand zu Störquellen

Funkempfänger sollten in einem Mindestabstand von **50 cm** zu Störquellen angebracht werden. Beispiele für Störquellen sind:

- Computer
- Mikrowellengeräte
- elektronische Transformatoren
- Audio- und Videoanlagen
- Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen

Der Abstand zu Sendeantennen anderer Funkdienste, wie beispielsweise schnurlose Telefone oder Kopfhörer (Audioübertragung über Funk), sollte mindestens **der Meter** betragen. Des Weiteren sollten die folgenden

Funkstörquellen nicht außer Acht gelassen werden:

- Störungen durch Schaltvorgänge oder Elektromotoren
- Funkstörungen durch defekte Elektrogeräte
- Störungen durch HF-Schweißgeräte
- in Arztpraxen befindliche Wärmebehandlungsgeräte

2.1.3. Effektive Wandstärke

Die Standorte von Sender und Empfänger sollten nach Möglichkeit so gewählt werden, dass die direkte Verbindungslinie nur auf möglichst kurzen Strecken und nicht schräg durch dämpfendes Mauerwerk oder sonstige Baustoffe verläuft. Auf diese Weise kann die physikalisch unumgängliche Dämpfung so gering wie möglich gehalten werden. Besonders ungünstig ist z. B. die Platzierung eines Senders in einer Mauernische.

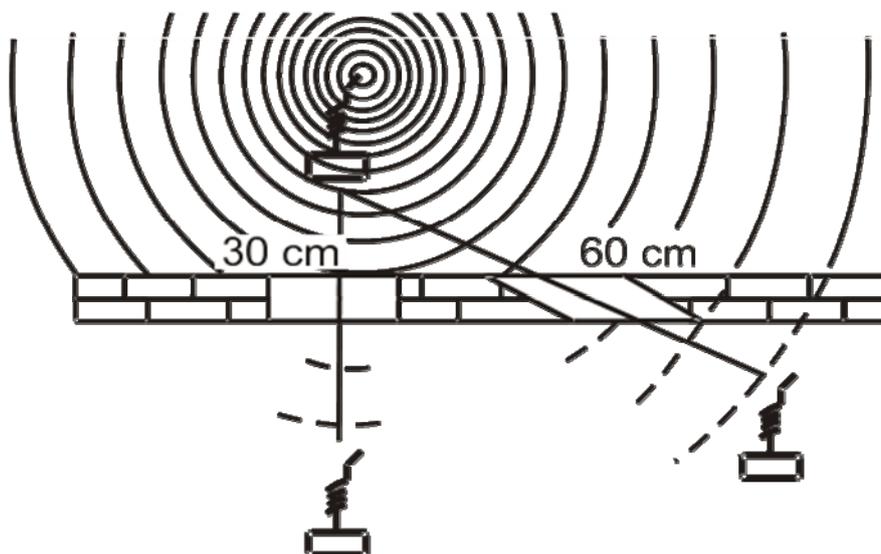


Abbildung 2.4: Effektive Wandstärke

2.1.4. Funk Schatten

Metallische Gebäudeteile oder Möbel schirmen die elektromagnetischen Wellen ab und auf ihrer Rückseite entsteht ein so genannter Funk Schatten, in

dem kein Direktempfang möglich ist.

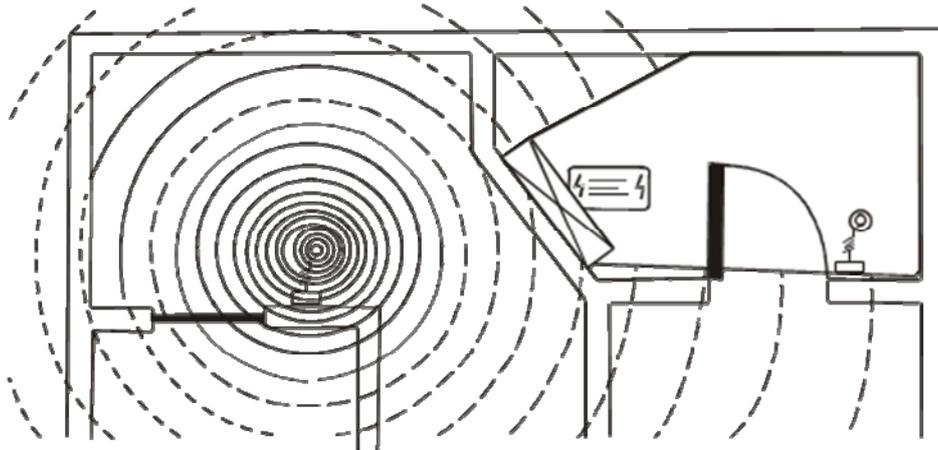


Abbildung 2.5: Funkschatten durch metallische Strukturen

Empfänger können die Sendersignale dann nicht mehr auf dem direkten Weg empfangen. Allerdings lässt das Medium Funk auch die Reflexion von Wellen zu. Reflexion bedeutet, dass die Funkwellen durch die Umlenkung an bestimmten Gegenständen ihr Ziel erreichen trotzdem können. Ob dieser Weg funktioniert, sollte von Fall zu Fall durch Testen sichergestellt werden.

2.1.5. Reflexionen

Reflexionen werden im Bereich des Amateurfunks gezielt genutzt, um im Kurzwellenbereich große Entfernungen (mehrere Tausend Kilometer mit vergleichsweise geringer Leistung) zu überbrücken. Hierbei verwendet man die reflektierenden Eigenschaften der Ionosphäre in diesem Frequenzbereich aus. In Gebäuden können Reflexionen aber auch störend wirken, da an der Empfangsantenne die reflektierte und die direkte Welle zusammentreffen können.

2.1.6. Interferenzen

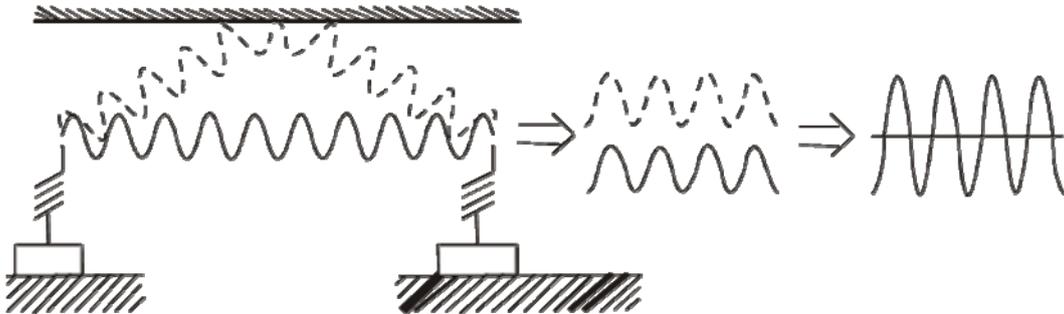


Abbildung 2.6: Signalverstärkung durch Interferenz

Durch unterschiedliche Phasenlagen, verursacht auf Grund unterschiedlicher Laufzeiten und Wege der Funkwellen, können sich die Signale verstärken oder abschwächen.

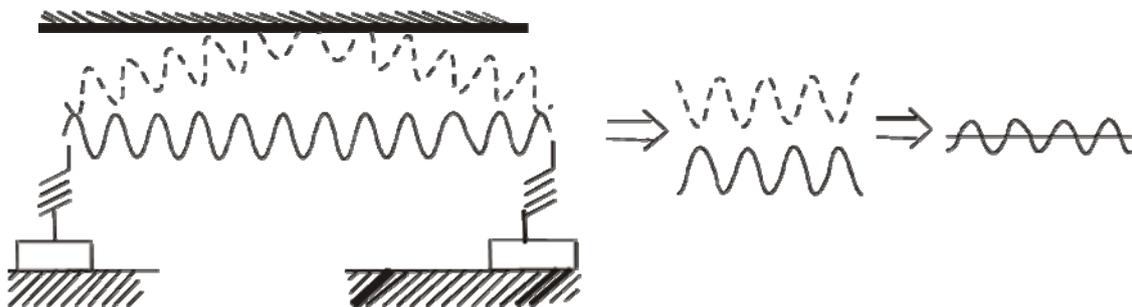


Abbildung 2.7: Signalabschwächung durch Interferenz

Abhilfe schafft in solchen Fällen fast immer die räumliche Veränderung der Positionen von Sender oder Empfänger, sei es nur um einige Zentimeter.

2.1.7. Montagehöhen

Wenn Bewegungsmelder außen am Haus montiert werden, sind unbedingt die Montagehöhen zu beachten. Ist der Bewegungsmelder in Höhe einer Geschossdecke montiert, so muss das Funksignal diese Decke zusätzlich in einem sehr kleinen Winkel durchdringen. Das Signal unterliegt dann unter

Umständen einer deutlich höheren Dämpfung.

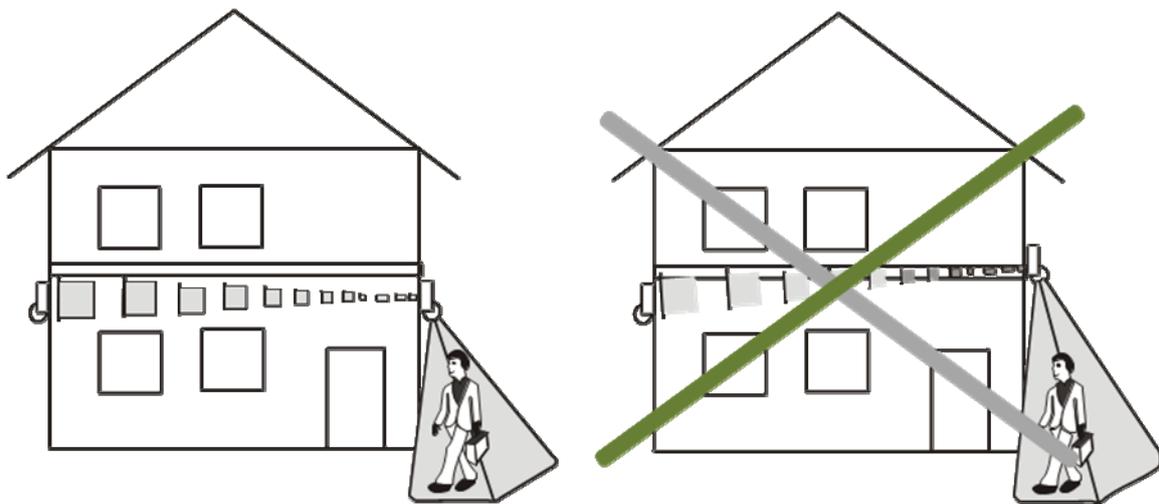


Abbildung 2.8: Problem der Montagehöhen

2.1.8. Grundregeln bei der Installation

Folgende **Grundregeln** sollten also bei der Planung bereits berücksichtigt werden:

- Abstand zu Störquellen beachten
- wirksame Wandstärken bedenken
- auf abschirmende Materialien achten
- Dämpfung durch Baumaterialien und Mobiliar in die Planung einbeziehen
- Bei einem negativen Berechnungsergebnis ggf. mit einem Testaufbau prüfen, ob die Funkübertragung dank Reflexionen trotzdem funktioniert.

2.1.9. Zur baubiologischen Verträglichkeit

Hier sollen einige Fakten an die Hand gegeben werden, die eine Einschätzung des Z-Wave Funksystems in Bezug auf baubiologische Verträglichkeit erlauben. Der kritische Faktor ist die Strahlungsleistung von Funksendern, die auf den Organismus einwirken. Deshalb soll hier der Vergleich zum Alltagsgegenstand Mobiltelefon gezogen werden.

Millionenfach benutzte Mobiltelefone, die bauartbedingt permanent senden, arbeiten mit Spitzenleistungen von bis zu 2000 mW. Ohne weiteren Schutz, meistens unmittelbar am Kopf betrieben, ist davon auszugehen, dass rund 100 mW vom Kopf aufgenommen werden – und dies während des gesamten Telefonats.

Z-Wave dagegen arbeitet mit Spitzenleistungen von max. 10 mW, was einer gemittelten Strahlungsleistung von nur noch 1 mW entspricht. Da in der Regel weder eine Funkfernbedienung, ein Funkschalter noch ein Funksender eines Bewegungsmelders direkt am Körper betrieben werden, bewirkt die Signaldämpfung, die bereits durch einen Körperabstand von nur einem Meter erzeugt wird, eine weitere Reduzierung der Strahlungsleistung um den Faktor 40. Den Kopf erreicht also nur noch eine Strahlungsleistung von 0,025 mW. Sie ist **um den Faktor 4.000 kleiner** als beim Mobiltelefon und wirkt vor allem nur während der Betätigung des Senders, also für **sehr kurze Zeit**. Damit leistet Z-Wave so gut wie keinen Beitrag zu elektromagnetischen Feldern, die sich auf den menschlichen Organismus auswirken.

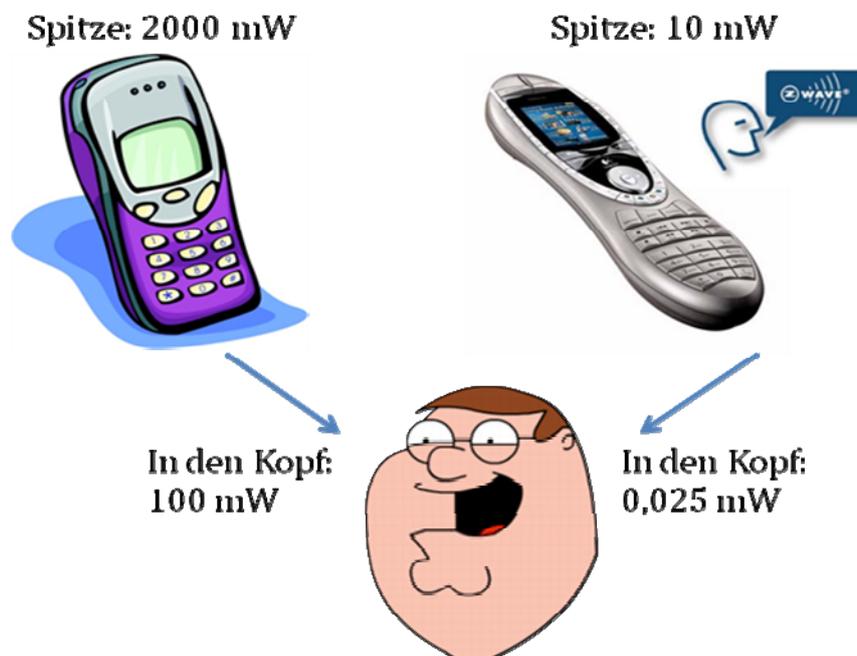


Abbildung 2.9: Sendeleistung von Z-Wave und Telefon

2.2. Z-Wave Funkkodierung

Wie bereits erwähnt nutzt Z-Wave das europäische ISM Band, das mit 868,42 MHz festgelegt ist. Mittels einer Frequenzsprungmodulation (Gaussian Frequency Shift Keying) werden die Daten mit bis zu 40 Kb/s übertragen. Ältere Geräte nutzen noch 9.6 Kb/s, sodass aus Gründen der Rückwärtskompatibilität auch diese Frequenz von allen aktuellen Geräten noch verstanden wird.

Mit der Hardwarefamilie 400 wird zusätzlich 2.4 GHz als optionale Funkfrequenz angeboten. Für den Endanwender sind die Details zur Modulation etc. wenig interessant, da alle Z-Wave basierenden Geräte einen entsprechenden Funkchip von Zen-Sys verwenden und die Kompatibilität auf Funkebene damit garantiert ist.

Mit einer typischen Antenne überbrückt das Z-Wave Signal im Freifeld bis 200 Meter, in Gebäuden können je nach lokaler Beschaffenheit ca. 30 Meter als Faustformel angenommen werden.

Der verwendete Funkkanal darf aufgrund der Regulierung nur in 1 Prozent der Zeit von einem bestimmten Knoten belegt werden. Damit ist eine gute elektromagnetische Verträglichkeit gesichert und die Gefahr von Kollisionen (zwei Sender senden zur gleichen Zeit) wird minimiert.

3. Netzwerkebene

Die Netzwerkebene wird protokollintern in drei Unterfunktionsgruppen gegliedert:

- **„Media Access Layer“** (Medienzugangsschicht): Hier wird die Nutzung des Funkkanals gesteuert. Diese Funktion ist für den Anwender komplett unsichtbar und daher wenig relevant.
- **„Transport Layer“** (Übertragungsschicht): Diese Funktion sichert, dass ein Datenpaket zwischen zwei Funkknoten korrekt und fehlerfrei ausgetauscht wird. Diese Funktion ist für den Anwender zwar sichtbar, beeinflussen kann er sie aber nicht.
- **„Routing Layer“** (Routingschicht): Diese Funktion sichert, dass – gegebenenfalls über mehrere Zwischenschritte – die Kommandos zwischen den richtigen Kommunikationspartnern ausgetauscht werden. Sie ist für den Anwender sowohl sicht- als auch beeinflussbar.

3.1. *Funkzugriff und Transportschicht*

In vielen Funknetzen erfolgt die Kommunikation zwischen zwei Geräten, indem ein Sender ein Kommando übermittelt und ein Empfänger das Kommando empfängt und ausführt.

Geht das Funkkommando beispielsweise aufgrund einer gestörten Funkverbindung auf dem Weg vom Sender zum Empfänger verloren, kann es nicht ausgeführt werden. Der Benutzer (Sender) erhält keine Rückmeldung, ob sein Kommando korrekt ausgeführt wurde. Diese führt zu unzuverlässigen Funktionen und damit letztlich zu Frustration beim Anwender.

Z-Wave ist ein deutlich leistungsfähigeres Protokoll. Jedes Funkkommando, das von einem Sender zu einem Empfänger gesendet wird, quittiert der Empfänger grundsätzlich mittels einer Bestätigungsnachricht. Diese Thematik kann mit der Zustellung eines Briefes durch die Post verglichen werden. Normale Briefe kommen in der Regel auch beim Empfänger an. Allerdings ist

sich der Absender solange unsicher, bis er beim Adressaten nachgefragt hat.

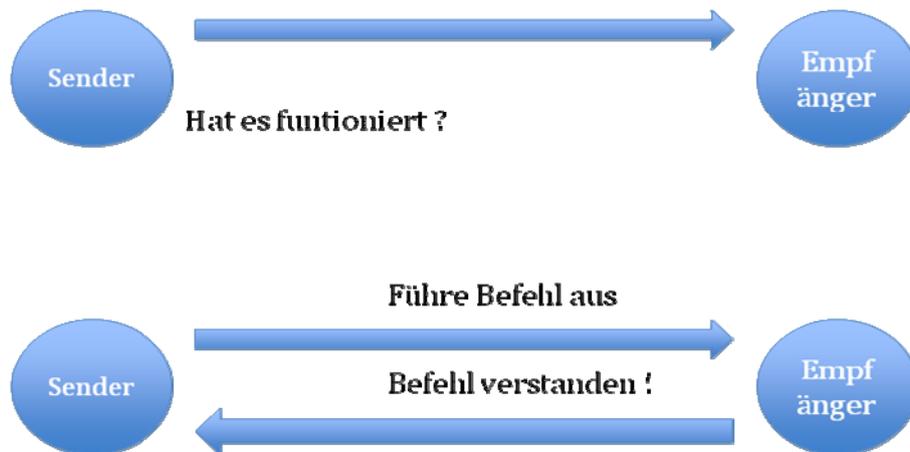


Abbildung 3.1: Kommunikation ohne und mit Bestätigung

Z-Wave versendet seine Nachrichten grundsätzlich mittels „Einschreiben mit Rückschein“. Damit hat der Absender eine schriftliche Bestätigung, dass der Empfänger die Nachricht erhalten hat. Auch ein „Einschreiben mit Rückschein“ garantiert nicht, dass eine Nachricht beim Empfänger ankommt. Der Empfänger kann schlichtweg verzogen sein. In diesem Falle wird die Nachricht nicht zugestellt, der Absender bekommt aber eine Nachricht und damit die Gelegenheit, andere Maßnahmen zu ergreifen, um die Nachricht doch noch zum Empfänger gelangen zu lassen.

Die Bestätigungsnachricht wird im Z-Wave Protokoll „Acknowledge“ (ACK) genannt. Ein Sender sendet ein Datenpaket bis zu drei Mal an einen Empfänger und erwartet eine ACK-Nachricht. Nach drei erfolglosen Versuchen bricht der Sender seinen Sendeversuch ab und liefert eine Fehlermeldung an seine Anwendung zurück.

Die Anzahl erfolgloser Übertragungsversuche kann damit als Indikator für die Qualität der jeweiligen Funkverbindung dienen.

3.2. Grundlagen des Netzes, Einbinden von Knoten

Ein Netzwerk besteht aus mindestens zwei miteinander kommunizierenden Knoten. Um miteinander kommunizieren zu können, benötigen diese Knoten neben der gemeinsamen Sprache (Z-Wave Protokoll) ein gemeinsam genutztes Kommunikationsmedium. Dies ist meistens ein Kabel, das die beiden Knoten verbindet. Bei der Funkkommunikation dient die Luft als Medium. Da sie von verschiedenen Funknetzen gemeinsam benutzt werden kann, muss ein Funkprotokoll einen Weg definieren, wie sich Knoten eines Funkprotokolls untereinander erkennen und wie sie Knoten identifizieren können, die nicht zu ihrem Funknetz gehören.

Weiterhin muss jeder Knoten in einem Funknetz eine eindeutige Adresse haben, um ihn von anderen unterscheiden zu können.

Das Z-Wave Protokoll definiert zwei Identifikationen zur Organisation des Netzes:

- Die **Home-ID** ist der gemeinsame Kennzeichner aller Knoten in einem Netz und unterscheidet dieses Netz von anderen. Sie hat eine Länge von 4 Byte (= 32 Bit), ist aber für den Endanwender nicht interessant.
- Die **Node-ID** ist die Adresse der einzelnen Knoten im Netz. Die Node-ID hat eine Länge von 1 Byte (= 8 Bit).

Da Knoten mit unterschiedlichen Home-IDs nicht miteinander kommunizieren können (als wären sie an unterschiedliche Kabel angeschlossen), können sie durchaus eine gleiche Node-ID haben. Innerhalb eines Netzes mit gleicher Home-ID muss die Node-ID eindeutig sein und darf nur einmal vergeben werden.

Z-Wave unterscheidet zwei Typen von Geräten:

- **Controller** sind Z-Wave-Geräte, die andere Z-Wave-Geräte steuern können.
- **Slaves** sind Z-Wave-Geräte, die von anderen Z-Wave-Geräten

gesteuert werden.

Controller besitzen bei Auslieferung bereits eine eigene individuelle Home-ID, Slaves haben keine Home-ID gespeichert.

Da Controller bereits eine Home-ID besitzen, können sie diese Home-ID an andere Z-Wave Geräte übertragen und damit zu ihrem eigenen Z-Wave-Netz hinzufügen.



Abbildung 3.2: verschiedene Bauformen von Z-Wave Controllern

Z-Wave Controller existieren in verschiedenen Bauformen: als Fernbedienung, als PC-Software in Zusammenarbeit mit einem an den PC angeschlossenen Z-Wave Transceiver (meist ein USB Stick), als Gateway oder als Wandschalter mit spezieller Controllerfunktion.

Die Home-ID eines Controllers kann vom Anwender nicht geändert werden und wird zur gemeinsamen Home-ID aller Geräte, die von diesem Controller erfasst wurden. Der Controller, der mit dem Netzaufbau beginnt und damit seine Home-ID zur Home-ID des gesamten Netzes macht, wird als **Primärcontroller** bezeichnet. In einem größeren Netz können mehrere

Controller arbeiten, aber immer nur einer als Primär..

Der Primärcontroller nimmt weitere Knoten in das Netz auf, indem er ihnen seine eigene Home-ID zuweist. Verfügt ein Knoten über die gleiche Home-ID wie der Primärcontroller, so ist er mit dem Controller in einem Netz verbunden. Gleichzeitig wird mit der Zuweisung einer Home-ID jedem in das Netz aufgenommenen Knoten eine eindeutige 8-Bit-lange Node-ID zugewiesen, mit der er sich innerhalb des Netzes ausweisen kann. Dieser Prozess wird bei Z-Wave **Inclusion** genannt.

	Definition	Im Controller	Im Slave
Home-ID	Die Home-ID ist die gemeinsame Identifikation eines Z-Wave-Netzes	Home-ID ist im Auslieferungszustand bereits einprogrammiert	Ist im Auslieferungszustand nicht einprogrammiert und wird vom Controller zugewiesen
Node-ID	Die Node-ID ist die individuelles Identifikation (Adresse) eines Knotens innerhalb eines gemeinsamen Netzes	Controller weist sich selbst eine Node-ID zu (meist 0x01)	wird vom Controller zugewiesen

Tabelle 3.1: Home-ID and Node-ID

Die folgenden beiden Abbildungen verdeutlichen den Prozess:

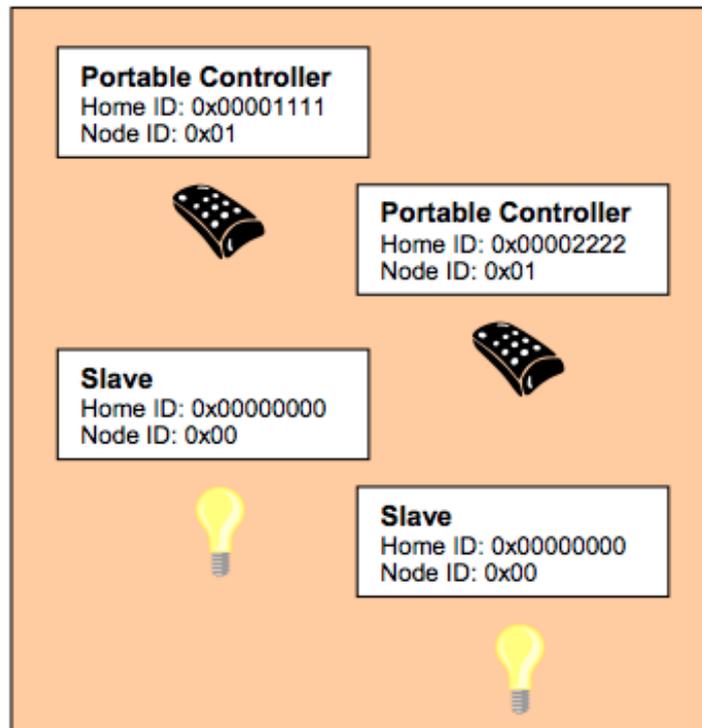


Abbildung 3.3: Z-Wave Geräte vor Inclusion in ein Netz

In Abbildung 3.3 sind vier Geräte im Auslieferungszustand zu erkennen. Es existieren zwei Controller mit je einer voreingestellten Home-ID sowie zwei weitere Geräte, die nicht als Controller agieren können (Slave) und daher keine eigene ID besitzen. Je nachdem, welcher der beiden Controller für das Erstellen eines Z-Wave Netzes verwendet wird, besitzt das Netz in diesem Beispiel entweder 0x00001111 oder 0x00002222 als Home-ID.

Auch verfügen die Controller über gleiche Node-ID Nummer 1, die beiden Slaves besitzen im Auslieferungszustand dagegen über keine Node-ID. Es existieren somit zwei Netze mit jeweils nur einem Knoten, nämlich genau die beiden Controller. Da keiner der Knoten im Bild mit irgendeinem anderen Knoten eine gemeinsame Home-ID hat, findet auch keine Kommunikation statt und die gegebenenfalls gleichen Node-IDs sind nicht relevant.

