



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Design, Medien und Information

Department Medientechnik

Bachelor-Thesis

zur Erlangung des akademischen Grades B.Sc.

Untersuchung von drahtlosen Übertragungstechniken im Bereich „Smart Home“

vorgelegt von

Theresa Röhn

2194264

Studiengang: Medientechnik

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Jan Mietzner

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Thorsten Meyer

Hamburg, 22.10.2018

Abstract

This Bachelor's thesis was written in collaboration with the Stadtwerke Norderstedt in the context of the joint project „NEW 4.0“ about the energy transition in Northern Germany. As part of the project an electricity tariff model for households deploying the wireless smart home communication standards DECT, Z-Wave, ZigBee and EnOcean were to be investigated. The thesis analyzes occurring problems of the four technologies mentioned above. The focus of the investigation is on the Z-Wave protocol. Its unexpected performance in the test mode is to be tested more accurately to find out the causes of this occasionally observed misbehaviour. The results are used for the evaluation of the problems regarding range and stability in typical households. A comparison matrix is created to examine the measurements. This is the basis of the conclusion including an evaluation and recommendation at the end of the thesis.

Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit ist in Kooperation mit den Stadtwerken Norderstedt entstanden und ist im Umfeld eines großen Verbundprojektes „NEW 4.0“ angesiedelt, in dem es um die Energiewende in Norddeutschland geht.

Dafür soll ein dynamisches Stromtarifmodell für Privathaushalte erprobt werden, wobei die drahtlosen „Smart Home“ Übertragungstechnologien DECT, Z-Wave, ZigBee und EnOcean zum Einsatz kommen sollen. Die Arbeit analysiert auftretende Probleme bei den o.g. Technologien. Der Fokus liegt dabei auf dem Z-Wave Protokoll. Es wird auf Grund von teilweise unerwartetem Verhalten im Testbetrieb messtechnisch genauer untersucht, um die Ursachen dieses Verhaltens herauszufinden. Die Ergebnisse dienen zur Bewertung der Probleme in Bezug auf Reichweite und Stabilität in typischen Haushalten. Die Auswertung der Messungen durch eine Vergleichsmatrix der untersuchten Protokolle ist Grundlage für die Bewertung und Empfehlung am Ende dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Stadtwerke Norderstedt	2
1.2	Ziel der Arbeit	3
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Funktechnik	5
2.1.1	Dämpfung	5
2.1.2	Interferenzen	6
2.1.3	Störfrequenzen	6
2.2	Übertragungstechnologien	7
2.2.1	Schicht 1/2 des OSI-Modells	7
2.2.2	WLAN	10
2.2.3	DECT	12
2.2.4	Z-Wave	13
2.2.5	ZigBee	15
2.2.6	EnOcean	16
2.2.7	Vergleich	16
2.3	Smart Home	18
2.3.1	Homee	19
2.3.2	Funksteckdosen	21
3	Messvorbereitung	22
3.1	Einleitung	22
3.2	Messobjekte	23
3.3	Messinstrumente	23
3.3.1	Hardware	23
3.3.2	Software	25

4	Messungen	28
4.1	Sendeleistungen	29
4.1.1	Z-Wave Signal	29
4.1.2	HomeMatic Signal	31
4.2	Messvorgehen	32
4.3	Messdurchführung	33
4.3.1	Haushalt 1	33
4.3.2	Haushalt 2	40
4.3.3	Haushalt 3	42
4.3.4	Haushalt 4	45
4.3.5	Haushalt 5	48
5	Auswertung	51
5.1	Stabilität und Störanfälligkeit	51
5.2	Reichweite	53
5.3	Vergleichsmatrix	54
6	Zusammenfassung und Fazit	55
6.1	Zusammenfassung	55
6.2	Fazit	55
A	Anhang	57
A.1	Messgeräte	58
A.1.1	Antenne HyperLog 60010	58
A.1.2	FRITZ!DECT 200, AVM (DECT-Protokoll)	59
A.1.3	Fiabro Wall Plug (Z-Wave-Protokoll)	61
A.1.4	Bitron Smart Plug (ZigBee-Protokoll)	63
A.1.5	Afriso APR 234 (EnOcean-Protokoll)	65
A.2	Umfrage	66
A.3	Messergebnisse	67
A.3.1	Haushalt 1	67
A.3.2	Haushalt 2	68
A.3.3	Haushalt 3	69
A.3.4	Haushalt 4	71
	Abbildungsverzeichnis	75
	Tabellenverzeichnis	77

Literatur

78

1 Einleitung

Der Bereich „Smart Home“ gewinnt nach und nach immer mehr an Bedeutung im alltäglichen Leben. Funktionen von Geräten wie Steckdosen oder Lampen können durch Steuerung und Automatisierung in Räumlichkeiten individuell angepasst und so optimal genutzt werden. Durch diese Automatisierung gewinnt man zusätzlich eine bessere Kontrolle und Überwachung des Energieverbrauchs.

Für die Übertragung von Steuerinformationen werden derzeit verschiedene Techniken verwendet. Die drahtlosen Übertragungsprotokolle Wireless Local Area Network (*WLAN*), Digital Enhanced Cordless Telecommunications (*DECT*), sowie Z-Wave, Zig-Bee und EnOcean sind für den „Smart Home“ Besitzer und Kenner schon längst keine Fremdwörter mehr. Bei der Nutzung dieser Technologien sind Begriffe wie Effizienz, Komfort, Sicherheit