Der gewählte Controller fügt nunmehr die anderen Knoten in sein Netz ein (Inclusion), indem er ihnen seine Home-ID zuweist. Gleichzeitig weist er jedem Knoten eine individuelle Node-ID zu. Diese ist dann die individuelle Adresse des jeweiligen Knotens.

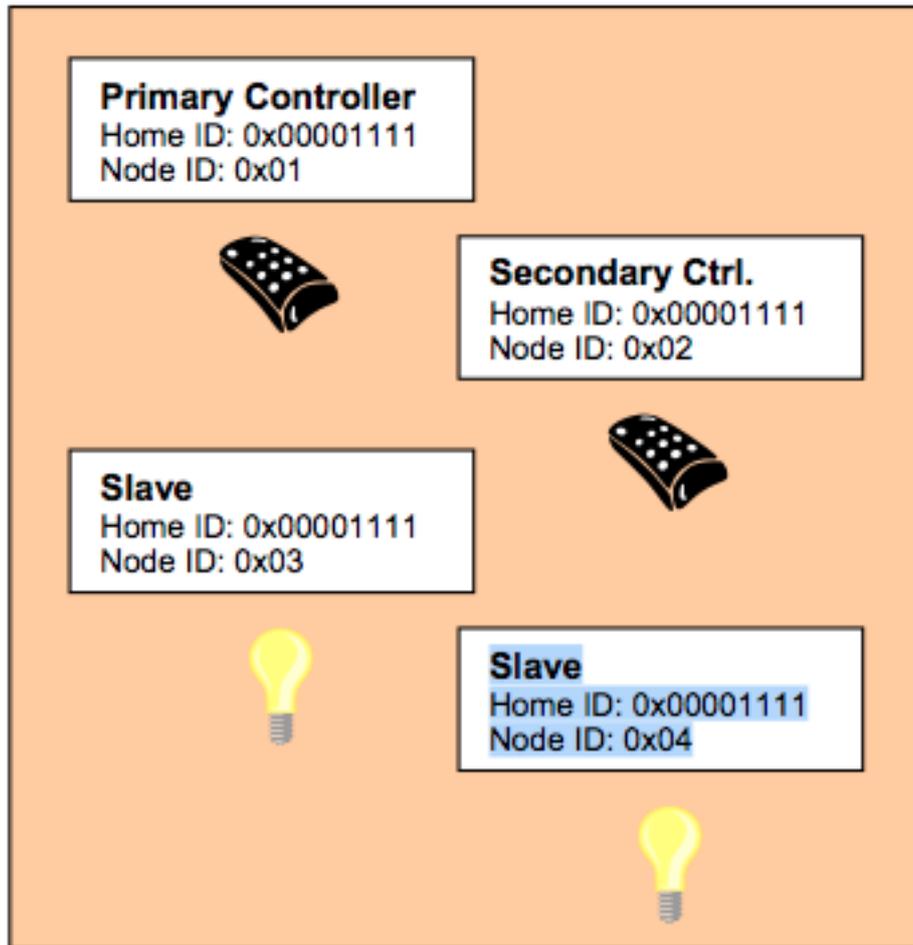


Abbildung 3.4: Netz nach erfolgreicher Inclusion

Nach erfolgreicher Inclusion haben nun alle Knoten die gleiche Home-ID, das heißt sie sind in einem Netz miteinander verbunden. Gleichzeitig hat jeder Knoten nun eine unterschiedliche individuelle Node-ID erhalten. Nur mit dieser können die Knoten voneinander unterschieden werden und sinnvoll miteinander kommunizieren.

In einem Z-Wave Netz dürfen niemals mehrere Knoten mit einer gemeinsamen Home-ID die selbe Node-ID haben. Jedoch ist es durchaus denkbar, dass sich in einem Raum mehrere Geräte mit unterschiedlichen Home-IDs befinden. Diese können dann jedoch nicht miteinander kommunizieren. Das bedeutet, dass eine Node-ID mehrfach genutzt werden kann, jedoch immer in unterschiedlichen Netzen.

Im als Beispiel angegebenen Netz befinden sich zwei Controller. Derjenige dessen Home-ID zur Home-ID aller Geräte wurde, ist der Primärcontroller, in deutsch auch Systemverwalter genannt. Alle anderen Controller werden zu

Sekundärcontrollern.

Letzterer ist technisch gesehen ebenfalls ein Controller, unterscheidet sich vom Primärcontroller aber dadurch, dass er nicht in der Lage ist, weitere Knoten in ein Netz aufzunehmen.

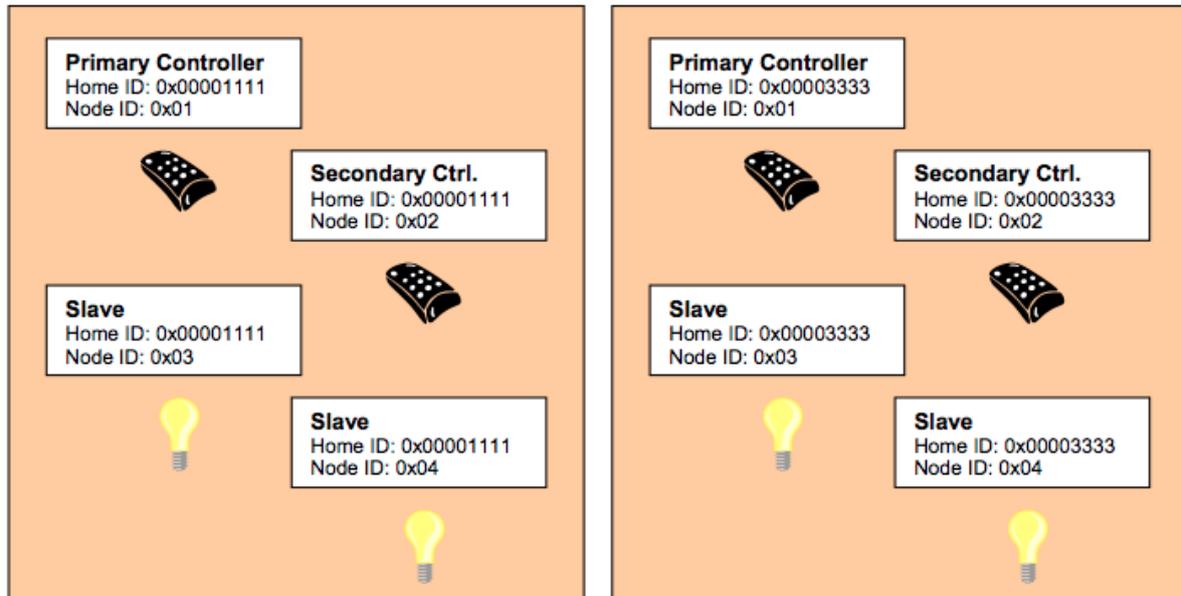


Abbildung 3.5: Zwei Z-Wave-Netze mit unterschiedlichen Home-IDs existieren nebeneinander

Da die Knoten unterschiedlicher Netze dank unterschiedlicher Home-IDs nicht miteinander kommunizieren können, wissen sie nichts voneinander. Sie „sehen“ sich also nicht.

Die 32-Bit-lange Home-ID ermöglicht den Aufbau von 2^{32} (= 4 Milliarden) unterschiedlichen Z-Wave Netzen mit einer maximalen Anzahl von 2^8 (= 256) unterschiedlichen Knoten. Jeder Knoten kann nur eine einzige Home-ID besitzen und damit auch nur in einem einzigen Netz zu einer gegebenen Zeit inkludiert sein.

Da einige Adressen des Netzes für die interne Kommunikation und Spezialfunktionen belegt sind, können in einem Netz maximal 232 verschiedene Knoten miteinander kommunizieren.

Werden Z-Wave-Knoten wieder aus einem Netz entfernt, heißt das in der Z-

Wave Terminologie **Exclusion**. Bei der Exclusion werden bei Slaves die Home-ID und die Node -ID gelöscht und damit die Geräte wieder in den Auslieferungszustand versetzt. Sekundärcontroller erhalten wieder ihre eigene Home-ID.

3.3. Vermaschung und Routing

In einem einfachen Funknetz, wie es die meisten Z-Wave-Wettbewerber aufbauen, hat der zentrale Controller immer unmittelbaren Funkkontakt mit allen anderen Funknoten. Er kommuniziert also immer direkt mit dem Kommunikationspartner. Dies setzt jedoch stets eine direkte Funkverbindung voraus, andernfalls bricht die Kommunikation zusammen. Auch ist durch den Zwang zum unmittelbaren Funkkontakt die Reichweite des Netzes eingeschränkt.

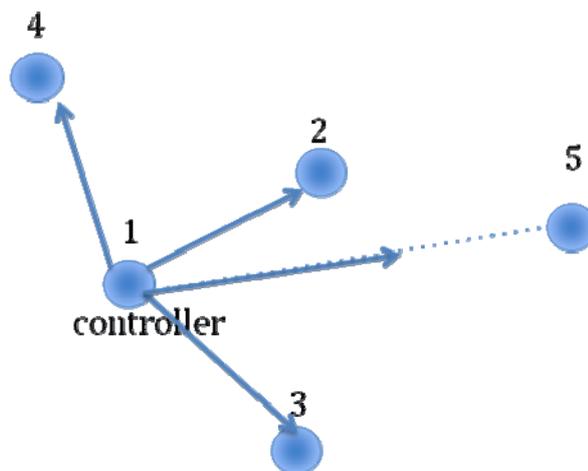


Abbildung 3.6: Nicht geroutetes Netz

Das Funknetz in Abbildung 3.6 ist ein nicht geroutetes Netz. Die Knoten zwei, drei und vier liegen innerhalb der Funkreichweite des Controllers mit Nummer 1. Knoten 5 liegt außerhalb der Funkreichweite und kann damit nicht erreicht werden.

Z-Wave bietet hier das deutlich leistungsfähigere aber auch komplexere System. Bei Z-Wave können Funkknoten Nachrichten, die für einen anderen Knoten bestimmt sind, empfangen und weitersenden. Besteht damit zwischen Sender und Empfänger einer Nachricht kein direkter Funkkontakt, ist Z-Wave immer noch in der Lage, eine stabile Kommunikation aufrecht zu erhalten.

Besteht ein Funknetz aus mehreren Knoten, existieren in der Regel eine Vielzahl an Wegen vom Empfänger zum Sender über andere Knoten. Damit wird ein Z-Wave Netz immer stabiler, je mehr Knoten in einem System eingebunden sind, da immer mehr verschiedene Wege und damit Ausweichmöglichkeiten für eine Kommunikation entstehen.

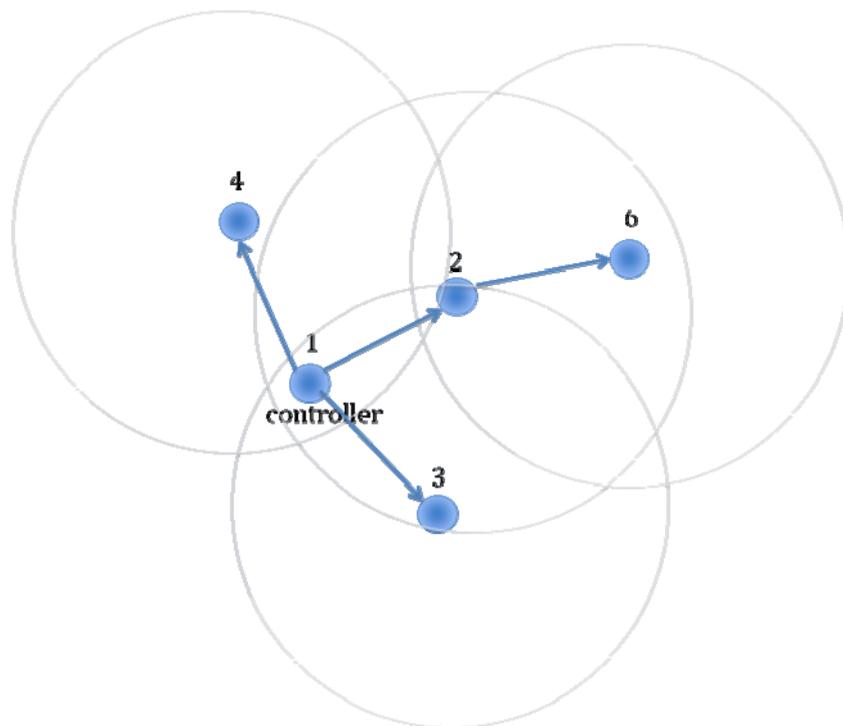


Abbildung 3.7: geroutetes Z-Wave-Netz

Abbildung 3.7 zeigt ein geroutetes Z-Wave Netz. Der Controller mit Node-ID 1 kann direkt zu den Knoten 2, 3 und 4 kommunizieren. Knoten 6 liegt außerhalb seiner Funkreichweite, ist aber innerhalb der Funkreichweite von Knoten 2.

Der Controller kann mit Hilfe von Knoten 2 eine Kommunikation zu Knoten 6 aufbauen. Der Weg von Knoten 1 über 2 zu 6 wird in der Z-Wave

Terminologie „**Route**“ genannt.

Abbildung 3.7 zeigt noch einen weiteren Effekt des Routings. Sollte die direkte Verbindung zwischen Knoten 1 und 2 temporär nicht möglich sein, gibt es für den Controller mit Nummer eins die Möglichkeit, einen „Umweg“ über Knoten 3 zu nehmen und so immer noch mit Knoten 2 und damit auch mit Knoten 6 zu kommunizieren. Diese Mehrwegekommunikation wird auch „**Vermaschung**“ eines Netzes genannt.

Z-Wave kann damit quasi „um die Ecke“ funken und Probleme, die durch Funkhindernisse entstehen, umgehen.

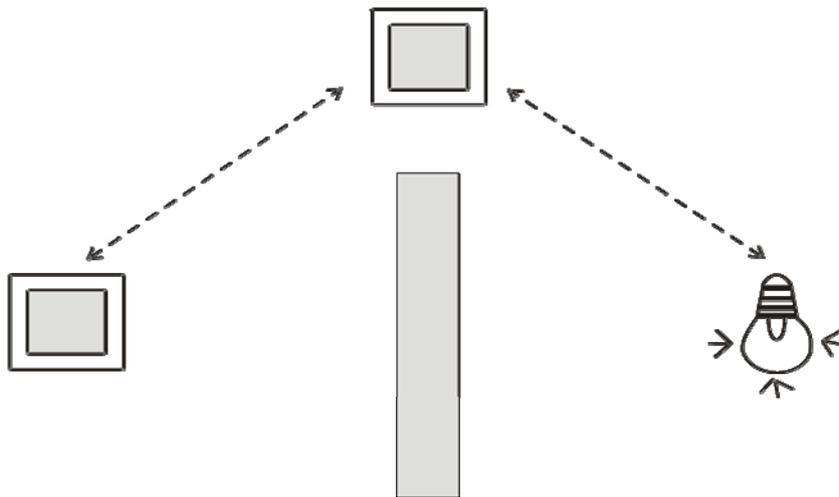


Abbildung 3.8: Z-Wave funkt „um die Ecke“

Es ist ersichtlich, dass das Hinzufügen (Inclusion) weiterer Knoten dem Controller – und auch anderen Funk-Knoten – mehr Kommunikationswege (Routen) zu Verfügung stellt. Damit wird das Netz insgesamt robuster, da Rückfallebenen existieren.

Z-Wave ist in der Lage, über bis zu vier Zwischenknoten Nachrichten zu routen. Dies ist ein Kompromiss aus anzustrebender Netzgröße und Stabilität einerseits (möglichst lange Wege erlauben) und kurzen und definierten Antwortzeiten bei der Kommunikation (lange Wege möglichst vermeiden).

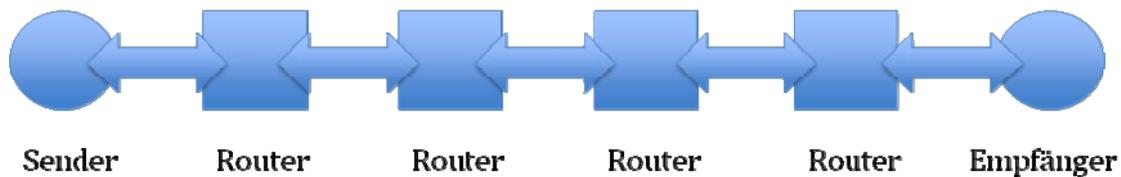


Abbildung 3.9: maximale Kommunikation zwischen Sender und Empfänger über vier Zwischenstationen

Wie werden diese Routen nun in einem Z-Wave Netz aufgebaut?

Jeder Knoten ermittelt durch entsprechendes Austauschen von Funksignalen alle diejenigen Funkknoten in seinem Netz (gleiche Home-ID), mit denen er direkt kommunizieren kann. Diese werden als seine Nachbarn bezeichnet. Die Liste seiner Nachbarn speichert jeder Knoten für sich selbst und teilt sie bei der Inclusion in das Netz dem Primärcontroller mit. Als Ergebnis kennt der Primärcontroller alle Nachbarschaftsbeziehungen in einem Z-Wave Netz und kann damit die günstigsten Routen für die Kommunikation mit einem gewählten Partner ermitteln.

Die Tabelle der bestehenden Nachbarschaftsbeziehungen ist für den Z-Wave Anwender einsehbar. Sie wird meist als Routingtabelle bezeichnet. Es existieren verschiedene Software-Lösungen, welche die Routingtabelle eines Z-Wave-Netzes anzeigen.

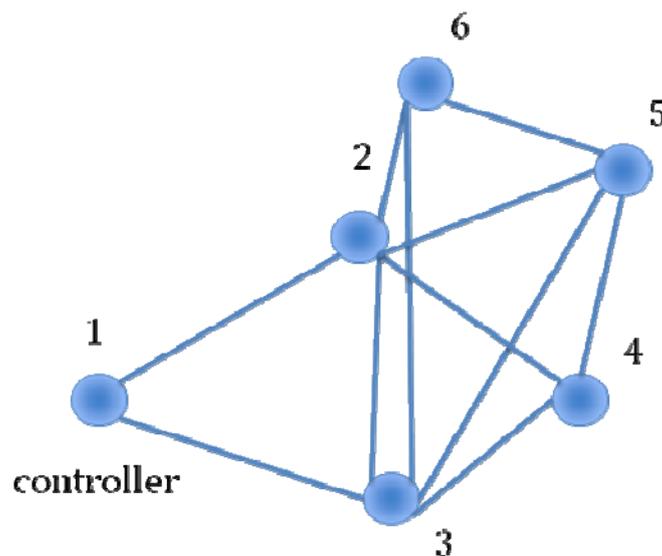


Abbildung 3.10: Beispielhaftes vermaschtes Z-Wave-Netz

Abbildung 3.10 zeigt ein beispielhaftes Z-Wave-Netz mit einem Controller und fünf weiteren Knoten. Knoten 1 sei der Primärcontroller. Er kann direkt

mit den Knoten 2 und 3 kommunizieren. Zu den Knoten 4, 5 und 6 hat er keine Verbindung. Möchte er mit Knoten 4 kommunizieren, erkennt er eine Route wahlweise über Knoten 2 oder 3.

Die entsprechende Routingtabelle dieses Netzes zeigt Abbildung 3.11:

Source Nodes	to 1	to 2	to 3	to 4	to 5	to 6
Source Node 1	X	1	1	0	0	0
Source Node 2	1	X	1	1	1	1
Source Node 3	1	1	X	1	1	1
Source Node 4	0	1	1	X	1	0
Source Node 5	0	1	1	1	X	1
Source Node 6	0	1	1	0	1	X

Abbildung 3.11; Routingtabelle eines Beispielnetzes

Die Zeilen der Tabelle geben für einen bestimmten Knoten an, mit welchem anderen Knoten er kommunizieren kann. Die Kommunikation mit sich selbst ist durch ein X ausgeblendet, eine „1“ signalisiert eine gültige Nachbarschaftsbeziehung. In der Z-Wave Sprache wird die Nachbarschaft auch als „**in range**“ bezeichnet, das heißt „in Reichweite“.

Source Nodes	to 1	to 2	to 3	to 4	to 5	to 6
Source Node 1	X	1	1	0	0	0
Source Node 2	1	X	1	1	1	1
Source Node 3	1	1	X	1	1	1
Source Node 4	0	1	1	X	1	0
Source Node 5	0	1	1	1	X	1
Source Node 6	0	1	1	0	1	X

Abbildung 3.12: Routing von Knoten 1 über Knoten 3 zu Knoten 4

Im folgenden Beispiel ist der Knoten 6 nur über Knoten 5 an das Netz angebunden. Da der Primärcontroller 1 keine direkte Nachbarschaftsbeziehung zu Knoten 5 hat, ihn aber über Knoten 2 oder 3 erreichen kann, wird eine Route über zwei Zwischenstationen aufgebaut.

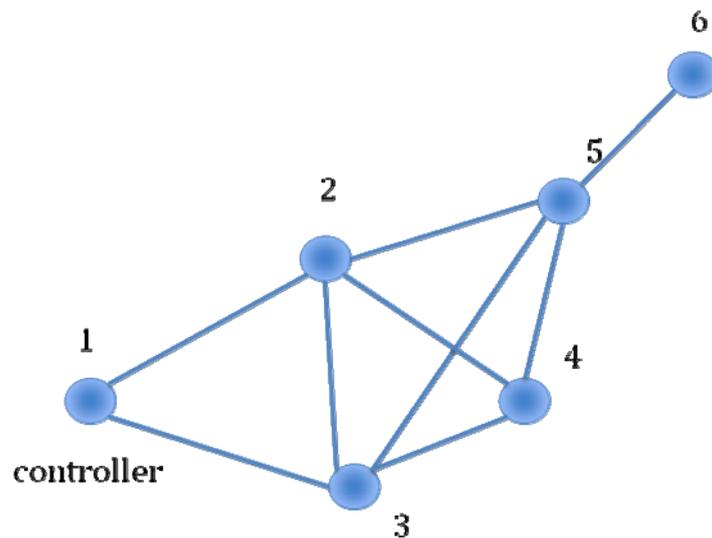


Abbildung 3.13: Routing über zwei Zwischenstationen

Source Nodes	to 1	to 2	to 3	to 4	to 5	to 6
Source Node 1	X	1	1	0	0	0
Source Node 2	1	X	1	1	1	0
Source Node 3	1	1	X	1	1	0
Source Node 4	0	1	1	X	1	0
Source Node 5	0	1	1	1	X	1
Source Node 6	0	0	0	0	1	X

Abbildung 3.14: Routingtabelle des Netzes

Ein Controller wird immer versuchen, seine Nachricht auf direktem Wege zum Ziel zu senden. Ist dies aufgrund der Information in seiner Routingtabelle nicht möglich, wählt er bis zu drei alternative Routen, sofern diese Alternativrouten möglich sind. Ist der Knoten auch auf den drei Wegen nicht zu erreichen, wird der Kommunikationsversuch abgebrochen und eine Fehlermeldung generiert.

3.4. Typen von Netzknoten

Es wurde bereits dargestellt, dass in einem Z-Wave-Netz zwei verschiedene Typen von Z-Wave-Geräten existieren: Controller und Slaves. Bei Letzteren wird noch eine weitere Unterscheidung getroffen zwischen normalen Slaves und sogenannten **Routing-Slaves**. Der Routing-Slave hat zusätzliche Funktionseigenschaften, wie Tabelle 3.2 zeigt.

Die drei Z-Wave-Gerätetypen unterscheiden sich prinzipiell durch ihre Kenntnisse über das Gesamtnetz:

	Nachbarn	Routen	Mögliche Funktionen
Controller	Kennt alle seine	Besitzt alle Informationen,	Kann mit jedem Gerät im Netz kommuni-

	Nachbarn.	über welchen Weg andere Knoten zu erreichen sind (komplette Routingtabelle verfügbar).	zieren, so lange es von irgend einem Knoten aus erreichbar ist.
Slave	Kennt alle seine Nachbarn.	Hat keine Information, über welchen Weg andere Knoten zu erreichen sind (keine Routingtabelle verfügbar).	Kann nur dem Knoten antworten, der ihm eine Nachricht gesendet hat und daher aktiv keine Nachrichten senden.
Routing Slave	Kennt alle seine Nachbarn.	Kennt nur den Weg zum eigenen Controller sowie ausgewählte Routen zu anderen Slaves bzw. Routing Slaves (partielle Routingtabelle).	Kann allen Knoten antworten, die ihm eine Nachricht senden und kann selbst aktiv Nachrichten an ausgewählte Kommunikationspartner senden.

Tabelle 3.2: Eigenschaften der Z-Wave Gerätetypen

Daraus ergeben sich folgende Regeln für Z-Wave Gerätetypen:

- Jedes Z-Wave-Gerät kann Nachrichten empfangen und quittieren.
- Controller können selbst Nachrichten an jedes andere Gerät im Netz versenden („Der Meister darf immer und überall mit jedem sprechen!“).
- Slaves können keine Nachrichten ungefragt versenden, sondern nur auf Anfragen eines Knoten wiederum genau diesem einen Knoten antworten („Der Sklave redet nur, wenn er gefragt wird!“).
- Routing Slaves können selbst Nachrichten senden, aber nur an vorher

festgelegte Kommunikationspartner („Der Sklavenaufseher ist zwar selbst noch Sklave, darf aber den Meister und seine Stellvertreter sprechen, wenn er wünscht!“).

Da die Funktionalität eines Slaves sehr begrenzt ist, werden eigentlich nur fest eingebaute Dimmer, Jalousiesteuerungen oder Schalter als normaler Slave realisiert. Jede Form von Sensorik, jedes Gerät mit einer lokalen Schaltmöglichkeit oder mit dem Bedarf, Informationen wie Schaltzustände oder Messwerte an andere Knoten zu senden, muss damit zumindest als Routing Slave arbeiten, wenn nicht sogar gleich als Controller.

Es ergeben sich folgende typische Konfigurationen für Slaves:

Slave	fest installierte 230 V betriebene Geräte, wie <ul style="list-style-type: none"> • Wand-Schalter • Wand-Dimmer • Jalousiecontroller
Routing Slave	batteriebetriebene Geräte und mobil einsetzbare Geräte, wie zum Beispiel <ul style="list-style-type: none"> • Sensoren mit Batteriebetrieb • Zwischenstecker für Schuko und andere Stecksysteme • Thermostate und Heizkörper mit Batteriebetrieb • Wand-Thermostate • Sensoren an 230 V • Spannungs- und Strommessgeräte

Tabelle 3.3

Aufbau, Abbau und Änderungen in einem Z-Wave-Netz

Wird ein Gerät einem Z-Wave-Netz hinzugefügt (Inclusion), fragt der Controller immer die Liste seiner Nachbarknoten ab und speichert sie in seiner Routingtabelle. Sobald ein anderer Controller in das Netz eingefügt wird, übergibt der einbindende Controller seine aktuelle Routingtabelle an den neu hinzugefügten. Ab diesem Moment haben beide eine identische Routingtabelle.

Wird ein Knoten aus dem Netz herausgelöst (Exclusion), korrigiert der Controller die entsprechenden Einträge. Entfernt der Anwender einen Controller aus dem Netz, werden die komplette alte Routingtabelle ebenso

wie die alte Home-ID umgehend gelöscht.

Die Routingtabellen in den Controllern bilden die jeweilige Situation im Moment des Einbindens eines neuen Gerätes ab. Im realen Betrieb kann ein Knoten jedoch entweder ausfallen oder bewegt werden. In beiden Fällen ist die Routingtabelle nicht mehr korrekt. Den Ausfall eines Gerätes erkennt der Controller, wenn die Kommunikation zu diesem oder zu einem anderen über eine Route durch das betreffende Gerät fehlschlägt.

Der Controller wird die entsprechende Node-ID anschließend als fehlerhaft („**failed node**“) kennzeichnen und seine interne Routingtabelle korrigieren. Kommuniziert das betreffende Gerät nach einiger Zeit von sich aus mit dem Controller, wird die „failed node“-Markierung im Controller automatisch wieder aufgehoben.

Controller bieten auch die Möglichkeit, manuell fehlerhafte Knoten dauerhaft aus dem Netz zu löschen (siehe Abbildung 3.15). Das Entfernen eines fehlerhaften Knotens ist ein manueller Prozess.

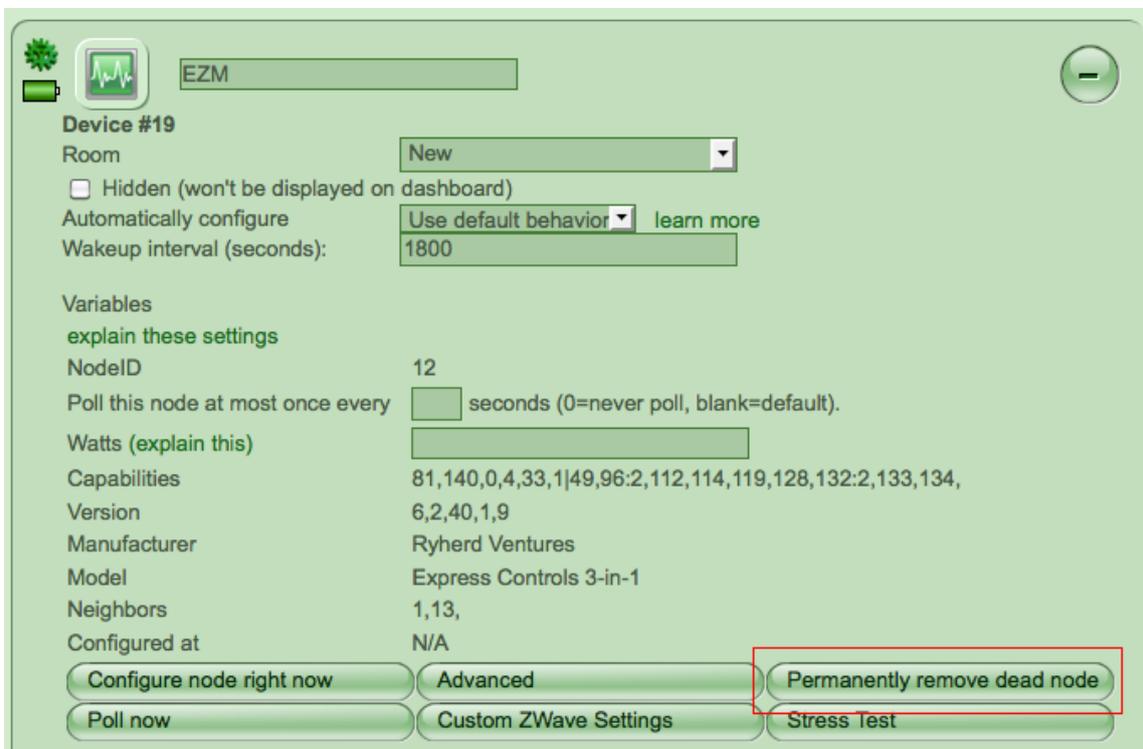


Abbildung 3.15: Bildschirm des Z-Wave Controllers VERA mit Button zum Entfernen von nicht aktiven Nodes

Z-Wave ist ebenfalls in der Lage, die Bewegung von Geräten zu erkennen und zu korrigieren. Dabei wird je nach Z-Wave-Gerätetyp unterschiedlich vorgegangen.

Slaves:

Wird ein Slave örtlich verändert, sind seine Nachbarn gegebenenfalls nicht mehr die Nachbarn, die der Controller gespeichert hat. Eine Nachricht vom Controller zum Slave wird damit ins Leere laufen (merke: der Slave kann keine Nachrichten ohne Aufforderung senden). Für den Controller ist nicht unterscheidbar, ob der Slave fehlerhaft ist (verschwunden, defekt, etc.) oder nur an einen anderen Ort bewegt wurde. In beiden Fällen wird der Slave als fehlerhaft markiert.

Um einen Slave wiederzufinden, dessen Standort sich geändert hat, muss der Controller das gesamte Netz nach dem neuen Knoten durchsuchen. Er muss jeden aktiven Knoten erneut bitten, nach weiteren in seiner Nachbarschaft zu suchen und diese Nachbarn in der Hoffnung zu melden, dass sich der verloren gegangene Knoten irgendwo als Nachbar meldet.

Da dieser Neuaufbau eines Netzes mit viel Datenverkehr verbunden ist, wird dies nicht automatisch bei jeder fehlgeschlagenen Kommunikation gemacht, sondern muss in der Regel vom Benutzer durch ein entsprechendes Kommando am Controller gestartet werden.

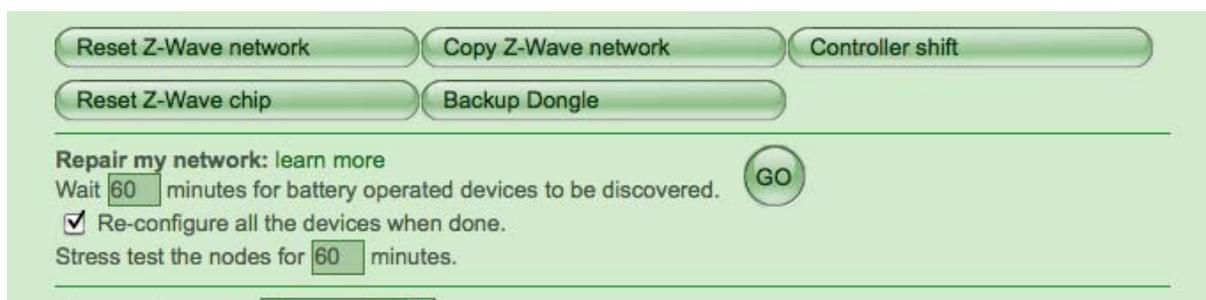


Abbildung 3.16: Netzwerkneuaufbau beim Z-Wave-Gateway VERA

Der Controller wird zuerst die Verbindung zu allen Nachbarknoten testen und gleichzeitig weitere Knoten in seiner Umgebung suchen. Danach wird er bei allen gefundenen Nachbarn einen Prozess anstoßen, bei der diese wiederum nach verfügbaren Nachbarn neu suchen und sie zum Controller melden muss. Der Controller wird dann diese Nachbarn wiederum zum Suchen neuer

Nachbarn auffordern und diesen Vorgang solange wiederholen, bis keine neuen mehr gefunden werden.

Aus Abbildung 3.16 ist ersichtlich, dass batteriebetriebene Geräte in diesem Prozess eine Herausforderung bilden. Batteriebetriebene Geräte befinden sich in einem Stromsparmodus, bei dem der Z-Wave-Transceiver (Sender und Empfänger) abgeschaltet sind. Sie werden daher auf die Suche nach Nachbarn nicht sofort reagieren. Da auch batteriebetriebene Geräte in regelmäßigen Abständen aufwachen, muss der Controller hinreichend lange bei jedem Schritt zu Erkennung von Nachbarn warten. Im Beispiel in Abbildung 3.16 ist die frei konfigurierbare Wartezeit auf 60 Minuten festgesetzt.

Controller:

Controller kennen die gesamte Netztopologie und können damit immer eine gültige Route zu einem Kommunikationspartner finden. Bei Controllern wird zwischen ortsfest installierten (statischen) und mobilen (portablen) Controllern unterschieden. Ein statischer Controller befindet sich immer an einem bestimmten Ort und behält diesen auch bei. Bei einer Ortsveränderung eines statischen Controllers ist wie bei einem Slave eine Netzwerk-Reorganisation vorzunehmen.

Ein mobiler Controller geht erst gar nicht davon aus, dass seine Routingtabelle am konkreten Ort korrekt ist, sondern versucht immer zuerst, einen Zielknoten direkt per Funk zu erreichen. Nur wenn dies fehlschlägt, versucht der portable Controller, eine temporäre Routingtabelle anhand seiner dann gerade aktuellen Nachbarschaftsknoten zu erzeugen und entsprechende Routen zum Zielknoten aufzubauen.

3.5. Herausforderungen beim Aufbau typischer Netzkonfigurationen

Als Resultat der Routingfunktionen des Z-Wave-Netzes ergeben sich einige typische Probleme und Herausforderungen beim Netzaufbau.

3.5.1. Z-Wave Netz mit einem portablen Controller

Z-Wave ermöglicht den Aufbau eines sehr kleinen Netzes, das dann um weitere Komponenten erweitert werden kann. Ein sehr typisches Netz besteht aus einer Fernbedienung sowie mehrerer Funkschalter oder Dimmer. Die Funkfernbedienung ist Primärcontroller und führt die Inclusion der Schalter und Dimmer durch. Dabei ist lediglich darauf zu achten, dass die zu steuernden Geräte an ihrem Platz im Haus ins Netz eingebunden werden, damit bei der Inclusion die richtigen Nachbarn erkannt und an den Controller gemeldet werden.

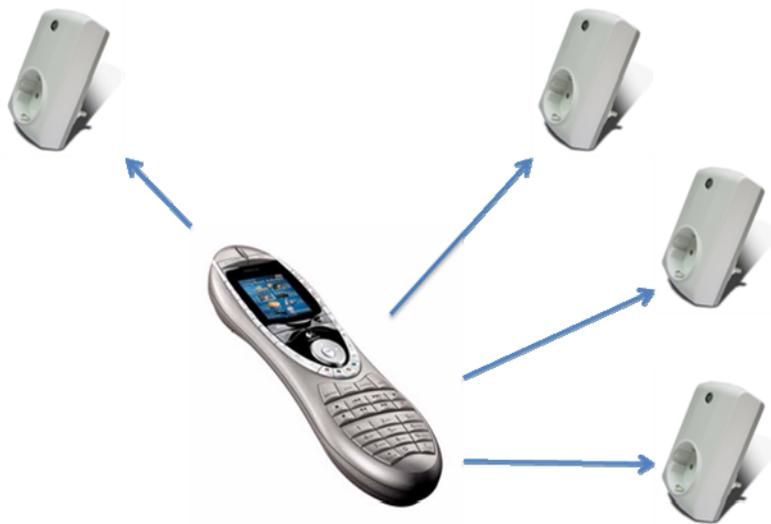


Abbildung 3.17: Z-Wave Netz mit einem portablen Controller

Ein solches Netz arbeitet prinzipiell stabil, solange die Fernbedienung die Funkschalter direkt per Funk erreichen kann. Ist dies nicht der Fall, wird es gegebenenfalls zu Verzögerungen beim Ausführen von Funkbefehlen kommen, da die Fernbedienung den zu steuernden Schalter oder Dimmer erst

suchen muss.

Wurde ein Gerät an einer bestimmten Stelle ins Netz eingebunden und danach an einen anderen Ort bewegt, kann die Fernbedienung dieses Gerät nur noch dann steuern, wenn es in direkter Nachbarschaft positioniert ist. Andernfalls wird es das Gerät durch die dann falsche Routingtabelle nicht mehr finden können. Fernbedienungen sind in der Regel nicht in der Lage, eine Netzwerkreorganisation durchzuführen.

Ansonsten ist eine solche Konfiguration zuverlässig und empfehlenswert.

Ein solches Netz stößt an seine Grenzen, wenn batteriebetriebene Geräte ins Netz eingefügt werden sollen (siehe dazu Seite 80: 4.3 Batteriebetriebene Geräte).

3.5.2. Z-Wave Netz mit einem statischen Controller

Ein weiteres typisches Netz besteht aus einem statischen Controller – meist PC-Software plus Z-Wave Transceiver als USB Stick oder ein IP Gateway– sowie steuerbaren Schaltern oder Dimmern.



Abbildung 3.18: Beispiel eines Netzes mit statischem Controller

Der statische Controller ist Primärcontroller und führt die Inclusion aller

Bei mehreren Controllern ist zu entscheiden, welcher Controller –statisch oder portabel – als Primärcontroller arbeiten soll.

Netz mit statischem Controller als Primärcontroller:

- Inclusion am statischen Controller wird zum Problem, wenn Geräte danach bewegt werden – Abhilfe bietet Netzwerkreorganisation
- Ein statischer Controller ist in der Regel stabiler, ermöglicht sogar Backup-Funktionen und erspart im Defektfall den kompletten Neuaufbau des Systems

Netz mit portablem Controller als Primärcontroller:

- Fernbedienung ist schneller defekt oder kann verloren gehen. Danach ist ein kompletter Neuaufbau des Netzes mit Exclusion und Neuinclusion aller Geräte an einer neuen Fernbedienung notwendig
- Geräte können dank mobilem Controller an ihrem Einbauort inkludiert werden

Die Wahl des Primärcontrollers – statisch oder portabel – hängt eher von der persönlichen Präferenz (Bequemlichkeit spricht für portabel, Sicherheit spricht für statisch) des Anwenders ab. Beide Wahlmöglichkeiten ermöglichen bei richtiger Konfiguration ein stabiles und zuverlässiges System. Es ist auch jederzeit möglich, die Rolle des Primärcontrollers an einen Sekundärcontroller zu übergeben, wenn eine entsprechende Funktion vom Primärcontroller bereitgestellt wird. In der Z-Wave Terminologie ist dieses Verfahren Controller-Shift genannt. Abbildung 3.20 zeigt diese Funktion als Beispiel beim statischen Controller VERA.

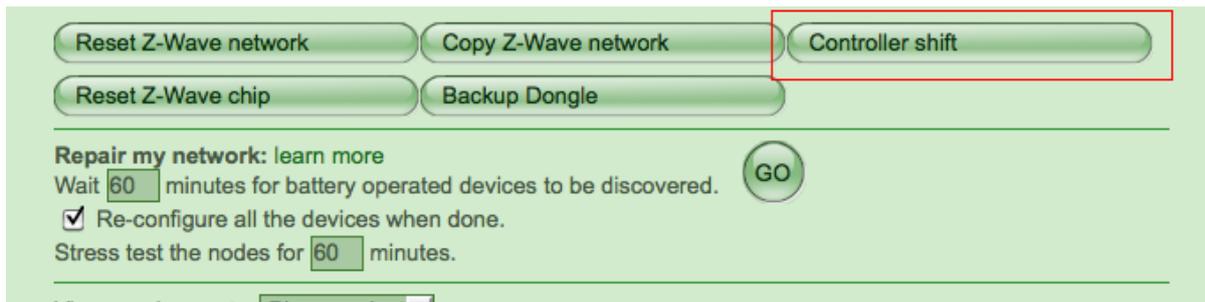


Abbildung 3.20: Controller-Shift bei VERA

Ein grundsätzliches Problem in Netzen mit mehreren Controllern ist jedoch die Abstimmung der Routingtabellen in den verschiedenen Controllern. Der Primärcontroller übergibt bei der Inclusion seine aktuelle Routingtabelle an die inkludierten Sekundärcontroller. In diesem Moment und nur in diesem Moment sind die Routingtabellen in Primär- und Sekundärcontrollern identisch. Werden danach am Primärcontroller weitere Geräte inkludiert, sind die Routingtabellen der Sekundärcontroller nicht mehr aktuell.

Das Ergebnis ist vorhersehbar: Neu inkludierte Geräte werden von den vorher schon inkludierten Sekundärcontrollern nicht mehr erkannt und können nicht gesteuert werden. Durch neu inkludierte Geräte eventuell entstehende neue Routen zu bereits inkludierten Geräten sind den Sekundärcontrollern nicht bekannt und können nicht benutzt werden.

Zur Lösung dieses Problems existieren nur zwei mehr oder weniger befriedigende Lösungen:

1. Sekundärcontroller werden immer als letztes ins System eingebunden. Damit erhalten Sie eine halbwegs korrekte Routingtabelle.
2. Nach der Inclusion von weiteren Geräten werden die Sekundärcontroller vom Primärcontroller erneut ins Netz eingebunden (Re-Inclusion). Damit erhalten sie eine aktuelle Routingtabelle. Dies ist jedoch ein aufwendiges Verfahren, das Endanwendern kaum vermittelbar ist.

Existieren in einem Netz mehrere portable Controller, ist es praktisch nahezu unmöglich, in allen portablen Controllern eine aktuelle Routingtabelle zu halten.

Um dieses Dilemma nutzerfreundlich zu lösen, existieren weitere spezielle Controller-Funktionen wie SUC und SIS.

3.6. *Static Update Controller (SUC) und SUC ID Server (SIS)*

Ist ein statischer (Primär-) Controller im Netz, so übergibt er den anderen Sekundärcontrollern bei der Inclusion die aktuelle Routingtabelle. Ändert sich die Routingtabelle später durch Inclusion oder Exclusion von Geräten, so besitzt der mobile Controller keine aktuelle Routingtabelle mehr.

Um sicherzustellen, dass wenigstens eine Routingtabelle korrekt bleibt, darf nur ein Controller – der Primärcontroller – neue Geräte includieren.

Ist der Primärcontroller ein mobiler Controller und damit in der Regel batteriebetrieben, kann er auch auf Anfrage keinem anderen Controller eine aktuelle Routingtabelle übergeben, da er ja typischerweise als Batteriegerät im Schlafzustand ist und damit nicht auf Funksignale reagiert.

Einen mobilen Primärcontroller permanent aktiv zu halten, um Anfragen anderer Geräte – zum Beispiel Routing Slaves oder andere Sekundärcontroller beantworten zu können, verbietet sich aus Gründen der Batterielebensdauer eben dieses mobilen Controllers.

Die Anforderung an ein Netz lautet also, dass

- jeder Controller neue Geräte einbinden kann und
- trotzdem immer genau eine korrekte Routingtabelle in allen Controllern vorhanden ist.

Diese Anforderung wird durch einen SUC/SIS-Controller erfüllt.

3.6.1. Static Update-Controller (SUC)

Der SUC – Static Update Controller – ist eine spezielle Funktion eines statischen Controllers. Jeder statische Controller – also ein Controller mit einer ortsfesten Installation, der über die Netzspannung versorgt wird – kann diese Funktion ausfüllen. Sie muss aber in der Regel aktiviert werden.

Ein SUC erhält vom Primärcontroller des Netzes eine aktuelle Routingtabelle, die der SUC an alle im Netz inkludierten portablen Controller weitergeben kann. Ist ein SUC im Netz aktiv, wird dessen Node-ID netzintern entsprechend kommuniziert, so dass jeder Knoten weiß, wo er aktuelle Routinginformationen erhalten kann (Abbildung 3.21).

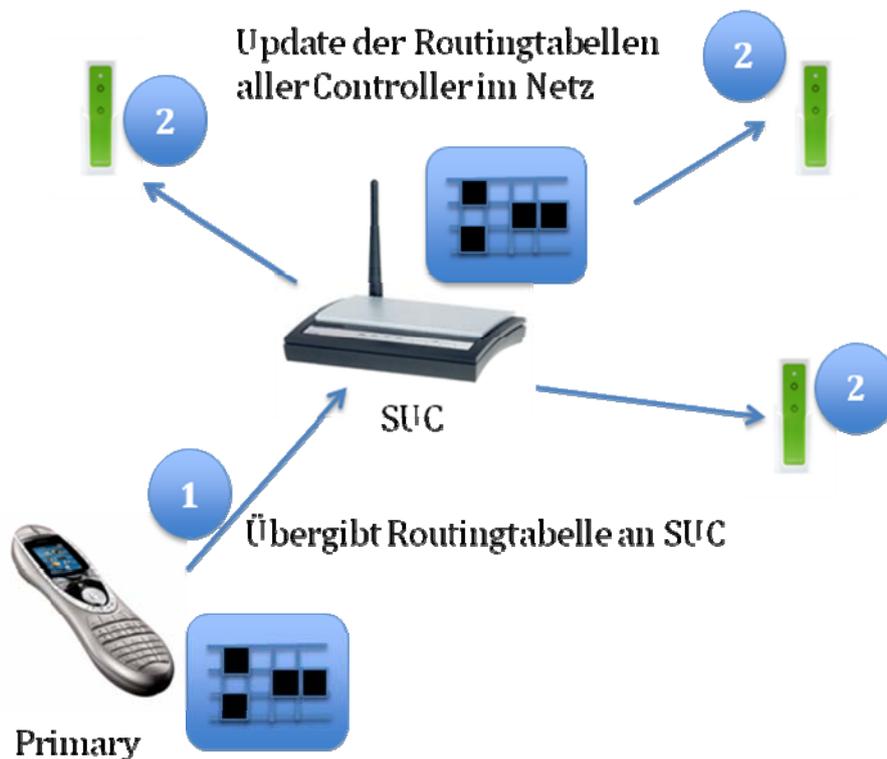


Abbildung 3.21: SUC in einem Z-Wave-Netz

Damit kann ein Primärcontroller durchaus ein mobiler Controller sein, da andere Knoten bei einem SUC immer die aktuelle Routingtabelle abfragen können, selbst wenn der eigentliche Primärcontroller nicht aktiv ist.

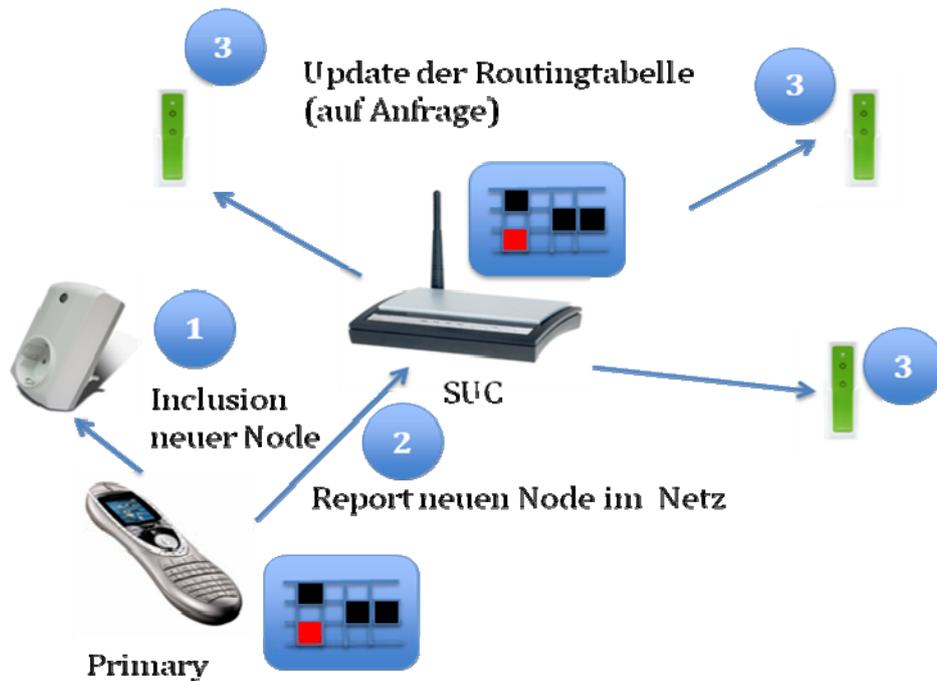


Abbildung 3.22: Update der Routingtabelle eines SUC

Includiert der Primärcontroller weitere Geräte - siehe Abbildung 3.22-, so informiert er den SUC über die neue Routingtabelle. Portable Controller erhalten dann ebenfalls die neue Routingtabelle. Da diese aber in der Regel batteriebetrieben sind und daher nicht permanent aktiv, müssen diese ein Update der Routingtabelle explizit beim SUC nachfragen. Der SUC kann Änderungen nicht automatisch an diese Controller weitergeben. Sind die portablen Controller darüber informiert, dass ein SUC existiert, werden sie ohne weitere manuelle Interaktion des Nutzers bei sich bietenden Gelegenheiten (wenn der Controller ohnehin aktiv ist) eine aktuelle Routingtabelle abfragen.

Für den Fall, dass der Primärcontroller (Fernbedienung) nicht mehr verfügbar ist, kann der Update-Controller (SUC) einen der vorhandenen Controller zum Primär machen und so für eine weitere Erhöhung der Zuverlässigkeit des Netzes sorgen.

3.6.2. Static ID Server (SIS)

Auch mit einem SUC im System besteht weiterhin das Problem, dass nur ein einziger mobiler Controller – der Primärcontroller – neue Geräte ins Netz includieren kann. Der Grund ist, dass nur der Primärcontroller über die

aktuelle Routingtabelle verfügt und damit eindeutige neue Node-IDs verteilen kann. Der SIS (Static ID Server) schafft hier Abhilfe.

Er wird zur zentralen Verwaltungsinstanz für Node-IDs. Jeder Controller kann damit neue Geräte includieren, indem er bei einem SIS eine neue freie Node-ID abfragt und eine erfolgreiche Inclusion dann diesen SIS zurückmeldet. Daraus folgt, dass diese Controller nur dann Knoten einbinden können, wenn sie über eine Funkverbindung zum zentralen ID Server verfügen.

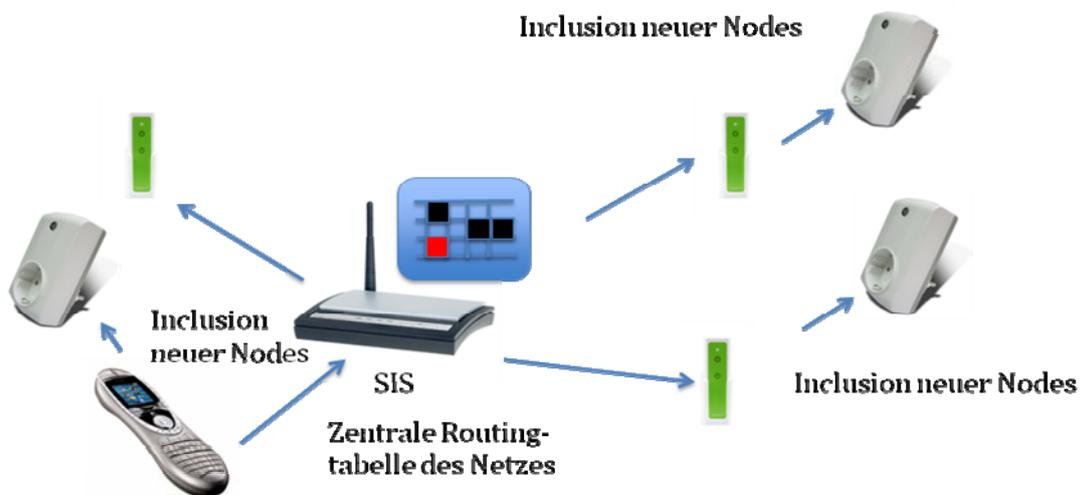


Abbildung 3.23: SIS Server im Z-Wave-Netz

Die Konfiguration mit SIS –Server hat folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- Die aktuelle Netztopologie und die Information über alle Knoten werden in einem statischen Controller gespeichert und sind damit weniger gefährdet als in einem portablen Controller, der verlustig gehen kann.
- Alle Controller in einem Netz können neue Geräte einbinden.
- Es ist eine sehr flexible Netzkonfiguration möglich.

Nachteile:

- Die Funktion ist erst ab der Firmwareversion 3.40 verfügbar. Es können also ältere Geräte existieren, die diese Konfiguration nicht unterstützen.
- Ein Inclusion-Controller kann nur dann Geräte einbinden, wenn er

einen Funk-Kontakt zum ID-Server hat

- Mit dem ID-Server existiert ein „Single Point of Failure“

Da die SUC/SIS-Funktion in jeder Software für einen statischen Controller bereits enthalten ist und von der Nutzeroberfläche nur angeschaltet werden muss, verfügen heutige Controller meist über SUC/SIS-Fähigkeiten.

Ein statischer Controller kann auch sowohl Primärcontroller sein als auch SUC/SIS-Funktionalität haben. Diese Konfiguration ist in realen Netzen typisch.

The screenshot shows a configuration interface for a Gateway VERA. At the top, there is a link: "learn about these options - learn about full power inclusion". Below this, there are several dropdown menus and a "GO" button. The configuration is set to "Include" one node(s) of type "any" with "low power" and a timeout after "30" seconds. Below this, there is a table of controller settings:

Version	2.48 L:1
House/Node	undefined
Role	Suc SIS:YES PRI:YES
Last update	N/A
Last dongle backup	19-DEC-2009 12:3
Port	/dev/usb/lp0

Abbildung 3.24: Abgabe der Controllerfunktion beim Gateway VERA

Es ist daher sehr empfehlenswert, einen statischen Controller immer für die Funktionalität eines SUC/SIC Controller zu konfigurieren. In einem Netz kann immer genau nur ein SUC oder SIS Server aktiv sein.

3.7. Dynamische Netze mit Routing-Slaves

Im Kapitel „Aufbau, Abbau und Änderungen in einem Z-Wave-Netz“ wurde bereits beschrieben, wie ein Z-Wave-Netz auf die Änderung der Position von Controllern und Slaves reagiert. Werden Slaves oder der statische Controller in ihrer physischen Position verändert, muss danach eine Neuorganisation des gesamten Netzes erfolgen.

Ist im Netz ein SUC-Controller aktiv, erkennt das Netz räumliche Veränderungen von Routing Slaves und hinterlegt automatisch die neue Position des Gerätes in den Routingtabellen.

Das dafür notwendige Verfahren, dass auf Z-Wave-Netzebene automatisch und ohne Nutzerinteraktion abläuft, heißt „**Get Lost**“.

Der Routing-Slave ist im Gegensatz zu einem normalen Slave in der Lage, selbstständig Nachrichten an andere Knoten des Z-Wave-Netzes zu senden. Schlägt eine derartige Kommunikation fehl, nimmt der entsprechende Routing-Slave an, dass er in seiner Position verändert wurde und damit der Teil seiner internen Routing-Tabelle, die er zur Kommunikation mit anderen Slaves oder dem SUC besitzt, nicht mehr korrekt ist.

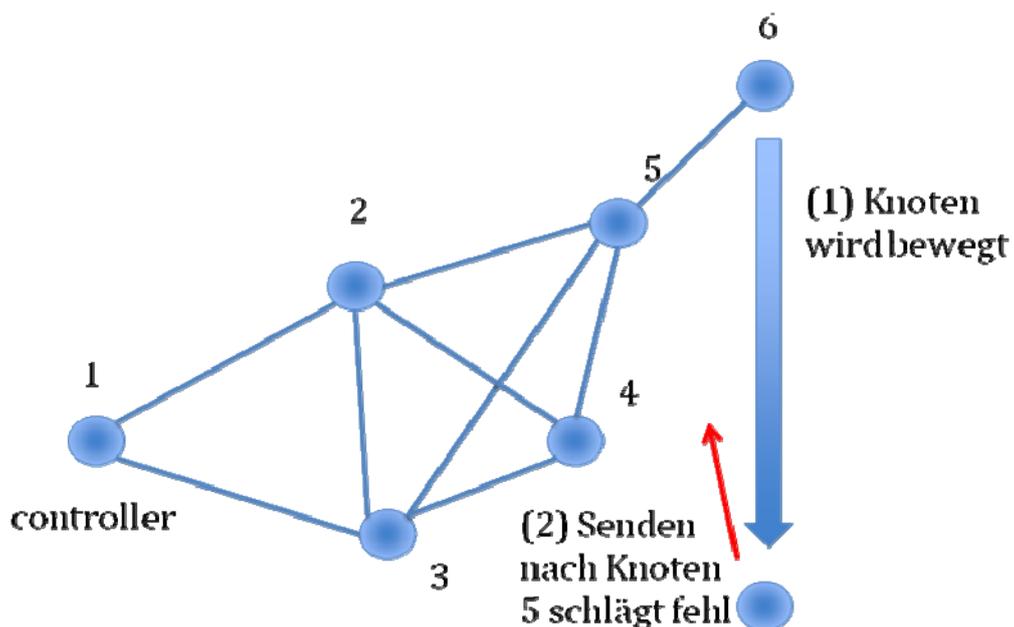


Abbildung 3.25: Routing-Slave erkennt Positionsveränderung

Der entsprechende Routing-Slave (s. Abbildung 3.25 Knoten 6) sendet daraufhin einen Hilferuf an alle Knoten, die „in range“ sind, d.h. die diesen Ruf hören können.

Im Beispiel der Abbildung 3.26 wäre Knoten 4 ein Knoten, der den Hilferuf erkennt. Ist dieser Knoten ebenfalls ein Routing-Slave, d.h. ein Knoten mit der Fähigkeit, selbstständig eine Kommunikation mit anderen Knoten aufzubauen, wird dieser Knoten den Hilferuf an den Controller weiterleiten.

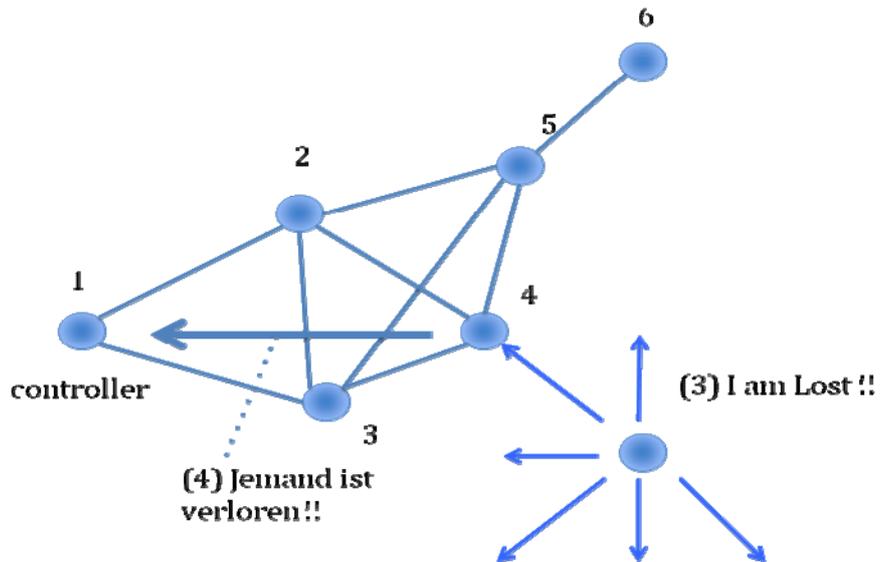


Abbildung 3.26: Hilferuf eines Routing-Slaves

Der Controller erkennt diesen Hilferuf und wird den ortsveränderten Routing-Slave nun auffordern, seine Nachbarknoten zu erkennen und zurückzumelden. Gleichzeitig wird dem Routing-Slave erneut eine Route zurück zum SUC zugewiesen.

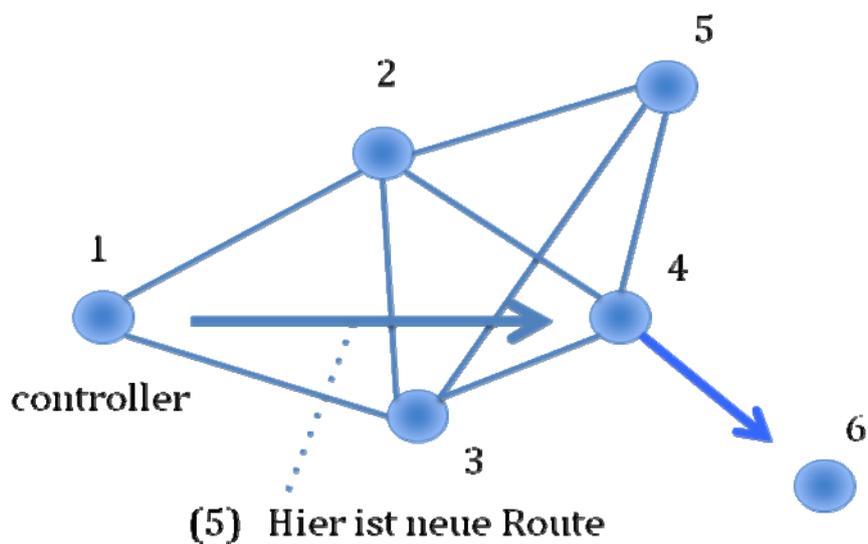


Abbildung 3.27: Neue Route für einen ortsveränderten Routing-Slave

Das automatische Heilen eines Netzes mittels „Get Lost“ ist damit an vier Voraussetzungen gebunden:

1. Es muss im Netz ein SUC vorhanden sein.
2. Der ortsveränderte Knoten muss ein Routing-Slave sein.
3. An der neuen Position des ortsveränderten Knotens muss mindestens ein weiterer Routing-Slave als Nachbar vorhanden sein.
4. Der ortsveränderte Knoten muss selbstständig erkennen, dass er im Ort verändert wurde.

3.8. Inclusion und Exclusion in der Praxis

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie das Inclusion und Exclusion bei konkreten Produkten realisiert wird.

3.8.1. Inclusion und Exclusion von Slaves

(1) Das Einbinden von Knoten in das Z-Wave Netz wird immer von dem Primärcontroller angestoßen. Er muss dazu in einen Modus geschaltet werden, in dem er andere Knoten in sein Netz einbinden kann. Dies geschieht entweder durch Drücken eines bestimmten Tasters am Controller typisch für Fernbedienungen oder Wandschalter, die als Controller fungieren oder durch ein Kommando über eine Steuersoftware, wenn der Controller ein USB-Stick an einem PCs ist.

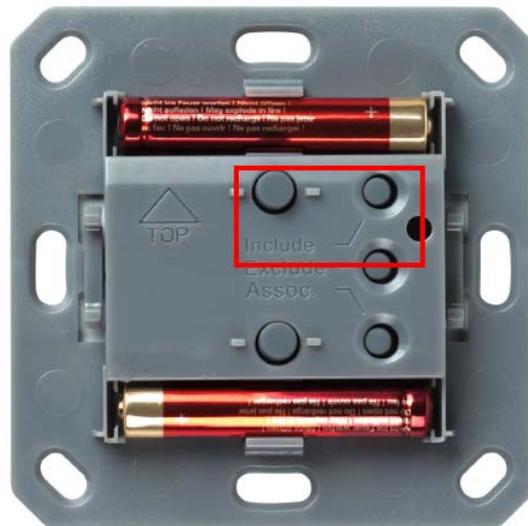


Abbildung 3.28: Wandschalter als Controller mit spezielle Taste zum Starten des Include-Vorganges

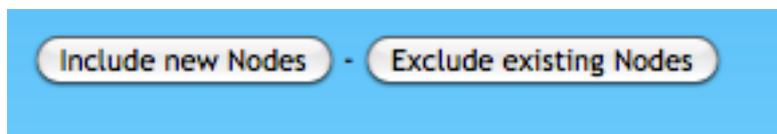


Abbildung 3.29: Inclusion-Funktion als Beispiel bei einer PC-Software

(2) Befindet sich der Controller im Inclusion-Zustand, wird dies dem Anwender meist durch Blinken einer LED oder durch eine entsprechende Meldung auf dem Steuer-PC signalisiert.

(3) Jedes Z-Wave-Gerät verfügt über mindestens einen Taster. Durch Betätigen dieses Tasters (einfach, dreifach, je nach Produkt) sendet der Funkknoten ein Datenpaket mit Informationen über sich selbst an alle Knoten in der Nähe und damit auch zu dem im Inclusion-Zustand befindlichen Controller.

(4) Das Informationspaket – in der Z-Wave-Terminologie *Node Information Frame* genannt – enthält eine Angabe über eine eventuelle vorhandene Home-ID sowie über die Funktionen des entsprechenden Knotens.

(5) Enthält der Node-Information-Frame keine Home-ID, erkennt der Primärcontroller, dass dieser Knoten in das Netzwerk eingebunden werden will und sendet ihm sowohl seine Home-ID als auch eine neu zugewiesene Adresse (Node-ID). Damit ist dieser Knoten Teil des Netzwerkes des verwaltenden Controllers.

1. Logik eines INTERACT³ Netzwerks. Einbinden von Teilnehmern.

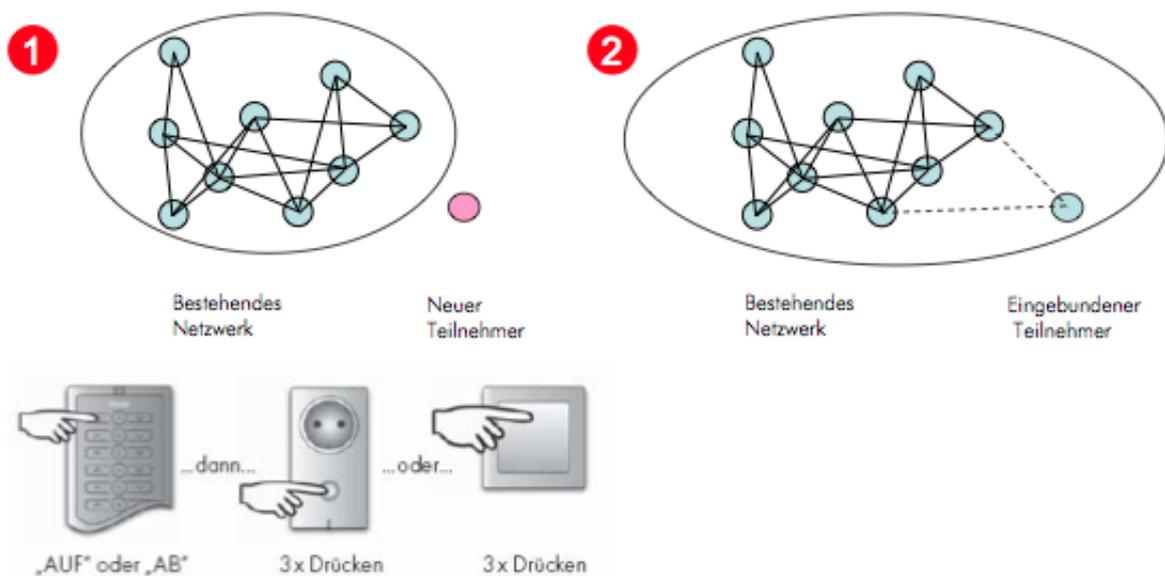


Abbildung 3.30: Beispiel einer Anleitung zur Inclusion eines Z-Wave Produktes

Abbildung 3.30 zeigt beispielhaft die Dokumentation eines Herstellers über seine Z-Wave-Produkte und den Inclusion-Vorgang. Durch Drücken von „Auf“ oder „Ab“ am Controller wird dieser in den entsprechenden Inclusion-Modus versetzt. Das dreimalige Drücken auf eine Taste des Z-Wave-Geräts quittiert die Inclusion. Technisch führt das dreimalige Betätigen des Tasters zum Aussenden eines Informationspaketes (Node Information Frame) sowie der daran anschließenden Zuweisung einer Home-ID und einer Node-ID an das Produkt. Dieses Verfahren erfolgt automatisch ohne weitere Einwirkung durch den Anwender.

Aus diesem Mechanismus ergibt sich eine Reihe von Konsequenzen:

1. Nur ein Controller kann ein Netz verwalten und andere Knoten hinzufügen.
2. Es kann nur ein Knoten in ein Netz eingefügt werden, der vorher nicht in einem anderen Netz inludiert wurde.

3. Es muss immer eine mechanische Interaktion am betreffenden Gerät - Drücken eines Tasters – erfolgen, um einen Knoten in ein bestimmtes Netz zu integrieren.

Soll ein bereits in einem Netz integrierter Knoten einem anderen Netz zugeordnet werden, so muss dieser vorher aus dem alten Netz ausgekoppelt werden. Dieser Prozess heißt in der Z-Wave Terminologie „**Exclusion**“ und läuft analog zur Inclusion ab.

1. Ein Controller wird durch spezielle Tasten oder Software in den Exclusion-Modus geschaltet.
2. Der betreffende Knoten sendet durch lokales Betätigen eines Tasters (einfach/dreifach, je nach Produkt) einen Node-Information-Frame.
3. Enthält dieser Node-Information-Frame eine Home-ID, die angibt, dass dieser Knoten bereits in einem anderen Netz integriert ist, sendet der Controller ein Kommando, dass die vorher gesetzte Home-ID löscht und den betreffenden Knoten wieder in den Ausgangszustand versetzt und eine erneute Inclusion ermöglicht.

Eine Exclusion kann von jedem beliebigen Controller aus durchgeführt werden. Dies muss wie bei der Inclusion durch eine lokale Interaktion – (z.B. Drücken eines Tasters) quittiert werden. Damit ist sichergestellt, dass kein Knoten gegen den Willen des Besitzers in ein anderes Netz „gezwungen“ werden kann.

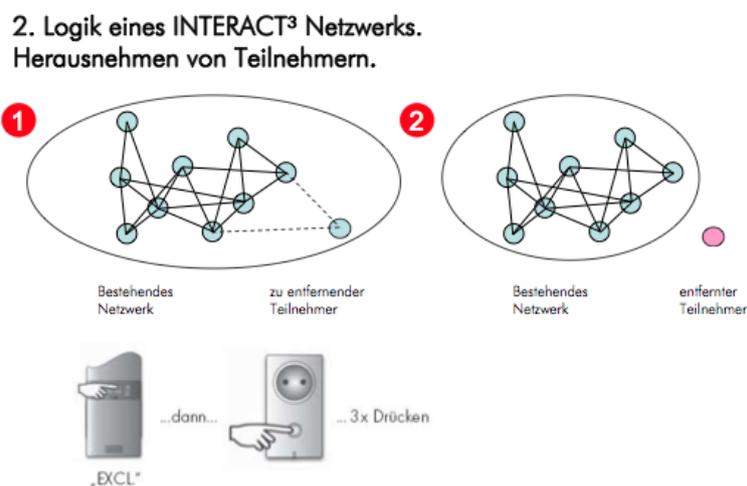


Abbildung 3.31: Beispiel einer Anleitung eines Herstellers zur Exclusion

Die Exclusion führt bei einem Z-Wave Gerät zu einem Reset aller Funktionen.

3.8.2. Inclusion bei Controllern

Die Inclusion eines Controllers in ein Netz erfolgt aus Sicht des einbindenden Controllers im Prinzip wie bei einem Slave. Der einzige Unterschied ist, dass einem Controller direkt nach erfolgreicher Inclusion die aktuelle Routingtabelle des Netzes übergeben werden muss. Da ein Controller aber während der Inclusion erkennt, dass er einen anderen Controller includiert hat, wird er die Routingtabelle ohne weitere Befehle an den Controller senden.

Um trotzdem eine logische Unterscheidung zwischen der Inclusion von Slaves und der Inclusion von Controllern vorzunehmen, wird Letztere in der Z-Wave-Terminologie auch als **Replication** bezeichnet.

Im Gegensatz zu einem Slave besitzt ein Controller bereits eine Home-ID und wird in der Regel selbst Geräte einbinden wollen. Um nun selbst in ein anderes Netz eingebunden zu werden, muss dieser Controller vorher in einen speziellen Modus geschaltet werden, der in der Z-Wave-Terminologie **Learn-Mode** = Lernmodus heißt. Nur im Lernmodus akzeptiert ein Controller eine fremde Home-ID und ersetzt seine eigene Home-ID durch eine fremde Home-ID.

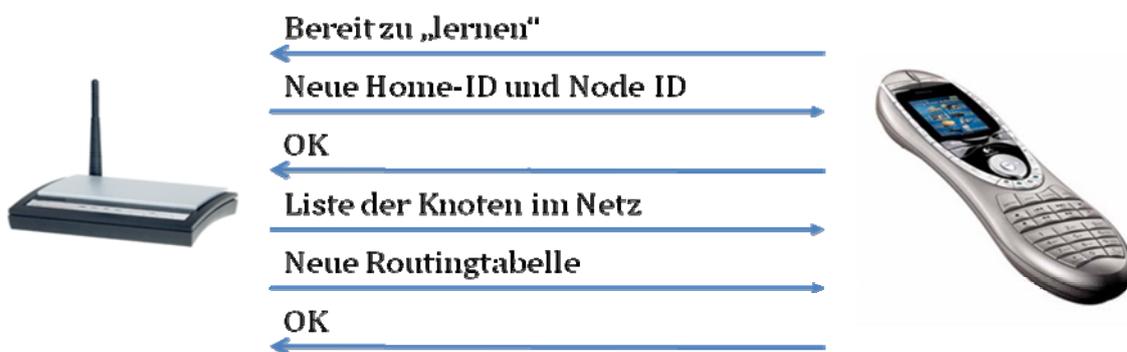


Abbildung 3.32: Controller-Replikation

Ein Controller verfügt daher immer über eine spezielle Funktion (Taste, Tastenkombination), um in den Lern-Modus geschaltet zu werden. Hat ein Controller seinerseits bereits Geräte inkludiert und wird dann als Sekundärcontroller in ein fremdes Netz inkludiert, so verliert das Netz alle diese Knoten, da deren Home-ID nicht mehr der Home-ID des neuen Netzes entspricht. Es ist also nicht möglich, zwei Netze einfach zu einem neuen Netz zu vereinigen. Vielmehr müssen die Knoten, die durch den Controller inkludiert wurden, der nun ein Sekundärcontroller des neuen Netzes ist, wieder in das neue Netz inkludiert werden.

Da durch eine solche Operation erheblicher Aufwand entsteht, wird ein Controller in der Regel sicherstellen, dass der Lern-Modus nicht aus Versehen aktiviert wird. Zudem wird dieser Zustand auch nur minimale Zeit aktiv gehalten.

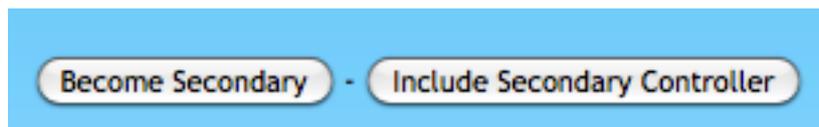


Abbildung 3.33: Beispiel für die beiden Inclusion-Funktionen für Controller in einer PC-Software

3.8.3. Inclusion von batteriebetriebenen Geräten

Batteriebetriebene Geräte befinden sich meist in einem „Schlafzustand“. Um in ein Netz eingebunden zu werden, müssen diese Geräte allerdings aktiv sein und Nachrichten senden sowie empfangen können.

Um Strom zu sparen, werden batteriebetriebene Controller die Zeit, die sie im Inclusion- oder im Lern-Modus sind, noch weiter begrenzen. Eine fehlgeschlagene Inclusion eines batteriebetriebenen Controllers kann seine Ursache also auch darin haben, dass das Gerät bereits wieder „schläft“. (Weitere konkrete Hinweise zum Einbinden batteriebetriebener Geräte in ein Z-Wave-Netz finden sich im Abschnitt „4.3 Batteriebetriebene Geräte“).

4. Applikationsebene

Auf der Netzebene wurde bisher nur erwähnt, dass Knoten miteinander kommunizieren. Die Applikationsebene des Z-Wave Protokolls beschreibt nun, was und warum miteinander kommuniziert wird.

4.1. Z-Wave-Geräte

Im Prinzip kann jedes elektrisch betriebene Gerät mit einem Z-Wave-Funkchip ausgerüstet und damit in ein Z-Wave-Netz eingebunden werden. Dadurch ergibt sich eine große Fülle verschiedener möglicher Z-Wave-Produkte.

Des Weiteren sind aber einige sinnvolle Konkretisierungen sinnvoll. Denn jedes Gerät wird entweder aufgrund von Schaltbefehlen eine Funktion ausführen oder einen gewissen Messwert oder Schaltzustand anderen Geräten mitteilen. Erstere heißen in der Z-Wave-Terminologie Aktoren. Letztere nennt man Sensoren.

Es können auch in einem physischen Gerät Akteur- und Sensorfunktionen integriert sein. Aktoren schalten entweder eine Funktion digital (ein oder aus) oder kontinuierlich (Dimmer, Jalousie bewegen) und ein Sensor liefert entweder einen digitalen Wert (Türöffnersensor, Bewegungsmelder) oder einen analogen Wert (Temperatur, Feuchtigkeit, Füllstand).

Im heutigen Produktspektrum von Z-Wave (aktuell bieten Hersteller weltweit mehrere Hundert verschiedene Z-Wave-Geräte an) finden sich eine verblüffend geringe Anzahl verschiedener Grundfunktionen. Fast alle auf dem Markt befindlichen Geräte lassen sich den folgenden Funktionsgruppen zuordnen.

1. elektrische Schalter: zum Wandeinbau oder zum Aufstecken auf eine Steckdose (digitaler Aktoren)
2. elektrische Dimmer: zum Wandeinbau oder zum Aufstecken auf eine

Steckdose (analoge Aktoren)

3. Steuerung eines Motors: meist zum Öffnen oder Schließen einer Jalousie, einer Lüftungsklappe, eines Fensters, eines Tores oder einer Tür (analoge oder digitale Aktoren)
4. Elektrische Signalgeber: Sirenen, LED-Panel (digitale Aktoren)
5. verschiedene Sensor-Arten (digital oder analog): Bewegung, Temperatur, CO₂-Gehalt, Füllstände
6. Thermostate: Wand- oder Heizkörperthermostat
7. Fernbedienungen: in Form von speziellen Z-Wave-Geräten, Universalfernbedienungen, Schlüsselanhängern, etc.
8. USB Geräte plus Steuersoftware: für eine Z-Wave-Steuerung vom PC aus
9. Schnittstellengeräte, die eine Brücke von Z-Wave zum Internet/IP-Netz bilden

Die folgenden Beispiele geben einen Eindruck von der Produktvielfalt auf der Basis des Z-Wave-Standards.



Abbildung 4.1: Verschiedene Z-Wave-Geräte

4.1.1. Kommandoklassen

Die Kommunikation innerhalb eines Z-Wave-Netztes ist auf Anwenderebene in sogenannte **Kommandoklassen (Command Classes)** organisiert.

Kommandoklassen fassen eine Reihe von Kommunikationsvorgängen im Zusammenhang mit einer bestimmten Funktion des Gerätes zusammen.

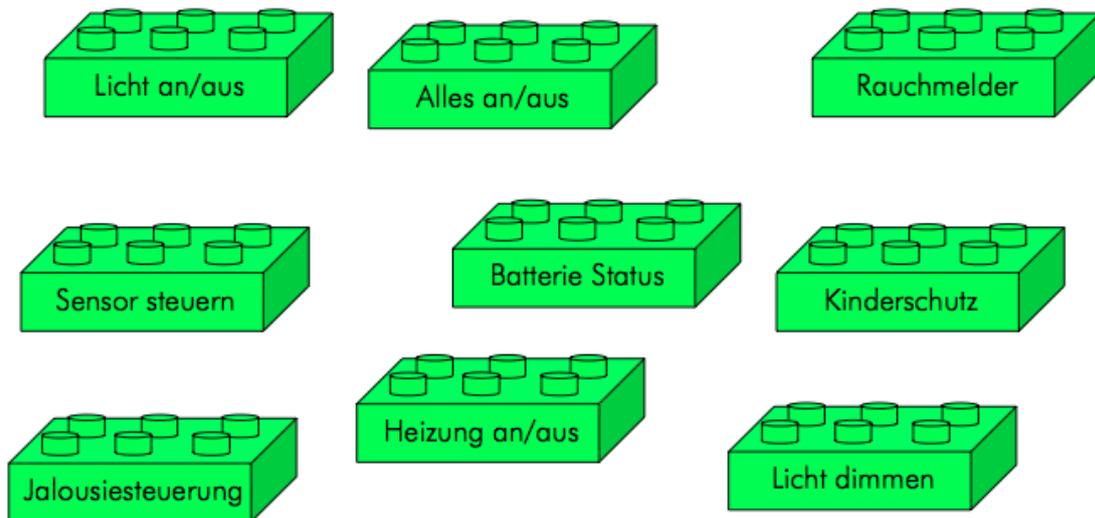


Abbildung 4.2: Beispiel für verschiedene Funktionen als Kommandoklassen

Als Beispiel soll ein normaler Ein/Aus-Schalter dienen. In der Z-Wave-Terminologie wird ein solcher Schalter als Binärschalter (BINARY SWITCH) bezeichnet. Binärschalter können ein- und ausgeschaltet werden und ihren Schaltzustand an andere Netzteilnehmer melden. Um dies zu realisieren, müsste ein Binärschalter folgende Funktionen erfüllen:

- Setzen des Schaltzustandes über das Funknetz
- Abfragen des Schaltzustandes über das Funknetz
- Melden eines Schaltzustandes über das Funknetz

Diese drei Grundfunktionen sind in einer Kommandoklasse „Binärschalter“ zusammengefasst. Unterstützt ein Gerät eine Kommandoklasse, müssen immer alle Funktionen der jeweiligen Kommandoklasse unterstützt werden. (Im Anhang ist eine Übersicht über alle Kommandoklassen des Z-Wave-Protokolls gegeben).

4.1.2. Die Kommandoklasse Basic

Kommandoklassen entsprechen der speziellen Funktion eines Z-Wave-Gerätes, die sehr unterschiedlich sein kann. So wird ein Schalter andere Kommandos verarbeiten als ein Heizungsthermostat.

Um trotzdem eine Art Rückfallebene zu haben und mit allen Geräten eines Z-Wave Netzes zuverlässig kommunizieren zu können, existiert die sogenannte „Basic“-Kommandoklasse. Es gibt drei Basis-Kommandos, die von jedem Z-Wave Gerät unterstützt werden:

1. Befehl zum Setzen eines Wertes zwischen 0 und 100 (wird zum Gerät gesendet)
2. Befehl zum Anfordern eines Wertes vom Gerät (wird zum Gerät gesendet)
3. Befehl zum Mitteilen eines Werte zwischen 1 und 100 (wird vom Gerät gesendet)

Das Besondere an der Basic-Kommandoklasse ist, dass jedes Gerät die Befehle entsprechend seiner konkreten Funktion interpretiert. Ein Binärschalter wird einen Befehl zum Setzen eines Wertes in das Umschalten des Schaltrelais umsetzen und damit einen Wert = 0 als Ausschalten und einen Wert >0 als Einschalten interpretieren.



Abbildung 4.3: Basic-Kommandoklasse

Ein Jalousiecontroller wird den gleichen Befehl derart interpretieren, die Jalousie entweder nach oben oder nach unten zu bewegen. Ein Thermostat wird wiederum den gleichen Befehl in der Art interpretieren, eine Temperatur entsprechend des übergebenen Wertes zu verändern.

4.1.3. Geräteklassen

Um ein problemloses Zusammenschalten von Geräten verschiedener Hersteller zu ermöglichen, müssen alle Netzknoten definierte Funktionen haben und auf definierte Kommandos (Kommandoklassen) in bestimmter Weise reagieren. Um Ordnung in das Chaos möglicher Funktionen (sprich Kommandoklassen) und deren Kombinationen untereinander zu bringen, definiert Z-Wave sogenannte **Geräteklassen – auch Deviceklassen (device classes)** genannt. Eine Deviceklasse beschreibt die Grundfunktionen eines Gerätes und legt damit fest, welche Kommandos ein Z-Wave-Gerät zu bestehen und auszuführen hat.

Es gibt drei Arten von Geräteklassen, die aufeinander aufbauen:

- Basis-Geräteklasse (basic device class)
- Generische Geräteklasse (generic device class)
- Spezielle Geräteklasse (specific device class)

Basis Geräteklasse

Die Basic-Geräte-Klasse unterscheidet lediglich, ob das Gerät ein Controller, ein Slave oder eine Routing-Slave ist. Damit ist jedes Z-Wave-Gerät einer Geräte-Klasse zuordenbar.

Generische Geräteklasse

Die generische Geräteklasse definiert die Grundfunktion, welche der entsprechende Controller, Slave oder Routingslave realisiert. Aktuelle generische Geräteklassen sind zum Beispiel:

- Allgemeiner Controller (GENERIC_CONTROLLER)
- Statischer Controller (STATIC_CONTROLLER)
- Binärschalter (BINARY_SWITCH)
- Multilevel-Schalter (MULTI_LEVEL_SWITCH)
- Binärsensor (BINBARY_SENSOR)

- Multilevel-Sensor (MULTILEVEL_SENSOR)
- Zähler (METER)
- Eingangcontroller (ENTRY_CONTROL)
- Thermostat (THERMOSTAT)
- Fensterjalousiecontroller (WINDOW_COVERING)

Spezielle Geräteklasse

Mittels der Zuordnung zu einer speziellen Geräteklasse kann ein Gerät noch genauer beschrieben werden. Eine solche Kategorisierung ist aber nur dann sinnvoll, wenn das Gerät wirklich spezielle Funktionen einer Geräteklasse unterstützt. Ansonsten kann auf die Zuordnung zu einer speziellen Geräteklasse auch verzichtet werden.

Spezielle Geräteklassen sind zum Beispiel:

- Rücksetzthermostat (SETBACK_THERMOSTAT) als spezielle Geräteklasse der generischen Klasse „Thermostat“
- Multilevel-Stromschalter (MULTILEVEL_POWER_SWITCH) als spezielle Geräteklasse der generischen Klasse „Multilevel-Schalter“.

Wird ein Z-Wave-Gerät einer Geräteklasse zugeordnet, so hat es eine Reihe von Funktionen, das heißt eine Reihe von Kommandoklassen, zwingend zu unterstützen. Diese Kommandoklassen heißen Pflichtklassen (mandatory classes). Darüber hinaus empfiehlt der Z-Wave-Standard für die einzelnen Gerätetypen noch eine Reihe von Kommandoklassen, die für die jeweilige Funktion der Devices sehr sinnvoll, aber eben keine Pflicht sind.

Einem Hersteller ist es innerhalb des Z-Wave-Protokolls weiterhin erlaubt, zusätzliche Funktionen in Form optionaler Geräteklassen in seinem Gerät zu integrieren. Die Implementierung dieser optionalen Geräteklassen muss aber – wenn sie angeboten werden - wiederum dem Z-Wave-Standard entsprechen.

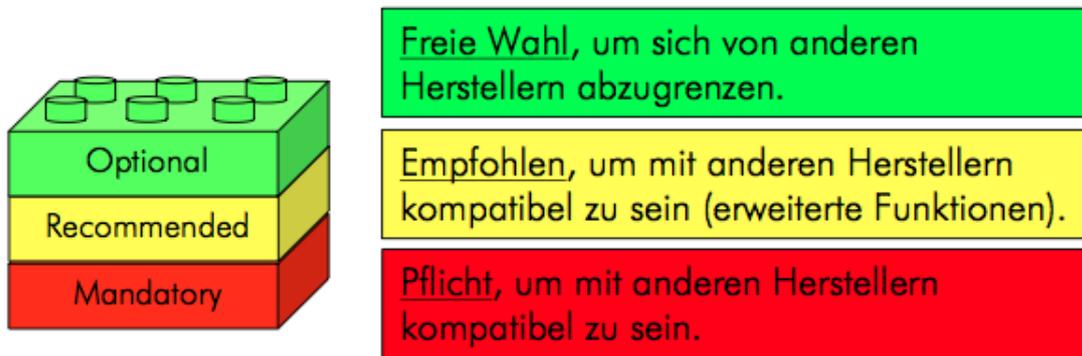


Abbildung 4.4: Optionale, empfohlene und notwendige Kommandoklassen innerhalb einer Geräteklasse

Die Basisklasse sowie eine generische und gegebenenfalls eine spezielle Geräteklasse gibt das Gerät anderen Geräten bei der Inclusion oder auf Anfrage mittels eines Node Information Frames bekannt. Neben den Geräteklassen sind im Node Information Frame auch die zusätzlichen empfohlenen und optionalen Kommandoklassen angegeben.

Damit wird es möglich, dass verschiedene Geräte der gleichen Geräteklasse auch dann miteinander kommunizieren können, wenn sie von verschiedenen Herstellern stammen und einen unterschiedlichen Funktionsumfang aufweisen.

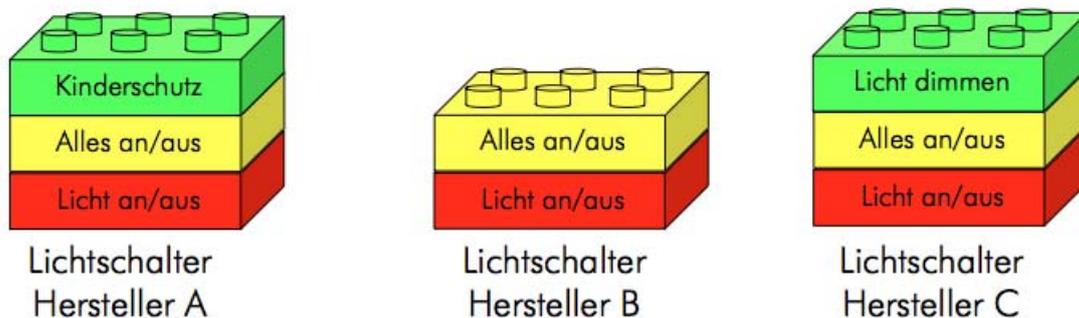


Abbildung 4.5: Verschiedene Implementierung einer Geräteklasse „Lichtschalter“ durch unterschiedliche Hersteller

Ein Gerät entspricht dann dem Z-Wave-Standard und ist kompatibel zu anderen Z-Wave-Devices, wenn es

1. mindestens einer Basis- und einer generischen Geräteklasse zugeordnet werden kann, diese korrekt auf Anfrage angibt und deren Pflichtfunktionen – sprich Pflichtkommandoklassen – korrekt implementiert und
2. eventuell vorhandene zusätzliche Funktionalität in definierten Kommandoklassen angibt und korrekt implementiert.

Z-Wave definiert eine große Vielfalt an Kommandoklassen, die nahezu alle denkbaren Funktionen bereits korrekt beschreiben. Trotzdem ist es denkbar, dass ein Hersteller in einem Gerät spezielle Funktionen realisieren möchte, die nicht einer definierten Kommandoklasse entsprechen. Für diesen Fall existiert eine Kommandoklasse „Proprietäre Funktion“. Da eine proprietäre Funktion quasi eine erlaubte definierte Verletzung des Standards darstellt (andere Geräte können diese Funktion ohne weitere proprietäre Kenntnisse nicht nutzen), muss sie genau in der Dokumentation beschrieben und bei der Zertifizierung extra genehmigt werden.

Proprietäre Funktionen sind bei heutigen Geräten sehr selten, da es für die meisten sinnvollen Funktionen entsprechende spezifizierte Kommandoklassen gibt.



Abbildung 4.6: Schuko-Zwischenstecker

Ein Beispiel zu Verdeutlichung:

Angeboten wird ein Schuko-Zwischenstecker. Dieser hat eine Schaltfunktion. Da er mobil eingesetzt werden kann, wird als Basisklasse „Routing-Slave“ gewählt. Als Binärschalter – er schaltet ja den Strom ein und aus – wird er der generischen Klasse „Binärschalter“ zugeordnet, gleichzeitig der speziellen Geräteklasse „Binärschalter zum Schalten von Strom“.

- Basisklasse: Routing-Slave
 - Generische Klasse: Binärschalter
 - Spezielle Klasse: Binärschalter für Strom
1. Als Binärschalter muss dieser Schalter über Z-Wave in einer festgelegten Weise ein- und ausschaltbar sein. Dies entspricht den Anforderungen der generischen Geräteklasse „Binärschalter“.
 2. Als Binärschalter für Strom (Spezielle Geräteklasse) muss er zusätzlich eine Funktion unterstützen, die alle Stromschalter im Z-Wave-Netz gemeinsam ein- oder ausschaltet. Diese Funktion wird in der allgemeinen Geräteklasse Binärschalter nicht gefordert. Ein allgemeiner Binärschalter könnte ja auch ein Türöffner sein, für den die Funktion des gemeinsamen Ein- und Ausschaltens des Stromes keine sinnvolle Bedeutung hätte. Als Stromschalter mit der speziellen Geräteklasse „Binärschalter zum Schalten von Strom“ hat das Gerät diese Funktion aber zu unterstützen. Es ist erlaubt, sie für ein solches Gerät nicht anzubieten. In diesem Falle darf aber keine Angabe zu einer speziellen Geräteklasse erfolgen.
 3. Der Hersteller möchte ein besseres Gerät anbieten mit einer sogenannten Kindersicherung. Hier wird das Umschalten des Schalters beim einfachen Drücken des Tasters am Gerät unterdrückt. Diese Funktion ist eine empfohlene Funktion. Die entsprechenden Kommandos sind festgelegt und der Hersteller muss die Kindersicherungsfunktion entsprechend des Z-Wave-Standards implementieren. Ist er nicht in der Lage oder nicht willens, eine Kindersicherung in genau der Art und Weise zu implementieren, wie es der Standard erwartet, darf er diese Funktion nicht als spezielle Funktion „Kindersicherung (CHILD_PROTECTION)“ am Gerät anbieten. Steuergeräte anderer Hersteller können das Vorhandensein einer Kindersicherungsfunktion über Z-Wave abfragen und

sind dann in der Lage standardgemäß diese Funktion auch zu nutzen. Bietet unser Gerät diese Funktion gar nicht erst an, muss und wird das entsprechende Steuergerät diese Funktion ignorieren.

4. Über ein herstellerspezifisches, proprietäres Kommando könnte der Hersteller weitere Funktionen in seinen Schalter implementieren, beispielsweise einen Modus zum zufälligen Ein- und Ausschalten des Lichtes als Diebstahlschutz. Diese Funktion ist im Z-Wave-Standard nicht definiert. Der Hersteller kann die Funktion nach eigenem Gutdünken als proprietäre Klasse realisieren, kann aber nicht erwarten, dass andere Geräte diese Funktion auch unterstützen.

4.2. Konfiguration

Das Z-Wave-Protokoll legt fest, dass jedes Gerät im Auslieferungszustand auch ohne weitere Konfigurationsfunktion eine sinnvolle Funktion ausführen kann. Es gibt Z-Wave-Geräte, deren Verhalten und Parameter vom Anwender an die Einsatzbedingungen des Gerätes angepasst werden müssen. Solche Anpassungen können sein:

- Empfindlichkeit eines Bewegungsmelders
- Schaltverzögerung eines Alarmmelders an einer Tür
- Verhalten einer LED-Anzeige (Blinken oder nicht)
- Spezielles Verhalten in Fehlerfällen

Wenn es die Möglichkeit weiterer Konfigurationseinstellungen gibt, so wird dies vom Gerät durch eine optionale Kommandoklasse „Konfiguration“ angezeigt. Das Handbuch beschreibt dann, welche Konfigurationskommandos welche Verhaltensänderungen hervorrufen.

Die Konfigurationsklasse definiert, dass die Konfiguration über bis zu 255 verschiedene Konfigurationsparameter erfolgen kann. Diese Konfigurationsparameter haben einen Wert, der entweder aus einen, zwei oder vier Bytes besteht.

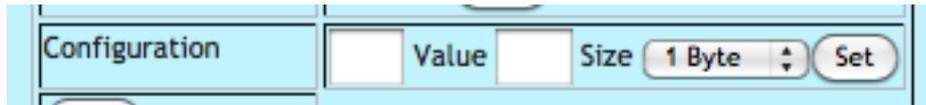


Abbildung 4.7: Beispiel für eine Konfigurationsschnittstelle einer Z-Wave-Software

Um eine Konfiguration eines Gerätes durchführen zu können, muss also die Nummer des zu ändernden Parameters und der Parameter selbst angegeben werden.

Beispiel für die Konfiguration einer LED:

Parameter #2: schaltet eine LED am Gerät dauerhaft an oder aus.

Wert 0: LED ist immer ausgeschaltet

Wert 1: LED ist immer eingeschaltet

Konfigurationen können meist bei statischen Controllern über deren Benutzeroberfläche gesetzt werden. Es existieren aber auch Fernbedienungen oder spezielle Installationscontroller, die eine Konfiguration von Z-Wave-Geräten ermöglichen.

4.3. Batteriebetriebene Geräte

Batteriebetriebene Geräte stellen eine besondere Herausforderung innerhalb eines Z-Wave-Netzes dar, da sie aus Stromspargründen meistens in einem Schlafzustand sind und daher von einem Controller aus nicht erreicht werden können.

Ein batteriebetriebenes Gerät kennt zwei Zustände:

1. wach, und damit im Netz aktiv und sichtbar wie jedes andere Z-Wave Gerät auch
2. schlafend und damit für andere Z-Wave-Geräte nicht existent

Damit es bei der Steuerung eines solchen Gerätes nicht permanent zu Fehlermeldungen kommt, muss ein Controller zur Unterstützung von batteriebetriebenen Geräten eine Art Warteschlange (auch Mailbox genannt) vorhalten. In dieser Mailbox werden alle Kommandos an das batterie-

betriebene Gerät gesammelt, um dann beim nächsten Aufwachen des Gerätes an dieses gesendet zu werden. Damit ein Controller auch informiert ist, wann ein batteriegetriebenes Gerät im Wachzustand ist, sendet dieses Gerät als erste Aktion nach dem Aufwachen eine entsprechende Nachricht – eine WAKEUP_NOTIFICATION – an den Controller. Dieser kann daraufhin den Inhalt seiner Mailbox für das Gerät aussenden und mit dem Batteriegerät wie mit einem normalen Z-Wave-Gerät kommunizieren. Liegen keine weiteren Nachrichten vor, kann der Controller das Batteriegerät durch einen speziellen Befehl wieder in den Schlafzustand schalten. Andernfalls legt sich das Batteriegerät ca. eine Minute nachdem es das letzte Kommando empfangen und ausgeführt hat, automatisch wieder schlafen.

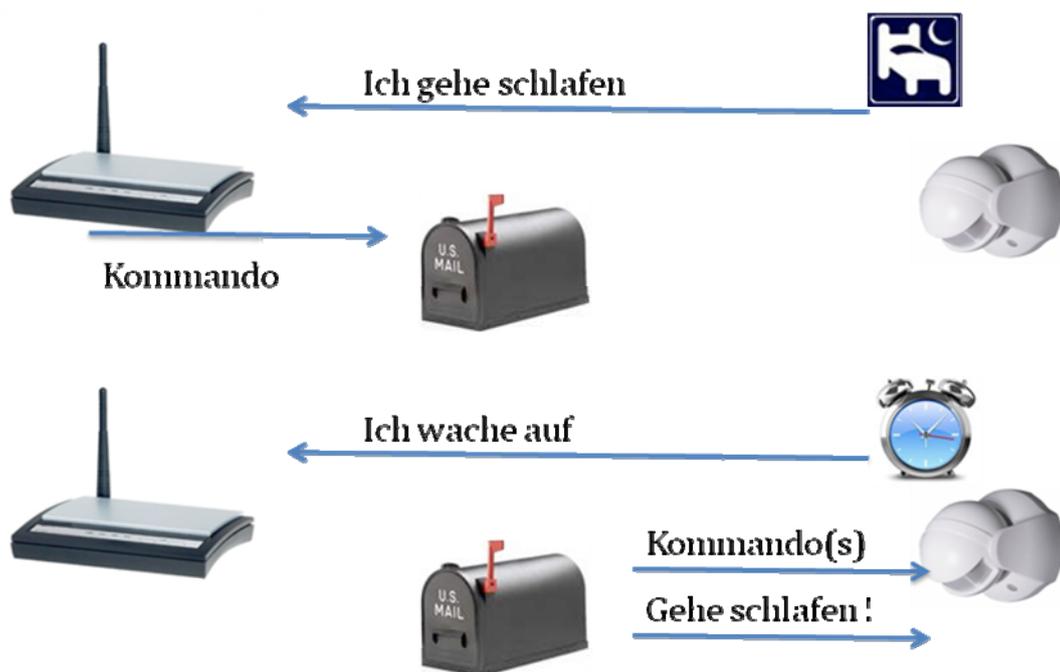


Abbildung 4.8: Schlafen und Aufwachen

Die Funktion zum Support batteriebetriebener Geräte erfordert einen statischen Controller im Z-Wave Netz, der permanent aktiv ist und entsprechende Meldungen von und zu batteriebetriebenen Geräten zwischenspeichern kann. Wird am Batteriegerät eine Aktion ausgelöst wie das Betätigen eines Tasters oder das Auslösen des Alarms eines Bewegungsmelders, schaltet das Gerät sofort in den Wachzustand, um dieses Kommando entsprechend kommunizieren zu können.

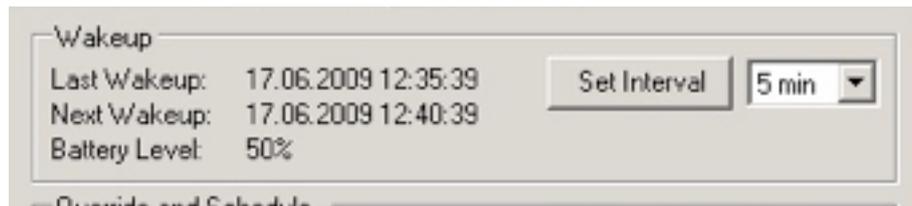


Abbildung 4.9: Softwarebeispiel zum Setzen des Wakeup-Intervals

Intern besitzt ein batteriebetriebenes Gerät einen Zeitgeber, der es nach einer festlegbaren Zeit automatisch aufwecken lässt. Diese maximal Schafzeit – typischerweise zwischen 30 Sekunden und mehr als 4000 Stunden einstellbar – kann über ein festgelegtes Kommando vom einem Controller aus eingestellt werden. Dieses Kommando wird, wie alle anderen auch, jedoch erst beim nächsten Aufwachen des Batteriegerätes verarbeitet.

Verschiedene Geräte schränken die Wahl des Aufwachintervalls durch einen maximalen oder minimalen Wert ein. Leider ist nicht festgelegt, wie ein Gerät zu reagieren hat, wenn ein ungültiges Aufwachintervalls konfiguriert wird. Ein undefiniertes Verhalten kann dann die Folge sein.

Mittlerweile existiert eine Erweiterung der Kommandoklasse zum Management des Aufwachintervalls, welche das Abfragen der Minimal- und Maximalwerte ermöglicht, um Fehler zu vermeiden. Es lohnt ein Blick in das Produkthandbuch des betreffenden Gerätes.

Um ein Gerät nach der erstmaligen Inclusion in ein Z-Wave-Netz konfigurieren zu können, ist festgelegt, dass ein Batteriegerät nach der Inclusion eine gewisse Zeit wach bleiben muss, bevor es erstmals in den Schlafzustand geht. Diese Zeit kann von den Herstellern frei gewählt werden und beträgt üblicherweise zwischen 20 Sekunden und drei Minuten.

Tabelle 4.1 zeigt nochmals in der Übersicht die verschiedenen Konditionen, nach denen ein Gerät zwischen Schlaf- und Wachzustand wechselt.

Situation	Wachzustand	Schlafzustand
Inclusion	Direkt nach Einbinden immer im Wachzustand	Geht – je nach Hersteller- nach einigen Sekunden bis Minuten in

		den Schlafzustand
Regelmäßig	Wacht nach Ablauf des programmierbaren Timers auf und sendet eine Nachricht an den Controller. Der initiale Timerwert ist herstellerabhängig, ein üblicher Wert liegt zwischen 5 und 30 Minuten.	Wird vom Controller über ein Kommando wieder in den Schlafzustand versetzt oder geht nach ca. einer Minute automatisch wieder in den Schlafzustand.
Bei Aktion des Gerätes	Wacht bei jeder Aktion auf und kommuniziert Aktion (Tastendruck, ...)	Sofort nach Beendigung der Aktion

Tabelle 4.1

Aus diesem Wach-/Schlafverhalten ergeben sich für den Nutzer und Anwender einige Konsequenzen und Fehlermöglichkeiten:

4.3.1. Fehlerfälle beim Einbinden in ein Netzwerk

Es ist üblich, mehrere Z-Wave Geräte hintereinander einzubinden und danach im Netz entsprechend der Anwendung zu konfigurieren. Bei solch einem Vorgehen entsteht die Gefahr, dass das Batteriegerät bereits vor der ersten Konfiguration in den Schlafzustand geschaltet hat und damit für den Controller unsichtbar ist. Das Gerät wird dann zwar nach einiger Zeit wieder aufwecken. Da dies durchaus erst nach mehreren Stunden erfolgen kann, entsteht viel Frustration und die Vermutung, dass das Gerät defekt oder die Einbindung in das Netzwerk nicht erfolgreich war.

Weiß das Batteriegerät beim Aufwachen nicht, an welchen Controller eine entsprechende Aufwachinformation zu senden ist, kann es sein, dass dieses Batteriegerät überhaupt nicht mehr konfiguriert und genutzt werden kann. Hier hilft nur eine Re-Inclusion des Gerätes mit entsprechend zügiger Konfiguration.

Eine weitere Fehlerquelle liegt in der Implementierung mancher Hersteller, die ihr batteriebetriebenes Gerät nur einige Zeit nach dem erstmaligen Einlegen der Batterie wach halten und danach in den Schlafzustand schicken. In diesem Fall ist auch kein Einbinden des Gerätes in ein Netz mehr möglich.

Daher sollten folgende Praxistipps berücksichtigt werden:

1. Jedes Batteriegerät direkt nach Einlegen der Batterie includieren und sofort mittels eines statischen Controllers konfigurieren. Die statischen Controller werden sich in der Regel als Empfänger der Aufwachmeldungen konfigurieren.
2. Wenn im Netz noch Konfigurationsarbeiten durchgeführt werden, ist es sinnvoll, die Schlafzeit auf das absolute Mindestmaß zu beschränken und entsprechend zu konfigurieren.
3. Jedes Batteriegerät sollte einzeln in das Netz eingebunden werden, um nach dem Einbinden bis zur Erstkonfiguration keine Zeit zu verlieren.
4. Ist das Netz komplett konfiguriert, sollte die Aufwachzeit auf ein sinnvolles Maß erhöht werden.
 - a. Ist die Aufwachzeit zu lang, wird zwar Batteriestrom gespart, bei einer Netzreorganisation kann das Gerät aber eventuell nicht wiedergefunden werden und würde dann als „defekt“ gemeldet.
 - b. Ist die Aufwachzeit zu kurz, wird mehr Batteriestrom verbraucht, das Netz ist aber insgesamt stabiler.
5. Die Aufwachzeit muss sich innerhalb des erlaubten Intervalls befinden. Auskunft gibt hier das Handbuch des Gerätes.

4.3.2. Maximierung der Batterielaufzeit

Die Batterielaufzeit ist die kritische Größe bei batteriebetriebenen Geräten. Hierzu einige Abschätzungen:



Abbildung 4.10 Typische Alkaline-Batterie

- Eine typische Alkaline-Mikrozelle (AAA) hat eine Energiekapazität von ca. 1000 mAh³. Ein typischer batteriebetriebener Sensor hat zwei solcher Batterien.
- Ein Z-Wave Modul der Baureihe 300 verbraucht im Ruhezustand 2.5 μ A und im Empfangszustand 21 mA. Beim Senden werden 36 mA benötigt. Tabelle 4.2 zeigt den Strombedarf der einzelnen Chipgenerationen in den jeweiligen Betriebszuständen.
- Zusätzlicher Energiebedarf kann im Gerät entstehen, wenn zum Beispiel ein Infrarotsensor oder ein Motor betrieben werden muss. Dieser Energiebedarf ist stark geräte- und nutzungsabhängig und soll hier vorerst vernachlässigt werden.

Befindet sich ein Sensor permanent im aktiven Empfangsmodus, ist seine Batterie nach zwei Tagen leer (1000 mAh / 21 mA = 47 Stunden).

Chipgeneration	Ruhestrom (μ A)	Senden (mA)	Empfangsbereit (mA)
100	31	25	21
200 (seit 2005)	2.5	36	21
300 (seit 2007)	2.5	36	21
400 (seit 2009)	1	23	21

Tabelle 4.2 Stromaufnahme von Z-Wave-Chips

³ Da eine Batterie Gleichstrom liefert und die Ladespannung mit ca. 1.5 V bei Standardzellen konstant ist, ist die Angabe der Energie in mAh üblich, wiewohl physikalisch falsch. Die Speicherleistung eines Energieträgers muss eigentlich in Wh angegeben werden. Mit 1.5 V Spannung entspricht 1 mAh 1.5 mWh.

Es ist also zwingend, einen Sensor in den Schlafzustand zu versetzen. Die maximale Batterielebenszeit im permanenten Schlafzustand für die angenommene Konfiguration liegt bei 45 Jahren ($1000 \text{ mAh} / 0,0025 \text{ mA} = 400.000 \text{ Stunden} = 16.666 \text{ Tagen}$)..In dieser Zeit werden selbst Alkaline-Batterien durch Selbstentladung unbrauchbar geworden sein.

Wird ein Batteriegerät nach dem Aufwachen durch den Controller nicht sofort wieder in den Schlafzustand versetzt, bleibt es nach jedem turnusmäßigen Aufwachen ca. eine Minute aktiv. Es wird eine Sendezeit von 1 % der Empfangszeit angenommen, was den Anforderungen des Funkstandards entspricht. Das programmierte Aufwachintervall entscheidet, wie lange die Batterie zur Verfügung steht:

Aufweckintervall	Batterielebenszeit
120 Sekunden	4 Tage
1800 Sekunden = 30 Minuten (üblich)	118 Tage
24 Stunden	2439 Tage

Tabelle 4.3

Die Laufzeit von 118 Tagen (unter Vernachlässigung aller Sendevorgänge und lokalen Aktionen wie Blinken einer LED, Bewegen eines Motors etc.) ist immer noch inakzeptabel. Es ist daher zwingend notwendig, einen statischen Controller zum Management batteriebetriebener Geräte einzusetzen, der permanent aktiv ist.

Wird ein Controller entsprechend programmiert, das Batteriegerät nach jeder Aufwachbenachrichtigung nach Absenden der Kommandos in der Mailbox sofort wieder in den Schlafzustand zu versetzen und damit sehr kurze Aufwachzeiten zu ermöglichen, werden akzeptable Batterielaufzeiten für typische Aufwachintervalle von 1800 Sekunden (= 30 Minuten) erreicht. Für diese Abschätzung wird die Sendezeit mit 50 % der Empfangszeit angenommen und die komplette Kommunikation in 50 ms abgewickelt.

Aufwachintervall	Batterielebenszeit
120 Sekunden	59 Tage
1800 Sekunden = 30 Minuten (üblich)	850 Tage
24 Stunden	12400 Tage

Tabelle 4.4

Diese Zeiten sind Optimalwerte unter der Annahme, dass keinerlei Strom für die eigentlichen Funktionen des batteriebetriebenen Gerätes benötigt wird. In der Realität ist es angemessen, diese Werte mit dem Faktor 50 % zu korrigieren. Ein typischer solide programmierter Sensor (zum Beispiel Türkontakt) ohne massiven zusätzlichen Energieverbrauch für Stell- oder Überwachungselektronik wird mit einer üblichen Batterieausstattung mindestens einem Jahr mit Strom versorgt.

Dazu ist aber das Vorhandensein eines statischen Controllers zwingend, der eine entsprechende Überwachungsfunktion realisiert und die batteriebetriebenen Geräte nach einer eventuellen Kommunikation umgehend wieder in den Schlafzustand versetzt. Wird ein Z-Wave-Netz mit nur einem portablen Controller, sprich Fernbedienung, realisiert, die selbst in der Regel im Schlafzustand ist und andere Batteriegeräte damit nicht schnell wieder in den Schlafzustand schalten kann, gelten die deutlich schlechteren Werte aus Tabelle 4.3.

All diese Abschätzungen betreffen nur batteriebetriebene Slaves. Batteriebetriebene Controller (Fernbedienungen) sind nur beim Betätigen einer Taste aktiv und wachen in der Regel nicht in definierten Intervallen auf. Hier hängt die Lebensdauer der Batterie nur von den Alterungseffekten der Batterie und dem Nutzungsverhalten ab.

4.4. Gruppen, Szenen und Assoziationen

Die Grundfunktion eines Z-Wave-Netzes ist das drahtlose Steuern einzelner Z-Wave-Geräte mittels wiederum anderer Z-Wave-Geräte. Seine eigentliche Mächtigkeit spielt ein solches Netz aber erst dann aus, wenn eine Vielzahl von Devices in komplexeren Konfigurationen miteinander kommunizieren und in Abhängigkeit von definierten Randbedingungen Schaltvorgänge auslösen.

4.4.1. Assoziationen

In einem Z-Wave-Netz kommunizieren Controller mit Slaves. Controller senden bestimmte Befehle zum Schalten von Zuständen und empfangen Sensorsignale (Letztere nur von Routing-Slaves).

Sinnvolle Funktionen eines Netzes beinhalten aber auch Abhängigkeiten zwischen zwei Slaves. Ein Beispiel: Ein Z-Wave-Gerät realisiert einen Bewegungsmelder, ein zweites Gerät ist ein Stromschalter, der von einer Fernbedienung aus geschaltet werden kann. Der Schalter soll betätigt werden, sobald der Bewegungsmelder eine Bewegung erkennt.



Abbildung 4.11: Kleines Z-Wave-Netz mit Assoziation

Es ist natürlich möglich, dass der Bewegungsmelder ein entsprechendes Signal an den Controller sendet, der dann wiederum ein Signal an den Schalter generiert. Dies bedeutet aber, dass

- der Controller als zusätzliche Fehlerquelle ins Spiel kommt,
- die Kommunikation länger dauert,
- der Controller ein statischer Controller sein muss, der immer auf Signale des Bewegungsmelders lauscht.

Mittels einer Assoziation kann der Bewegungsmelder sein Signal direkt und ohne Umweg über den Controller an den Schalter senden. Dies ermöglicht den Einsatz eines Bewegungsmelders oder eines anderen Sensors auch in Netzen, die nicht über einen statischen Controller verfügen, es spart Zeit, reduziert Aktivität auf der Funkfrequenz und reduziert die Komplexität des Netzes.

Da ein Knoten die Route zum assoziierten Gerät kennen muss, kann nur ein Routing Slave oder ein Controller andere Geräte assoziieren. Um eine Assoziation durchführen zu können, benötigt das Gerät die Adresse (Node-ID) des zu assoziierenden Devices.

Dies kann auf zwei verschiedenen Wegen geschehen:

Direkte Assoziation:



Abbildung 4.12: direkte Assoziation

Das steuernde Gerät wird in den Assoziationsmodus geschaltet und erwartet ein Signal von dem zu assoziierenden Gerät. Dies ist ein Node Information Frame, das durch eine geeignete Aktion (ein oder mehrere Tastendrucke) am zu assoziierenden Gerät abzusenden ist. Das Gerät erkennt seinen

Kommunikationspartner und vermerkt dessen Node-ID in seiner Liste der zu benachrichtigenden Geräte. Da der Node Information Frame direkt vom zu assoziierenden Gerät empfangen wurde, muss dieses Gerät in direkter Nachbarschaft sein. Es ist daher keine Information über eine Route zu diesem Gerät notwendig.

Indirekte Assoziation (engl. Assigned Association):

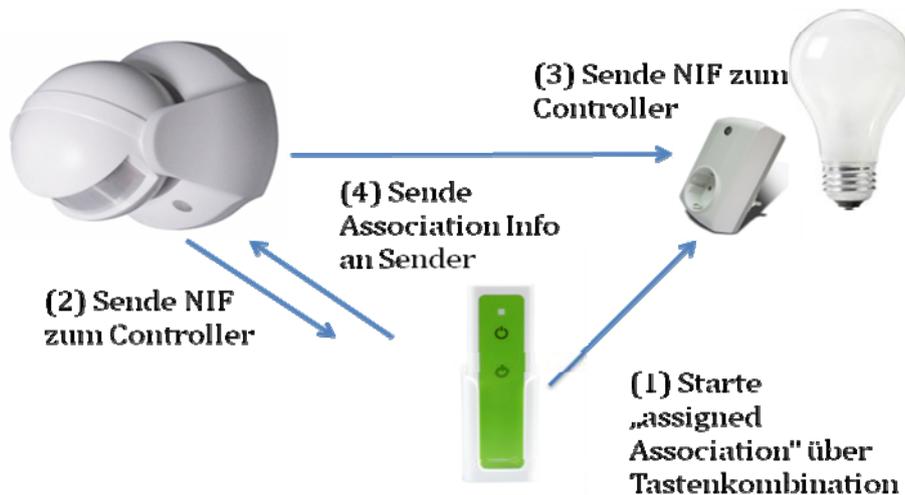


Abbildung 4.13: Indirekte Assoziation

Ziel der indirekten Assoziation ist es, Geräte miteinander zu verbinden, die nicht in direkter Nachbarschaft sind. Dies kann nur von einem Controller durchgeführt werden, der in Besitz einer kompletten Routingtabelle ist und damit die direkte Route zwischen den beiden Kommunikationspartnern kennt.

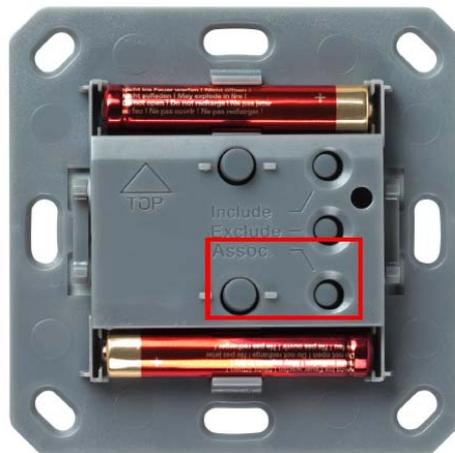


Abbildung 4.14: Taster zur Assoziation an einem Wandcontroller

Der Controller wird durch entsprechende Kommandos (Taste auf Controller oder Schaltfläche in PC-Software) in den Modus zur Durchführung einer indirekten Assoziation geschaltet. Er erwartet nun einen Node Information Frame von (1) – der Quelle der zu errichtenden Assoziation (in unserem Beispiel der Bewegungsmelder) – und danach vom Zielknoten der Assoziation (2).

Hat er von den beiden Kommunikationspartnern Kenntnis erlangt, teilt er der Quelle der Assoziation (1) die Node-ID des Partners und (2) eine Route zu diesem Knoten mit. Ein Knoten gibt in seinem Node Information Frame durch Angabe der Kommandoklasse „Assoziation“ bekannt, dass er Assoziationen unterstützt.

Knoten können in der Lage sein, mehrere andere Knoten bei Vorliegen eines bestimmten Ereignisses zu informieren und verschiedene Gruppen von Knoten bei verschiedenen Ereignissen zu unterscheiden. Knoten, die gemeinsam bei einem Vorgang eine Nachricht erhalten, werden in Gruppen zusammengefasst. Die Anzahl verschiedener Gruppen und die maximale Anzahl von Kommunikationsknoten pro Gruppe ist ein Leistungsmerkmal eines Z-Wave-Gerätes.

Ein Beispiel für ein Z-Wave-Gerät mit Assoziation wäre ein Wandtaster mit zwei Schaltflächen.



Abbildung 4.15: Wandschalter mit zwei Schaltflächen

Hier sollten mindestens zwei verschiedene Assoziationsgruppen vorhanden sein, eine für das Betätigen des linken und eine für das Betätigen der rechten Schaltwippe. Viele Hersteller bieten noch mehr Assoziationsgruppen an: Bei Doppelklick einer Schaltfläche, bei gemeinsamen Klicken beider Schaltflächen etc.

Die Anzahl der Ziel-Knoten pro Gruppe ist meist auf fünf beschränkt. Diese Begrenzung ist durch den Speicherplatz im Z-Wave-Gerät selbst bestimmt, je nach Gerät können also auch deutlich mehr Knoten einer Gruppe zugeordnet werden. Ist ein Knoten einer Schaltfläche als Assoziationsziel zugeordnet, wird ein entsprechendes Signal beim Betätigen der Schaltfläche ausgesandt und eine bestimmte Aktion beim Zielgerät ausgelöst.

Um eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte zu unterstützen, werden bei Assoziationen meist nur Kommandos der BASIC-Kommandoklasse versendet. Es gibt allerdings auch Hersteller, die spezielle Kommandos zum Dimmen oder zur Jalousiesteuerung per Assoziation versenden. Diese Kommandos müssen in dem Gerät gegebenenfalls über Konfigurationskommandos eingestellt werden.

Die Inclusion sorgt dafür, dass ein Knoten in ein bestimmtes Netz eingebunden wird. Die Assoziation legt Start- und Zielpunkte der Kommunikation fest, sodass ein Knoten auch sinnvoll im Netz kommunizieren

kann. Assoziationen werden also auch benötigt, um Geräte mit speziellen Tasten einer Fernbedienung zu verbinden.

4.4.2. Gruppen

Es ist möglich und in der Regel auch üblich, mit verschiedenen Tasten oder Schaltflächen bei einem Z-Wave-Controller (z.B. einer Z-Wave Fernbedienung) mehrere verschiedene Geräte zu steuern. Z-Wave-Geräte werden in einen Controller auch zu Gruppen zusammengefasst, die gemeinsam von einem Taster aus geschaltet werden. Die Handbücher von Z-Wave-Fernbedienungen beschreiben, wie einzelne Geräte diesen Gruppen zugeordnet werden. Da alle Geräte danach das gleiche Schaltkommando erhalten, ist es nur sinnvoll, gleichartige Geräte wie zum Beispiel Schalter oder Dimmer in einer Gruppe zusammenzufassen. Wird neben den Schaltern zum Beispiel ein Jalousiecontroller eingebunden, führt dies im besten Falle zu unvorhersehbaren Ergebnissen.

Wie bei der Assoziation versenden Fernbedienungen meist auch nur Basic-Kommandos, die dann von verschiedenen Geräten unterschiedlich interpretiert werden. Dies hat den Vorteil, dass verschiedene Geräte miteinander in eine Gruppe gesetzt werden können, die damit realisierbare Funktion ist dann allerdings auch nur „basic“.

Tipp: Die meisten Z-Wave Fernbedienungen kennen grundsätzlich nur eine Gruppenschaltfunktion und beschreiben gar nicht das Schalten eines einzelnen Gerätes von der Fernbedienung aus. Ist das Schalten eines einzelnen Geräts gewünscht, lässt sich dies über eine Gruppe mit nur einem Gerät lösen.

Es ist selbstverständlich möglich, ein physisches Gerät mehreren Gruppen zuzuordnen. Für den Benutzer einer Fernbedienung ist die Nutzung von Gruppen und Assoziation ein identischer Vorgang. Hersteller von Fernbedienungen vereinfachen häufig die Bedienung ihres Gerätes, in dem sie Assoziation und Inclusion in einen Schritt verbinden. Der Nutzer assoziiert einfach ein Gerät mit einer Taste der Fernbedienung. Ist das Gerät noch nicht im Netz inkludiert, geschieht dies automatisch.

4.4.3. Szenen

Das Definieren und Nutzen einer Szene ist das mächtigste Werkzeug der Z-Wave-Controller. Wie eine Gruppe fasst auch eine Szene verschiedene Z-Wave-Geräte zu einer Einheit zusammen. Im Gegensatz zur Gruppe definiert die Szene aber für jedes einzelne Gerät, welche Aktion es beim Aktivieren einer Szene durchzuführen hat. Damit können verschiedene Geräteklassen gemischt werden, da jedes Gerät individuell beim Aktivieren der Szene einen vorher definierten Befehl erhält.

Als Beispiel wäre eine Abendsszene denkbar, bei der das Außenlicht ausgeschaltet, das Innenlicht mittels eines Dimmers auf angenehme 75% gedimmt und die Jalousien heruntergefahren werden. Da Szenen sehr flexibel sind und durch die geräteindividuelle Steuerung auch viel Speicher verbrauchen, ist die Anzahl unterstützter Szenen in Fernbedienungen in der Regel deutlich begrenzt gegenüber der Anzahl unterstützter Gruppen. Statische von einem PC aus programmierbare Controller erlauben dagegen meist eine beliebige Anzahl programmierbarer Szenen.

4.4.4. Vergleich von Gruppen, Szenen und Assoziationen

Gruppen, Szenen und Assoziationen sind verschiedene Wege, Schaltfunktionen in einem Z-Wave-Netz zu realisieren. Sie ergänzen sich gegenseitig.

	Realisiert in	Funktion
Assoziationen	Slaves	Senden von Steuersignalen von einem Slave direkt zu einem oder mehreren Geräten (Slaves oder Controller)
Gruppen	Slaves und Controllern	Zusammenfassung mehrerer Geräte, die eine gleiche Steuernachricht erhalten (von Slaves oder Controllern)
Szenen	Controllern	Definition verschiedener Schaltzustände von Geräten in einem Controller. Deren Aktivierung führt dazu, dass verschie-

		denen Geräten individuell verschiedene Steuersignale gesendet werden
--	--	--

Tabelle 4.5

4.5. Arbeiten mit IP-Gateways

IP-Gateways ermöglichen eine sehr anwenderfreundliche Konfiguration eines Z-Wave-Netzes. Ein zentraler statischer Controller ist über das Internet bedienbar und ermöglicht die Steuerung der Hausfunktionen mittels eines Webbrowsers oder sogar über Mobiltelefone wie das iPhone.

Die Nutzerschnittstelle über das Internet ermöglicht ein bequemes Bedienen der Grundfunktionen eines Z-Wave-Netzes wie

- Inclusion und Exclusion,
- Setzen und Löschen von Assoziationen,
- Anzeigen von Schaltzuständen und Sensorwerten,
- Konfiguration von Z-Wave-Geräten,
- Überprüfen der Verfügbarkeit von Z-Wave-Geräten (polling),
- Gruppierung von Z-Wave-Geräten und
- Funktionen zum Netzwerkmanagement wie Netzwerkneuorganisation etc.

durchzuführen. Darüber hinaus bieten diese Gateways Schnittstellen zum Nutzermanagement und zum Zugriff über mobile Endgeräte vom Internet aus. Geräte können zu einer besseren Übersicht verschiedenen definierbaren Räumen zugeordnet werden oder auf einem ladbaren oder selbst erstellbaren Übersichtplan dargestellt werden.

Die zentrale und leistungsfähigste Funktion von statischen IP-Gateways ist die Definition und die Aktivierung von Szenen. Szenen definieren einen bestimmten Schaltzustand (Schalter an/aus, Dimmer auf einen bestimmten Prozentwert gedimmt, Fensterjalousien zu/auf) für eine Anzahl von Geräten. Szenen können für das gesamte Haus oder das gesamte Netzwerk definiert werden. Für jedes Z-Wave-Gerät kann entweder ein bestimmter Wert vorgegeben werden oder sie gelten können nur für bestimmte Geräte.

Szenen werden einmal definiert und dann in Abhängigkeit von verschiedenen Ereignissen aktiviert, zum Beispiel

- das Erreichen eines bestimmten Sensorwertes (Beispiel: Öffne Fenster, wenn CO₂-Gehalt > 1000 ppm)
- das Aktivieren eines bestimmten Schalters (Beispiel: alle elektrischen Verbraucher ausschalten, wenn „alles aus“ Taster an der Wohnungstür gedrückt.)
- das Erreichen einer bestimmten Tageszeit (Beispiel: schließe alle Jalousien 30 Minuten nach Sonnenuntergang)
- Eine logische Verknüpfung von Ereignissen (Beispiel: schalte Außenlicht an, wenn Zeit zwischen 18.00 und 6.00 Uhr UND Szene „Niemand zu Hause“ aktiv ist.

Letzteres Beispiel zeigt, dass manche IP-Gateway auch ermöglichen, mehrere Szenen parallel zu aktivieren. In diesem Falle ist allerdings immer zu überprüfen, dass keine miteinander in Konflikt stehenden Schaltbefehle definiert werden.

Abbildung 4.16 Dialog zum Setup on Szenenaktivierung durch zeitabhängige Variable

Neben dem Schalten von Z-Wave-Geräten können Szenen weitere Funktionen auslösen wie z.B. das Senden einer E-Mail oder SMS an eine

vorher festgelegte Adresse bzw. Telefonnummer.

In Konfigurationen mit statischen IP-Gateways existieren jedoch drei Problemfelder, die näher erläutert werden müssen:

1. Rückmeldung von Statusänderungen an Geräten (Einschalten oder Ausschalten), die nicht durch das Gateway selbst sondern durch eine lokale Bedienung hervorgerufen wurden
2. Assoziationen, die nicht über das Gateway eingerichtet werden sondern direkt zwischen zwei Z-Wave-Geräten hergestellt werden.
3. das Umschalten von Szenen mittels Z-Wave-Controller im Allgemeinen und Z-Wave-Fernbedienung im Speziellen.

4.5.1. Rückmeldungen von Statusänderungen

Benutzer möchten an der graphischen Benutzeroberfläche (Webbrowser oder Mobiltelefon) gern eine Übersicht über die Schaltzustände aller Geräte im Z-Wave-Netz sehen. Werden Geräte direkt vom Gateway aus geschaltet, so registriert der Gateway die Änderung des Schaltzustandes und wird diesen entsprechend anzeigen.

Die meisten Z-Wave-Geräte ermöglichen jedoch auch ein direktes Schalten am Gerät über einen Taster. In diesem Falle schaltet das Gerät in einen anderen Zustand, der Gateway wird darüber aber nicht informiert.

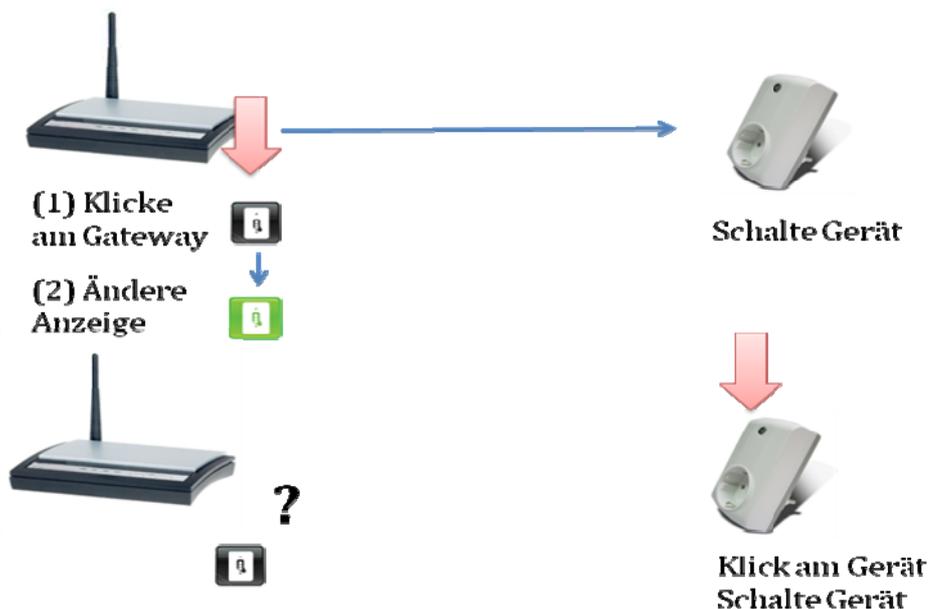


Abbildung 4.17: Fehlende Rückmeldung bei lokalen Schalten von Geräten

Nun wäre es leicht möglich, Z-Wave-Geräte so zu konfigurieren, dass jede Änderung des Schaltzustandes an ein Gateway gemeldet wird. Diese an sich naheliegende Funktion eines Z-Wave-Gerätes steht aber in Konflikt mit einem Patent, das auf eine Technologie vergeben wurde, die mit Z-Wave im Wettbewerb steht.

Das Lutron-Patent

Unter der Patentnummer 5.905.422 hat das US-amerikanische Unternehmen Lutron bereits 1996 ein Verfahren zum Steuern von elektrischen Geräten über ein Funknetz zum Patent angemeldet.

Das Patent bezieht sich sehr konkret auf Funknetze, in denen Signale geroutet werden. Damit ist es weniger für die Vielzahl einfacherer Protokolle und Produkte relevant, die ohne Routing auskommen, für Z-Wave aber sehr wohl.

Im entscheidenden Patentanspruch #1 wird folgende Anordnung geschützt:

1. *Apparatus for controlling at least one electrical device by remote control comprising:*
 - at least one control device coupled to the electrical device by a wire connection for providing power to the electrical device, the control device having a controllably conductive device for adjusting the status of said electrical device, **the control device further having a manual actuator for adjusting the status of the electrical device**, the control device further having a radio frequency transmitter/receiver and antenna coupled thereto for adjusting the status of the electrical device in response to control information in a radio frequency signal, the transmitter/receiver being coupled to the antenna of the control device for receiving the radio frequency signal and for transmitting **a status radio frequency signal having status information therein regarding the status of the electrical device as affected by the control information and the manual actuator**;*
 - a master control unit having at least one actuator and status indicator thereon, the master unit comprising a transmitter/receiver for transmitting a radio frequency signal having the control information therein to control the status of said at least one electrical device and for receiving the status information from the control device, **the status indicator indicating the status of the electrical device in response to the status information**; and*
 - a repeater transmitter/receiver for receiving the radio frequency signal from the*

master unit and transmitting the control information to the control device and for receiving the status information from the control device and transmitting the status information to the master unit.

Das Senden eines Statussignals bei Änderung eines Schaltzustandes ist also eine Verletzung dieses Patentes. Dies führt dazu, dass die meisten Hersteller von Z-Wave-Geräten eine solche Funktion absichtlich nicht implementiert haben. Die Folge ist, dass eine lokale Bedienung dieser Geräte vom Gateway nicht erkannt werden kann und damit zu einer falschen Darstellung des Schaltzustandes dieses Gerätes führt.

Mittlerweile haben einige Hersteller einen Weg gefunden, dass Patent sinnvoll zu umgehen. Entsprechende Schalter oder Dimmer beinhalten eine Assoziationsfunktion. Der lokale Schalter wird damit neben der eigentlichen Geräteschaltfunktion zum Controller für ein anderes Z-Wave-Gerät.

Ein IP-Gateway erkennt bei der Inclusion, dass ein Z-Wave-Produkt eine Assoziationsmöglichkeit bietet und wird sich selbst als Ziel einer solchen Assoziationsfunktion in dem betreffenden Gerät registrieren. Es nutzt dazu die Funktion der indirekten Assoziation (assigned association).

Das Gateway muss sich gegenüber dem schaltenden Gerät wie ein normaler Schalter verhalten, d.h. zumindest die Basic-Geräteklasse simulieren. Ein empfangener Schaltbefehl wird als Indikator für einen geänderten Schaltzustand im Gerät interpretiert und entsprechend zur Anzeige gebracht. Leider unterstützen noch nicht alle Z-Wave-Geräte diese Funktion zum Senden eines Schaltbefehles bei lokaler Bedienung.

4.5.2. Controller zum Umschalten von Szenen

Das Umschalten von Szenen durch einen Sekundärcontroller ist eine sehr wünschenswerte Funktion eines IP-Gateways. Dazu muss der IP-Gateway eine Information über das Betätigen eines Tasters von einem Controller erhalten. Um diese Funktion zu realisieren, existieren im Z-Wave-Protokoll mehrere Wege, die von verschiedenen Z-Wave-Geräten in unterschiedlicher Weise implementiert und damit für den Einrichter eines Netzes zur Herausforderung werden.

Assoziation

Eine Assoziation impliziert das Senden eines Schaltkommandos von einem Z-Wave-Gerät. Schaltkommandos können dabei durch einen Sensor ausgelöst werden (zum Beispiel ein Bewegungssensor) oder schlicht mittels Drücken einer Taste auf der entsprechenden Fernbedienung.

Um das Aktivieren einer Szene in einem IP-Gateway mittels einer Assoziation zu realisieren, muss das IP-Gateway sich selbst als Ziel der Assoziationsbeziehung in das sendende Gerät eingetragen haben. Dies geschieht bei den meisten IP-Gateways während der Inclusion und anschließenden Konfiguration automatisch. Das Gateway interpretiert dann alle Schaltbefehle von dem assoziierten Gerät als mögliche Aktivierungsbefehle für Szenen und schaltet eine Szene entsprechend dem konfigurierten Verhalten.

Damit stehen Bewegungsmelder oder andere Geräte im Nutzerdialog zum Aktivieren einer Szene meist direkt nach der Inclusion als Datenquelle zur Verfügung.

Das Szenenumschalten durch Assoziation hat jedoch zwei wesentliche Einschränkungen.

1. Das Gateway setzt die Assoziation „aus der Ferne“ als indirekte Assoziation (assigned association). Während das bei Slaves problemlos funktioniert, kann diese Funktion bei Fernbedienungen zu Fehlern führen. Fernbedienungen sind im Hinblick auf eine Maximierung ihrer Batterielaufzeit entworfen. Sie werden in der Regel direkt nach der Inclusion wieder in den Schlafzustand schalten und nur bei Drücken einer lokalen Taste aktiv sein. Es ist also sehr wahrscheinlich, dass das Kommando zum Setzen einer Assoziation von einer Fernbedienung schlicht ignoriert wird. Es existieren auch Fernbedienungen, die das Setzen einer Assoziation aus der Ferne vom Gateway aus nicht unterstützen. Eine Lösung wäre hier, die Assoziation als direkte Assoziation von der Fernbedienung aus zu setzen. Dazu müsste jedoch das IP-Gateway über eine lokale Schaltmöglichkeit verfügen, die zum Aussenden eines Node Information Frame führt. Die meisten IP-Gateways verfügen nicht über

diese Funktion.

2. Das Assoziationskommando ist in der Regel ein Basic-Kommando, das nur die Werte 0 (keine Taste gedrückt) oder 1 (Taste gedrückt) kennt. Solange der entsprechende Controller nur über eine einzige Taste verfügt oder nur einen einzigen Schaltzustand signalisiert, erkennt das IP-Gateway den Befehl und kann das Umschalten einer Szene direkt einem Betätigen des Tasters an einem Controller zuordnen. Verfügt der Controller über mehrere Taster, ist das Gateway nicht mehr in der Lage, zwischen den verschiedenen Tasten zu unterscheiden, da immer nur ein und dasselbe Basic-Kommando von dem Gerät gesendet und vom IP-Gateway empfangen wird. Für Fernbedienungen mit mehreren Tasten ist das Szenenumschalten mittels Assoziationen daher wenig brauchbar.

Szenenkonfiguration

Es existieren Z-Wave-Controller (meist Fernbedienungen), die speziell zum Umschalten von Szenen in statischen Gateways und Slaves entwickelt wurden. Diese Controller verfügen über eine spezielle Kommandoklasse zum Konfigurieren und Aktivieren von Szenen (SCENE_CONTROLLER_CONF). IP-Gateways werden diese Kommandoklasse erkennen und die Fernbedienung entsprechend konfigurieren. Als Ergebnis stehen im Auswahldialog zur Szenensteuerung eines statischen Gateways die verschiedenen Tasten als Schalt-Variable zur Verfügung. Leider sind erst neuere Fernbedienungen in der Lage, direkt Szenen umzuschalten.

Szenenreplikation

Fernbedienungen können auch selbst komplette Szenen – das heißt eine Anzahl von vordefinierten Schaltzuständen von inkludierten Geräten – verwalten. Es ist also möglich, eine Szene in einem statischen Gateway zu definieren und die Szeneninformation dann komplett auf die steuernde Fernbedienung zu laden. Als Resultat würde diese Fernbedienung dann bei Betätigung von speziellen Szenensteuertasten direkt alle zur Szene gehörenden Geräte schalten und gegebenenfalls das Gateway über die Aktivierung der Szene informieren.

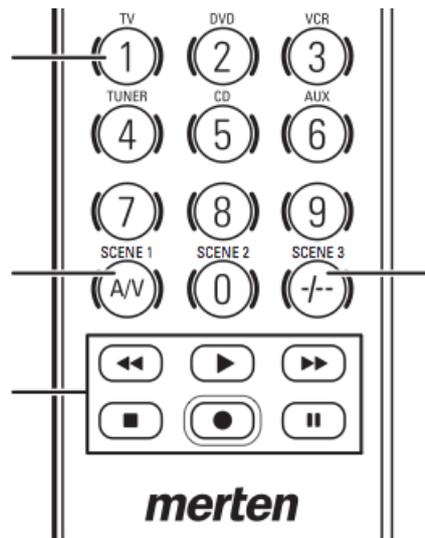


Abbildung 4.18: Szenen-Steuertasten auf einer Universal-Fernbedienung

Die Szenenreplikation ist ebenfalls nur in wenigen Fernbedienungen korrekt implementiert. Das Z-Wave-Protokoll lässt den Herstellern an dieser Stelle leider sehr viel Freiraum. Als Resultat ist diese Möglichkeit zur Szenensteuerung zwar laut Protokoll vorhanden, wird in der Praxis aber kaum genutzt.

Doppelte Inclusion

Bei der Konfiguration der Szenenaktivierung durch Z-Wave-Controller existiert ein Henne-Ei-Problem. Im Konfigurationsdialog kann der entsprechende portable Z-Wave-Controller als Schalloption nur angezeigt werden, wenn er vorher vom statischen Gateway inkludiert wurde. Da ein – meist batteriebetriebener – portabler Z-Wave-Controller nur bei der Inclusion definiert mit dem Gateway kommuniziert und danach nur beim Drücken einer Taste aktiv ist, muss die Konfiguration der Szeneninformation zusammen mit der Inclusion erfolgen.

Als Resultat muss ein portabler Controller zum Szenenumschalten am statischen Gateway immer zweimal inkludiert werden. Nach der ersten Inclusion erscheint der Controller im Dialog zur Szenenaktivierung und wird dort entsprechend konfiguriert. Die konfigurierten Werte sind dem Controller danach aber noch nicht bekannt. Bei einer erneuten Inclusion erkennt der statische Gateway, dass der betreffende Controller bereits inkludiert ist und nutzt die sich bietende Gelegenheit, den Controller entsprechend dem

Szenendialog zu konfigurieren.

Für die Szenenaktivierung gelten also folgende Grundregeln:

1. Das direkte Steuern von Szenen ist der beste Weg zur Szenenaktivierung in einem IP-Gateway, jedoch bieten nur wenige portable Controller diese Funktion an.
2. Das Programmieren einer kompletten Szene durch den Gateway direkt in einen portablen Controller kann eine Möglichkeit sein, eine Szenenumschaltung mittels dieses Controllers zu realisieren. Dieses Programmieren ist jedoch sehr unsauber spezifiziert und wird ebenfalls nur von wenigen Controllern unterstützt.
3. Assoziationen werden von den meisten Controllern unterstützt. Sie können allerdings nur genutzt werden, wenn nur ein Taster oder ein Sensor am Gerät vorhanden ist.
4. Assoziation lassen sich vom Gateway aus bequem setzen oder werden von den meisten Gateways sogar automatisch gesetzt. Leider unterstützen viele batteriebetriebene portable Controller das Setzen einer Assoziation durch einen anderen Controller nicht. Eine Lösung ist das Setzen der Assoziation durch den betreffenden tragbaren Controller selbst. Dies wird wiederum von einigen statischen Gateways nicht unterstützt.

IP-Gateways werden immer versuchen, einen sinnvollen Weg zum Umschalten von Szenen durch portable Controller anzubieten. Die verschiedenen Wege sowie die teilweise ungenaue Spezifikation führen in der Praxis häufig zu Problem. Eine zweifache Inclusion des tragbaren Controllers am IP-Gateway ist immer notwendig.⁴

4.5.3. Automatische Konfiguration von Geräten durch das Gateway und direkte Assoziationen zwischen Geräten

Bei einer Inclusion wird das statische IP-Gateway meist alle notwendigen

⁴ Im Anhang wird eine Übersicht europäischer batteriebetriebener Z-Wave-Controller mit ihren jeweiligen Möglichkeiten zum Szenenschalten bei statischen IP-Gateways gegeben.

Konfigurationseinstellungen automatisch vornehmen und alle für den Nutzer interessante Daten aus dem inkludierten Gerät auslesen:

- Der Gerätehersteller sowie Informationen über die Softwareversionen des Gerätes werden ermittelt, wenn das inkludierte Gerät diese Informationen bereitstellt.
- Die Anzahl der angebotenen Assoziationsgruppen bei Controllern und Routing-Slaves wird ermittelt und das Gateway setzt sich selbst als Ziel dieser Assoziationen in alle Gruppen.
- Für batteriebetriebene Geräte wird das Wakeup-Interval festgelegt.

Über die automatisch eingestellten Assoziationen hinweg ist es immer möglich, weitere Assoziationen direkt zwischen Geräten zu setzen. Hierbei sollte die vom IP-Gateway meist bereitgestellte Funktion zum Setzen von Assoziationen genutzt werden, damit der IP-Gateway von der Existenz dieser Assoziation Kenntnis hat. Andernfalls können Fehlfunktionen auftreten.

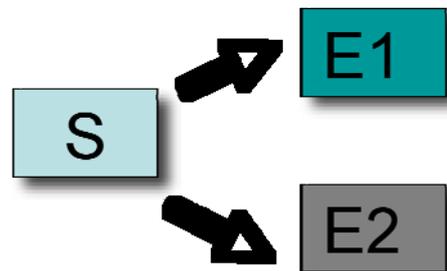
5. Z-Wave in der Praxis

In diesem Kapitel werden einige praktische Hinweise zum Aufbau und zum Betrieb von Z-Wave-Netzen gegeben, die helfen, typische Fehler und Fehlinterpretationen zu vermeiden.

5.1. *Prinzipielle Vorgehensweise bei Z-Wave – „Quick Start Guide“*

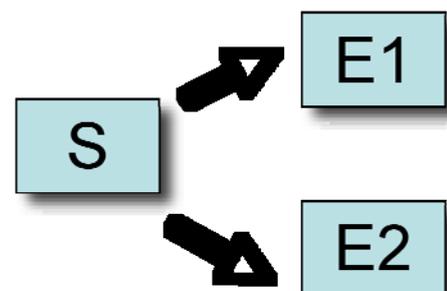
Der Aufbau und Ausbau eines Z-Wave-Netzes erfolgt grundsätzlich immer in vier Schritten:

(1) Sie wählen die Produkte anhand der gewünschten Funktionen aus und installieren diese – sofern sie fest installiert werden müssen – an ihrem Bestimmungsort. Die Geräte werden mit Strom versorgt, können aber noch nicht miteinander kommunizieren und damit auch keine sinnvollen Funktionen



ausführen. Jedes Netz besteht immer aus mindestens einem Controller (S = Sender) und einer Reihe von Z-Wave-Slaves (Empfänger = E). Controller steuern Slaves oder Sender steuern Empfänger.

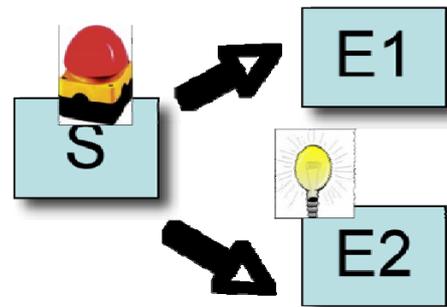
(2) Im nächsten Schritt müssen sich alle beteiligten Geräte (Sender und Empfänger) untereinander „kennenlernen“, um ein gemeinsames Netz zu formen. Hier spricht man dann von Inclusion. Danach sprechen alle Geräte quasi eine Sprache, können aber noch keine Funktionen ausführen. Die



Inclusion startet immer der Sender, indem er durch eine bestimmte Taste oder Tastenkombination in den Anlernmodus geschaltet wird. Die Empfänger

werden dem Sender dann durch Drücken einer Taste (einmal oder 3-mal) bekannt gemacht. Erfolgreiches Anlernen wird meist durch eine blinkende LED oder ähnliches signalisiert. Näheres steht in den Bedienungsanleitungen der Controller.

(3) Danach werden die konkreten Schaltfunktionen der Empfänger den gewünschten Tastern der/des Senders zugeordnet. Dieser Vorgang heißt Zuordnung (engl. Assoziation) und geht wiederum vom Controller aus, der durch bestimmte Tasten oder Tastenkombinationen in den Zuordnungsmodus geschaltet wird. Bei den Empfängern wird das Zuordnen durch Drücken eines Tasters quittiert (weitere Angaben in den Bedienungsanleitungen der Controller und der Empfänger). Als Ergebnis wird eine Aktion am Controller (z.B. das Drücken einer Taste) eine Aktion an einem Slave (z.B. das Schalten einer Lampe) auslösen



(4) Fertig! Nach der Einbindung der Geräte in ein Netz und der Zuordnung der Funktion der einzelnen Empfänger zu Tasten des Senders kann das Z-Wave-Netz genutzt und durch Wiederholen der Schritte eins bis drei weitere Geräte hinzugefügt werden.

5.2. Auswahl der Geräte

5.2.1. Controller

Die Auswahl der Z-Wave-Geräte erfolgt anhand der gewünschten Funktion des Netzes. Gesteuert wird ein Z-Wave-Netz immer entweder von statischen (Software auf PC, dedizierter Gateway) oder portablen (Fernbedienung) Controllern.

Die Steuerung allein durch eine Fernbedienung ist nur dann sinnvoll, wenn

- nur wenige Geräte (Faustformel: weniger als 10) gesteuert werden sollen bzw. sich alle Geräte in kurzer Entfernung von der Fernbe-

- dienung bei Steuerung befinden;
- keine batteriebetriebene Geräte wie Bewegungsmelder, etc. genutzt werden sollen;
 - keine zeitabhängigen automatisierten Funktionen erfolgen sollen, wie zum Beispiel das Steuern von Jalousien zu bestimmter Zeit,

Ansonsten empfiehlt sich der Einsatz eines statischen Controllers, beispielsweise eines IP-Gateway (mit Steuerung über einen Webbrowser), oder einer Softwarelösung auf einem PC. Beim Einsatz einer Software wird zusätzlich ein Z-Wave-PC-Adapter benötigt. Ist der PC jedoch nicht permanent aktiv, so gelten die Einschränkungen für Netze mit Fernbedienung.

5.2.2. Slaves

Portable Schalter und Dimmer, auch „Smart Plugs“ oder Schuko-Plugs genannt, sind recht unkritisch. Hier sind lediglich die maximale Schaltleistung, das Dimmerprinzip und gegebenenfalls Designfragen zu berücksichtigen. Bei fest zu installierenden Schaltern und Dimmern steht meist die Designfrage im Vordergrund, da diese Schalter in Form und Farbe mit bestehenden Schaltern und Steckdosen harmonisieren sollen. Verschiedene Hersteller bieten hier Schalter- und Dimmer in verschiedenen Farben und Formen an.

Es ist auch möglich, bereits installierte klassische Stromschalter zu Z-Wave-Steuerschaltern umzubauen. Dafür existieren entsprechende Erweiterungsprodukte, die hinter den Originalschaltern montiert und von diesen gesteuert werden. Dafür ist allerdings entsprechender Platz in der Unterputzdose notwendig.

5.3. Hinweise zur Installation von Z-Wave-Netzen

Bei der Installation und Montage von Z-Wave-Geräten sind folgende Anforderungen zu betrachten:

- keine Verwendung von Metall-Wanddosen: Diese schirmen das Funksignal stark ab.
- die Beachtung der maximalen Funkreichweite: Diese deckt im Allgemeinen ein normales Einfamilienhaus oder eine Etagenwohnung ab. Durch Reflexionen und Interferenzen und andere Dämmungen kann es aber zu Einschränkungen kommen.
- Dass ein Z-Wave-Netz bei der Installation komplett funktioniert, ist keine Garantie für dauerhaftes Funktionieren. Umbau von Möbeln oder sogar nur Menschen in einem Raum können die Funkkommunikation beeinflussen.

Bei der Inbetriebnahme mittels einer Fernbedienung sollte Folgendes beachtet werden:

- Ein Netz, das nur mit einer Fernbedienung installiert und betrieben wird, kann in der Regel kein Routing durchführen. Seine Reichweite ist damit auf die normale Funkreichweite beschränkt.
- Beim Includieren von Geräten an einem statischen Controller (PC oder Gateway) ist nach der finalen Installation der Geräte unbedingt eine Netzwerkreorganisation durchzuführen.
- Manche Funkfernbedienungen verbinden die Inclusion mit der Assoziation. Der Nutzer führt nur die Assoziation durch. Ist das entsprechende Gerät noch nicht includiert, wird diese automatisch durchgeführt.
- Werden in einem Netz mehrere Controller verwendet, sollte ein statischer Controller vorhanden sein, der SUC/SIC Funktionalität besitzt.
- Portable Funkfernbedienungen besitzen nur im Moment der Inclusion eine korrekte Routingtabelle. Sie sollten daher nach allen anderen Geräten ins Netz eingefügt werden.
- Wird ein statisches Gateway verwendet, ist es sinnvoll, auf eine direkte Assoziation zwischen Geräten zu verzichten und alle Beziehungen über

Szenen im Gateway abzubilden.

- Beim Umschalten von Szenen mittels Controllern ist darauf zu achten, welche Szenenschaltfunktion der gewählte Controller unterstützt (siehe dazu Anhang C).
- Müssen bei einem Gerät Konfigurationseinstellungen durchgeführt werden, bietet das Handbuch Angaben zu den Parametern.
- Z-Wave-Netze sind nur dann selbstheilend (Ortsveränderung von Geräten wird vom Controller erkannt), wenn
 - o das ortsveränderte Gerät ein Routing Slave ist,
 - o das ortsveränderte Gerät von selbst ein Signal aussendet,
 - o im Netz ein Controller mit SUC/SIS Funktion vorhanden ist,
 - o sich mindestens ein neuer Routing Slave in der Nähe der neuen Position des ortsveränderten Gerätes befindet.

Bei batteriebetriebenen Geräten sind folgende Besonderheiten zu beachten:

- Es muss ein statischer Controller vorhanden sein.
- Jedes Batteriegerät ist direkt nach Einlegen der Batterie zu includieren und sofort mittels eines statischen Controller zu konfigurieren. Die statischen Controller werden sich in der Regel als Empfänger der Aufwachmeldungen konfigurieren.
- Wenn im Netz noch Konfigurationsarbeiten durchgeführt werden, ist es sinnvoll, die Schlafzeit auf das absolute Mindestmaß zu beschränken und entsprechend zu konfigurieren.
- Jedes Batteriegerät sollte einzeln in das Netz eingebunden werden, um beim Einbinden keine Zeit zu verlieren.
- Ist das Netz komplett konfiguriert, sollte die Aufwachzeit auf ein sinnvolles Maß erhöht werden. Hier ist zu unterscheiden:
 - o Ist die Aufwachzeit zu lang, wird zwar Batteriestrom gespart, bei einer Netzreorganisation kann das Gerät aber eventuell nicht wieder gefunden werden und würde dann als defektes Gerät gemeldet.
 - o Ist die Aufwachzeit zu kurz, wird mehr Batteriestrom verbraucht, das Netz ist aber insgesamt stabiler.
- Aufwachzeit muss sich innerhalb des erlaubten Intervalls befinden. Auskunft gibt hier das Handbuch des Gerätes.

5.4. Typische Schwierigkeiten beim Umgang mit Z-Wave

5.4.1. Zu geringe Kenntnisse über die Z-Wave- Technologie

Z-Wave-Komponenten haben den Anspruch, sehr einfach installier- und bedienbar zu sein. Für kleinere Netze mit einer Fernbedienung oder wenigen Schaltern ist dies auch kein Problem. Bei komplexeren Netzen mit vielen, insbesondere batteriebetriebenen Geräten sowie bei Ausnutzung der Routingfunktion von Z-Wave sind jedoch Grundkenntnisse der Technologie notwendig. Mit dem Wissen aus diesem Buch ist es möglich, auch komplexere Installation sicher und fehlerfrei zu betreiben.

5.4.2. Unklare und verwirrende Bezeichnungen

Z-Wave definiert seine verschiedenen Aktionen wie Inclusion, Exlcusion, Assoziation, etc. einheitlich nur in englischer Sprache. Leider wurde es versäumt, diese Begriffe ebenfalls einheitlich in andere Sprachen zu übersetzen. Deutsche Hersteller haben daher ihre eigenen Übersetzungen gewählt und leider sind diese Übersetzungen nicht notwendigerweise zueinander kompatibel.

Eine Forderung zur Zertifizierung eines Z-Wave-Gerätes ist allerdings, dass in jedem Handbuch ein Bezug zwischen dem verwendeten nicht-englischen Begriff und dem vom Z-Wave-Protokoll definierten englischen Begriff hergestellt wird. Auch hier hilft wieder das Studium des entsprechenden Handbuches oder – so englische Sprachkenntnisse vorhanden sind – die Nutzung eines englischsprachigen Handbuches.

5.4.3. Unterschiedliche Bedienung von im Prinzip gleichen Geräten

Während das Z-Wave Protokoll die Kommunikation zwischen Geräten recht gut definiert, gibt es kaum Richtlinien für die Interaktion zwischen Mensch und Gerät. Dies führt dazu, dass Hersteller hier unterschiedliche Wege gehen.

(1) Inclusion

Notwendig ist das lokale Bedienen eines Tasters, um das Gerät dazu zu veranlassen, einen Node Information Frame auszusenden. Manche Hersteller realisieren dies bei jedem Tastendruck, andere verlangen einen dreifachen Tastendruck; wieder andere erwarten diesen dreifachen Tastendruck innerhalb eines sehr kurzen Zeitraumes. Hier hilft nur das Studieren des Produkt-Handbuches.

(2) Automatische Inclusion bei Assoziation an Fernbedienungen

Dieses Problem

5.4.4. Mehrere identische Node-IDs im Netzwerk

Das Z-Wave-Netz kann nur dann stabil funktionieren, wenn eine eindeutige Adressierung aller Knoten durch eine eindeutige Adresse gewährleistet werden kann. Bei der Inclusion erhalten alle Knoten eine individuelle eindeutige Node-ID. Diese ist sowohl im Controller als auch in den jeweiligen Nodes gespeichert. Wird der Controller jedoch in den Auslieferungszustand zurückgesetzt, sind automatisch alle Kenntnisse über das Netz gelöscht. Der Controller wird also bei Inclusions wiederum neue Node-IDs vergeben können, den Node-IDs entsprechend, die vor dem Reset schon vergeben wurden.

Die Slaves werden jedoch bei einem Reset des Controllers NICHT zurückgesetzt und haben daher noch ihre alte (und damit auch neue) Home-ID und ihre alte Node-ID. Sie sind also aus ihrer Sicht weiterhin gültige Mitglieder des Netzes und können und werden entsprechend kommunizieren. Da nun gegebenenfalls zwei Knoten über die gleiche Node-ID verfügen, kann es im Netz zu unvorhersehbaren Problemen kommen. Der Reset eines Controllers ist daher eine sehr gefährliche Operation und sollte immer mit einem Reset jedes einzelnen Gerätes im Netz kombiniert werden.

5.4.5. Kompatibilitätsprobleme

Ziel der Standardisierungsbemühungen von Z-Wave ist es, eine Kompatibilität zwischen verschiedenen Z-Wave-Geräten verschiedener Hersteller zu gewährleisten. Diese Kompatibilität ist daher im Prinzip auch vorhanden und Z-Wave-Geräte verschiedener Hersteller können gemeinsam in einem Netz betrieben werden. Es gibt jedoch verschiedene Einschränkungen:

1. Eingeschränkte Implementierung von Z-Wave in PC-Software:

Die mit Abstand meisten Probleme treten in der Praxis mit Softwarelösungen auf, die Z-Wave als nur eines von mehreren Protokollen unterstützen. Meist wurde Z-Wave erst später in die Software eingefügt, teilweise auch in Unkenntnis der kompletten Protokollspezifikation. Als Resultat fehlen gegebenenfalls zentrale Netzwerkfunktionen wie zum Beispiel die Netzreorganisation oder die Unterstützung der automatischen Routing-Anpassungen.

2. Sünden der Vergangenheit:

Der Z-Wave Zertifizierungsprozess ist erst in letzter Zeit auf einem Niveau, der Inkompatibilitäten wirksam unterbindet. Vor allem Geräte, die in den ersten Jahren (vor 2008) zertifiziert wurden, erfüllen die Zertifizierungskriterien teilweise nicht und würden heute nicht mehr zertifiziert werden. Auch wurden teilweise neue Funktionen in das Protokoll eingeführt, die von älteren Geräten noch nicht unterstützt werden. Der Anwender nimmt diese fehlenden Funktionen dann als Fehler wahr.

Insgesamt sind die Kompatibilitätsprobleme bei heutigen Geräten vergleichsweise selten geworden.

6. Einige Hinweise zu Elektroinstallation

Dieses Buch hat nicht den Anspruch, die Grundlagen der Elektroinstallation zu behandeln. Hier sei auf entsprechende Fachliteratur verwiesen. Es sollen allerdings zwei Problemgebiete kurz behandelt werden, die bei der Installation und Nutzung von Z-Wave häufig auftreten:

1. Dimmerauswahl
2. Treppenhausschaltung

6.1. *Dimmer*

Dimmer sind elektrische Schaltgeräte, mit denen ein Anwender die Leuchtstärke einer Lampe stufenlos regeln kann. Auf dem Markt existieren verschiedene Lampentypen, die leider nicht mit allen Dimmern steuerbar sind.

Bekannt sind

- die klassische Edison-Glühlampe
- Halogenstrahler, die mit 230 V betrieben werden (HV-Halogen)
- Halogenlampen, die mit Niedervolt betrieben werden. Hier wird nochmals zwischen Lampen mit einem klassischen gewickelten Trafo und Lampen mit einem modernen elektronischen Trafo – auch Schaltnetzteil- unterschieden.
- Leuchtstofflampen
- Energiesparlampen, auch Kompaktleuchtstofflampen genannt. Von der Steuerbarkeit entsprechen diese Lampen normalen Leuchtstofflampen
- LED-Lampen

6.1.1. Phasenanschnittdimmer

Konventionelle Lampen werden nach dem Prinzip der Phasenanschnittsteuerung gedimmt. Dabei wird die Spannung nur für einen bestimmten Zeitraum pro Netzperiode auf den Verbraucher geschaltet. Die im Mittel umgesetzte Leistung – in Abbildung 6.1 sind dies 50 Prozent der Volllast – wird von der Länge der Zeitspanne bestimmt.

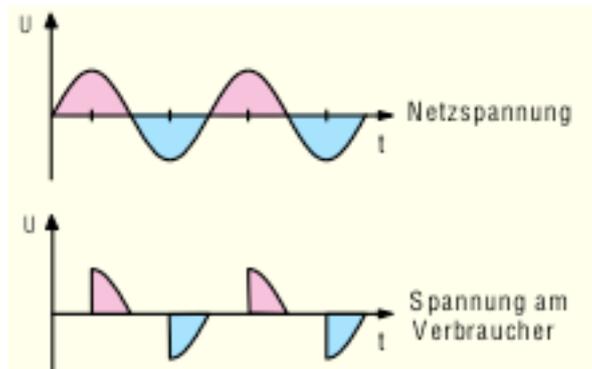


Abbildung 6.1: Spannungsverlauf bei einem Phasenanschnittdimmer

Beim Phasenanschnitt ist der Verbraucher nach dem Netz nulldurchgang zunächst spannungslos. Nach Ablauf einer einstellbaren Zeit wird ein im Dimmer vorhandener Triac⁵ gezündet, der die Netzspannung einschaltet. Im darauf folgenden Nulldurchgang wird der Haltestrom des Triac unterschritten und die Spannung ist abgeschaltet. Nach jedem Nulldurchgang wiederholt sich der zuvor beschriebene Vorgang. Diese Phasenanschnittdimmer arbeiten sehr gut bei ohmschen Lasten, d.h. bei konventionellen Glühlampen und bei Hochvolt-Halogenlampen.

6.1.2. Phasenanschnittdimmer für induktive Lasten

Transformatoren, wie sie bei Niederspannungshalogenlampen verwendet werden, stellen für den Dimmer eine induktive Last dar, wodurch zwischen Spannung und Strom eine Phasenverschiebung entsteht. Während die

⁵ Ein Triac ist ein elektronisches Bauelement, das den Stromfluss sperrt, bis er durch einen Zündimpuls „gezündet“ wird. Danach bleibt der Triac leitend, bis der durchfließende Strom einen Minimalwert (Haltestrom) unterschreitet. Ist dies der Fall, sperrt der Triac und muss erneut gezündet werden.

Spannung bereits den Nulldurchgang durchlaufen hat, ist der Strom noch nicht zu null geworden.

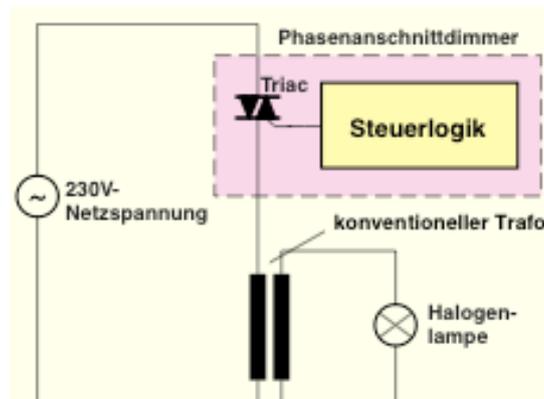


Abbildung 6.2: Prinzipschaltbild eines Phasenanschnittdimmers

Phasenanschnittdimmer sind für diesen Lastfall nicht geeignet, da der Triac nicht „stromrichtig“ angesteuert wird. Gibt der Dimmer einen Zündimpuls aus, bevor der Strom zu null geworden ist, ist dieser wirkungslos. In der darauf folgenden Halbwelle bleibt der Triac daher gesperrt. Als Folge stellt sich ein sogenannter Halbwellenbetrieb ein, der den Transformator schnell in die Sättigung treibt und in der Regel zu dessen Zerstörung führt.

Daher sind für das Dimmen von Halogenlampen mit konventionellen Trafos spezielle Phasenanschnittdimmer erforderlich, die durch Messen von Strom und Spannung bzw. Ermitteln der Nulldurchgänge eine Phasenverschiebung erkennen und den Zeitpunkt des Zündimpulses automatisch anpassen.

Abbildung 6.2 zeigt das Prinzipschaltbild eines Phasenanschnittdimmers für induktive Lasten. Die oben beschriebene Strom- und Spannungsmessung ist Teil der Steuerlogik und damit komplexer als bei einem konventionellen Ansnittdimmer für rein ohmsche Lasten.

6.1.3. Phasenabschnittsdimmer

Die meisten elektronischen Trafos oder Schaltnetzteile erfordern für das Dimmen einen so genannten Phasenabschnittsdimmer, da sie für den Dimmer eine kapazitive Last darstellen. Die steile Einschalt-Schaltflanke der Spannung beim Phasenanschnittsdimmer würde durch die dann als

Kurzschluss wirkende Kapazität zu zerstörerisch wirkenden Spitzenströmen führen. Mit Phasenabschnittsdimmern lassen sich normale Glühlampen und Hochvolt-Halogenlampen problemlos dimmen.

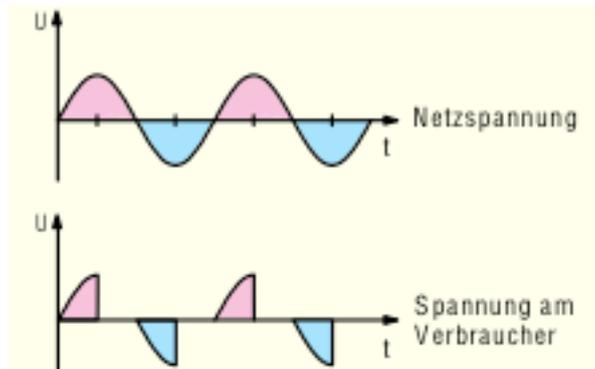


Abbildung 6.3: Spannungsverlauf bei einem Phasenabschnittdimmer

Im Gegensatz zu einem Phasenanschnittdimmer schaltet ein Phasenabschnittdimmer die Netzspannung direkt im Nulldurchgang ein und nach Ablauf einer bestimmten einstellbaren Zeit wieder ab wie in Abbildung 6.3 dargestellt.

Da das Abschalten der Spannung während der Halbwelle mit einem herkömmlichen Triac nicht möglich ist, müssen um einen solchen Dimmer zu realisieren, andere Wege beschritten werden. Abbildung 6.4 zeigt die Prinzipschaltung des Phasenabschnittdimmers. Als Schalter wird ein Hochvolt-MOSFET eingesetzt. Da ein MOSFET lediglich für das Schalten von Gleichspannungen geeignet ist, muss die Netzspannung zunächst über einen Brückengleichrichter gleichgerichtet werden.

Eine Steuerlogik ermittelt die Nulldurchgänge der Netzspannung und schaltet den MOSFET im Nulldurchgang ein. So steht die Netzspannung am Verbraucher an, hier dem elektronischen Transformator. Nach Ablauf der eingestellten Zeit wird der MOSFET abgeschaltet und der Verbraucher ist spannungslos. Dieser Vorgang wiederholt sich nach jedem Netznulldurchgang, wodurch sich am Verbraucher der in Abbildung 6.3 dargestellte Spannungsverlauf ergibt.

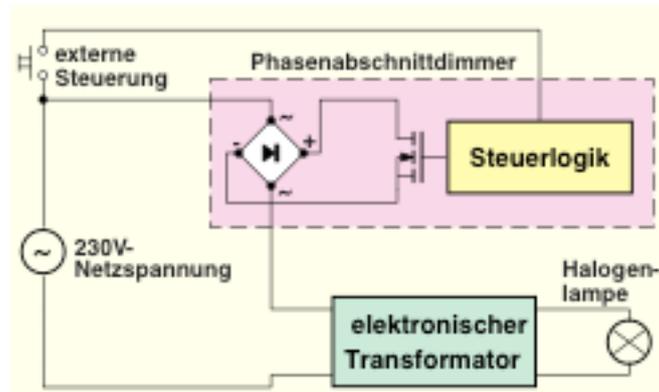


Abbildung 6.4: Prinzipschaltbild eines Phasenabschnittdimmers

6.1.4. Universaldimmer

Während Phasenabschnittdimmer elektronische Transformatoren und andere kapazitive Lasten sehr gut dimmen können, ist das sichere Dimmen eines konventionellen induktiven Trafos wiederum nicht möglich, da hier die steile abfallende Flanke der Spannung im Ausschaltmoment durch die induktive Last zu einer hohen induzierten Spannung führen würde (Zündspuleneffekt). Daher wird für induktive Lasten immer ein Phasenanschnittdimmer mit Unterstützung induktiver Lasten, wie oben beschrieben, benötigt.

Um einen Dimmer nun universell einsetzen zu können, muss die Elektronik eines Phasenabschnittdimmers die angeschaltete Last erkennen und entsprechend zwischen Phasenanschnitt und Phasenabschnitt umschalten. Um diese Erkennung zu ermöglichen, sollten Universaldimmer nicht mit gemischten Lasten, d.h. konventioneller und elektronischer Trafo gleichzeitig betrieben werden. Realisiert werden Universaldimmer durch zwei MOSFETs, die jeweils eine Halbwelle schalten.

6.1.5. Leuchtstofflampen

Konventionelle Leuchtstofflampen sind bauartbedingt nicht dimmbar. Es existieren jedoch spezielle elektronische Vorschaltgeräte (EVGD), die ein Dimmen von Leuchtstofflampen durch Regulierung des Lampenstromes ermöglichen. In modernen Kompaktleuchtstofflampen – auch Energiesparlampen genannt – wird ein solches Vorschaltgerät bereits in der Lampenfassung integriert. Diese Vorschaltgeräte sind durch einen Dimmer

dimmbar und stellen für diesen je nach Bauart und Hersteller meist eine induktive Last dar ($\cos \varphi$: 0.6 ... 0.95). Es wird daher entweder ein Universaldimmer oder ein Phasenanschnittsdimmer mit Unterstützung für induktive Lasten benötigt.

6.1.6. LED Leuchten

Leuchten, die aus LEDs bestehen – unabhängig davon mit welcher Spannung sie betrieben werden – lassen sich weder mit Phasenanschnittsdimmern noch mit Phasenabschnittsdimmern dimmen. Sie benötigen spezielle Pulsweitenmodulations-Dimmer (PWM), die wiederum keine anderen Leuchten dimmen können.

6.1.7. Zusammenfassung

Die nachfolgende Tabelle gibt eine zusammenfassende Übersicht über die einzelnen Dimmerarten und die mit ihnen dimmbaren Lampentypen.

	Phasen- Anschnitt	Ph.-Anschnitt mit Nulldetekt.	Phasen- Abschnitt	Universal
Glühlampe	ja	ja	ja	Ja
HV-Halogen	ja	ja	ja	Ja
NV-Halogen (konv. Trafo)	nein	ja	nein	Ja
NV-Halogen (Schalt-NT)	nein	nein	ja	Ja
Dimmbare Leuchtstoffröhre	nein	ja	nein	ja
LED-Lampe	nein	nein	nein	nein

Tabelle 6.1: verschiedene Dimmertypen

6.2. Treppenhausschaltung

Die Treppenhausschaltung bietet die Möglichkeit, von mindestens zwei verschiedenen Schaltern – meist unten und oben im Treppenhaus – eine Leuchte wechselseitig an- und ausschalten zu können.

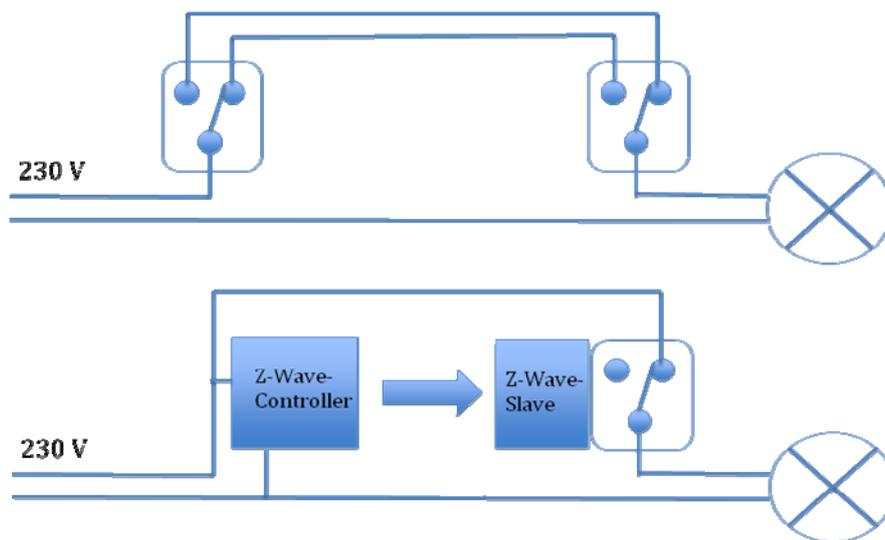


Abbildung 6.5: Treppenhausschaltung durch Z-Wave

Konventionell wird dies durch zwei Wechselschalter realisiert. Kommt Z-Wave-Technologie zum Einsatz, wird ein Wechselschalter durch einen per Z-Wave steuerbaren Schalter mit lokaler Bedienung ersetzt. In der Unterputzdose des zweiten Wechselschalters wird die Spannung einfach durchgeleitet und gegebenenfalls ein mit 230 V betriebener Z-Wave-Controller gespeist. Es ist aber auch möglich, einen batteriebetriebenen Z-Wave Controller an dieser Stelle zu platzieren.

Das System kann nun leicht um weitere Controller und Z-Wave Schalter erweitert werden.

6.3. Produktfamilien

Einige Hersteller haben ganze Portfolios von Produkten im Angebot, die unter einem herstellerspezifischen Markennamen gemeinsam vermarktet werden. Meist wird in den Dokumentationen dieser Produkte auf andere Produkte der gleichen Produktfamilie Bezug genommen und gleichzeitig betont, wie gut die Produkte innerhalb einer Familie miteinander harmonieren. Während Letzteres auch wahr ist können alle Produkte dieser Produktfamilien dank standardisierter Z-Wave-Technologie auch immer in gemischten Installationen mit Produkten verschiedener Hersteller eingesetzt werden.

6.3.1. ACT HomePro

Die HomePro Serie des US-amerikanischen Anbieters Advanced Control Solutions war die erste Produktserie eines Herstellers, die auf Z-Wave basierte. Homepro bietet eine Reihe von Wandtastern mit einer oder zwei Schaltflächen, die gleichzeitig einen Dimmer oder einen Schalter darstellen. Sind zwei Schaltflächen vorhanden, schaltet die linke Schaltfläche immer den lokal vorhandenen Schalter bzw. Dimmer, während die zweite Schaltfläche als Controllerfunktion für andere Schalter und Dimmer verwendet werden kann. ACT Homepro-Produkte werden immer komplett mit Montagerahmen und Schaltwippe angeboten und grundsätzlich mit 230 V gespeist. Das Design entspricht nahezu der in Europa bekannten Schalterserie CD 500 der Firma Jung.



Abbildung 6.6: ACT HomePro Wandschalterdesign

Neben den Wandschaltern bietet ACT eine Fernbedienung sowie einen Bewegungsmelder zur Komplettierung des Systems.

Mit der Homepro-Fernbedienung können auch Schalter und Dimmer anderer Hersteller gesteuert werden und die ACT-Wandschalter können ebenso problemlos von Controllern anderer Hersteller gesteuert werden.

6.3.2. Merten Connect

Der deutsche Hersteller Merten bietet mit seinem auf Z-Wave basierendem Funksystem CONNECT ein sehr umfangreiches und auf den Bedarf professioneller Elektroinstallationsunternehmen hin optimiertes System. Es besteht aus drei Produktgruppen: Dimmer, Schalter und Jalousiesteuerungen. Dazu existieren **batteriebetriebene Wandtaster** zur Steuerung anderer Geräte. Diese Taster bieten eine oder zwei Schaltflächen.

Die drei Gruppen sind entweder mit oder ohne lokale Bedienmöglichkeit ausgestattet. Alle diese Geräte werden über 230 V gespeist.

Die Schaltprodukte mit lokaler Bedienmöglichkeit werden für einige der Merten-Schalterserien in verschiedensten Farben geliefert und können mit eventuelle bereits vorhandenen Dimmer- oder Schalteinsätzen aus anderen Steuersystemen kombiniert werden. Wegen dieser Flexibilität werden Montagerahmen und Schaltwippen immer einzeln vertrieben und müssen vom Installateur kombiniert werden.

Die **zentrale Steuerung** erfolgt entweder über eine Universalfernbedienung oder eine fest an der Wand montierte Funkzentrale mit LCD-Display. Die Konfiguration der Fernbedienung und der Funkzentrale aber auch die Zuordnung der Schaltsignale der batteriebetriebenen Wandtaster zu den jeweiligen Schaltern, Dimmern und Jalousiesteuerungen erfolgt am bequemsten über eine Konfigurationssoftware Merten-CONNECT, die auf einem PC arbeitet und kostenlos im Internet verfügbar ist; jedoch nur mit einem kostenpflichtigen Z-Wave-USB-Adapter von Merten funktioniert. Die Funkzentrale arbeitet weiterhin als IP-Gateway und hat eine webbrowsersbasierte Nutzerschnittstelle.

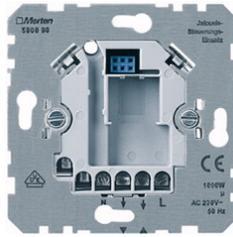


Abbildung 6.7: Merten – Schalteinsatz, der durch eine Z-Wave-Funkwippe in gewünschter Form und Farbe ergänzt werden muss

Merten-Schalter können ebenfalls gut von Produkten anderer Hersteller gesteuert werden und die Merten- Funkfernbedienung ist ebenfalls in der Lage, Produkte anderer Hersteller zu schalten. Die Unterstützung fremder Produkte in der Konfigurationssoftware ist jedoch sehr begrenzt. Seine Stärke spielt diese Konfigurationssoftware daher nur bei homogenen CONNECT-Installationen aus.

Diese Software ermöglicht eine visuelle Konfiguration und bietet sehr sinnvolle Diagnosemöglichkeiten zu Routing und Funkqualität im Netz.

6.3.3. Düwi Z-Wave (ehem. Interact)

Das Schaltersystem von Düwi ist auf die Bedürfnisse des Heimanwenders hin optimiert. Es besteht aus jeweils einem Einsatz für Schalten, Dimmer und Jalousiesteuerung. Dieser Einsatz kann ohne lokale Bedienung in der Unterputzdose betrieben werden oder mittels preiswerter Plastik (Rahmen und Schaltwippe) zu einem lokal bedienbaren Schalter, Dimmer oder Jalousiesteuergerät erweitert werden.



Abbildung 6.8: Düwi – Funkzentrale zur Administration größerer Netze

Gesteuert werden diese Einbaugeräte von einem batteriebetriebenen Wandschalter, für den ebenfalls passende Montagerahmen und Schaltwippen zur Verfügung stehen. Weiterhin ist eine Steuerung durch eine Düwi-Funkfernbedienung möglich.

Um auch größere Installationen mittels dieser Technologie zu ermöglichen komplettiert Düwi ihr System durch eine Funkzentrale (statischer Controller), deren einzige Aufgabe die Stabilisierung des Netzes durch SUC/SIC und die Unterstützung batteriebetriebener Geräte ist. Düwi-Produkte arbeiten sehr gut mit Produkten anderer Hersteller zusammen.

Anhang A: Z-Wave-Kommandoklassen

COMMAND_CLASS_NO_OPERATION
COMMAND_CLASS_ALARM
COMMAND_CLASS_BASIC
COMMAND_CLASS_CONTROLLER_REPLICATION
COMMAND_CLASS_APPLICATION_STATUS
COMMAND_CLASS_SWITCH_BINARY
COMMAND_CLASS_SWITCH_MULTILEVEL
COMMAND_CLASS_SWITCH_ALL
COMMAND_CLASS_SWITCH_TOGGLE_BINARY
COMMAND_CLASS_SWITCH_TOGGLE_MULTILEVEL
COMMAND_CLASS_CHIMNEY_FAN
COMMAND_CLASS_SCENE_ACTIVATION
COMMAND_CLASS_SCENE_ACTUATOR_CONF
COMMAND_CLASS_SCENE_CONTROLLER_CONF
COMMAND_CLASS_SENSOR_BINARY
COMMAND_CLASS_SENSOR_MULTILEVEL
COMMAND_CLASS_METER
COMMAND_CLASS_METER_PULSE
COMMAND_CLASS_THERMOSTAT_HEATING
COMMAND_CLASS_THERMOSTAT_MODE
COMMAND_CLASS_THERMOSTAT_OPERATING_STATE
COMMAND_CLASS_THERMOSTAT_SETPOINT
COMMAND_CLASS_THERMOSTAT_FAN_MODE
COMMAND_CLASS_THERMOSTAT_FAN_STATE
COMMAND_CLASS_CLIMATE_CONTROL_SCHEDULE
COMMAND_CLASS_THERMOSTAT_SETBACK
COMMAND_CLASS_BASIC_WINDOW_COVERING
COMMAND_CLASS_MTP_WINDOW_COVERING
COMMAND_CLASS_MULTI_INSTANCE
COMMAND_CLASS_DOOR_LOCK
COMMAND_CLASS_USER_CODE
COMMAND_CLASS_CONFIGURATION
COMMAND_CLASS_MANUFACTURER_SPECIFIC
COMMAND_CLASS_POWERLEVEL
COMMAND_CLASS_PROTECTION
COMMAND_CLASS_PROTECTION_V2
COMMAND_CLASS_LOCK
COMMAND_CLASS_NODE_NAMING
COMMAND_CLASS_FIRMWARE_UPDATE_MD
COMMAND_CLASS_GROUPING_NAME
COMMAND_CLASS_REMOTE_ASSOCIATION_ACTIVATE

COMMAND_CLASS_REMOTE_ASSOCIATION
COMMAND_CLASS_BATTERY
COMMAND_CLASS_CLOCK
COMMAND_CLASS_HAIL
COMMAND_CLASS_WAKE_UP
COMMAND_CLASS_ASSOCIATION
COMMAND_CLASS_VERSION
COMMAND_CLASS_INDICATOR
COMMAND_CLASS_PROPRIETARY
COMMAND_CLASS_LANGUAGE
COMMAND_CLASS_TIME
COMMAND_CLASS_TIME_PARAMETERS
COMMAND_CLASS_GEOGRAPHIC_LOCATION
COMMAND_CLASS_COMPOSITE
COMMAND_CLASS_MULTI_INSTANCE_ASSOCIATION
COMMAND_CLASS_MULTI_CMD
COMMAND_CLASS_ENERGY_PRODUCTION
COMMAND_CLASS_MANUFACTURER_PROPRIETARY
COMMAND_CLASS_SCREEN_MD
COMMAND_CLASS_SCREEN_ATTRIBUTES
COMMAND_CLASS_SIMPLE_AV_CONTROL
COMMAND_CLASS_AV_CONTENT_DIRECTORY_MD
COMMAND_CLASS_AV_RENDERER_STATUS
COMMAND_CLASS_AV_CONTENT_SEARCH_MD
COMMAND_CLASS_SECURITY
COMMAND_CLASS_AV_TAGGING_MD
COMMAND_CLASS_IP_CONFIGURATION
COMMAND_CLASS_ASSOCIATION_COMMAND_CONFIGURATION
COMMAND_CLASS_SENSOR_ALARM COMMAND_CLASS_SILENCE_ALARM
COMMAND_CLASS_SENSOR_CONFIGURATION COMMAND_CLASS_MARK
COMMAND_CLASS_NON_INTEROPERABLE

Anhang B: Generische Geräteklassen

Alarm Sensor Generic Device Class

- No Specific Device Class defined
- Basic Routing Alarm Sensor Specific Device Class
- Routing Alarm Sensor Specific Device Class
- Basic Zensor Net Alarm Sensor Specific Device Class
- Zensor Net Alarm Sensor Specific Device Class
- Advanced Zensor Net Alarm Sensor Specific Device Class
- Basic Routing Smoke Sensor Specific Device Class
- Routing Smoke Sensor Specific Device Class
- Basic Zensor Net Smoke Sensor Specific Device Class
- Zensor Net Smoke Sensor Specific Device Class
- Advanced Zensor Net Smoke Sensor Specific Device Class.

Binary Switch Generic Device Class

- No Specific Device Class defined
- Binary Power Switch Specific Device Class
- Binary Scene Switch Specific Device Class

Remote Controller Generic Device Class

- Portable Remote Controller Specific Device Class
- Portable Scene Controller Specific Device Class
- Portable Installer Tool Specific Device Class

Static Controller Generic Device Class

- PC Controller Specific Device Class
- Scene Controller Specific Device Class
- Static Installer Tool Specific Device Class

Repeater Slave Generic Device Class Basic

- Repeater Slave Specific Device

Multilevel Switch Generic Device Class

- No Specific Device Class defined
- Multilevel Power Switch Specific Device Class
- Multilevel Scene Switch Specific Device Class

- Multiposition Motor Specific Device Class (Not recommended)
- Motor Control Class A Specific Device Class
- Motor Control Class B Specific Device Class
- Motor Control Class C Specific Device Class

Remote Switch Generic Device Class

- Binary Remote Switch Specific Device Class
- Multilevel Remote Switch Specific Device Class

Binary Sensor Generic Device Class

- Routing Binary Sensor Specific Device Class

Multilevel Sensor Generic Device Class

- Routing Multilevel Sensor Specific Device Class

Pulse Meter Generic Device Class

Display Generic Device Class

- No Specific Device Class defined
- Simple Display Specific Device Class

Entry Control Generic Device Class

- Specific Device Class Not Used
- Door Lock Specific Device Class
- Advanced Door Lock Specific Device Class
- Secure Keypad Door Lock Specific Device Class

Semi Interoperable Generic Device Class

- Energy Production Specific Device Class

Thermostat Generic Device Class

- Thermostat General V2 Specific Device Class
- Setback Schedule Thermostat Specific Device Class
- Setback Thermostat Specific Device
- Setpoint Thermostat Specific Device Class

AV Control Point Generic Device Class

- No Specific Device Class defined

- Satellite Receiver V2 Specific Device Class
- Doorbell Specific Device Class

Meter Generic Device Class

- No Specific Device Class defined
- Simple Meter Specific Device Class

Ventilation Generic Device Class

- No Specific Device Class defined
- Residential Heat Recovery Ventilation Specific Device Class

Z/IP Gateway Generic Device Class

- Z/IP Tunneling Gateway Specific Device Class
- Advanced Z/IP Gateway Specific Device Class

Z/IP Node Generic Device Class

- Z/IP Tunneling Node Specific Device
- Advanced Z/IP Node Specific Device Class

Anhang C: Szenenumschaltung von Z-Wave-Controllern

Controller	Geeignet	Szenen Configuration	Akzeptiert assigned Assoziation
Tricklestar	Nein		
Düwi Wand Controller	ja		Ja
QEES Key Ring	Ja	Ja	Ja
QEES Wand Controller	Ja	Ja	Ja
Aeon Labs Minimote	Ja	Ja	
Merten, doppelter Wandschalter	Bedingt		Ja
Merten einfacher Wandschalter,	Ja		Ja
Merten Universal	Bedingt		Ja
Duwi Remote Control	Bedingt		
Remotek ZURC	ja	ja	ja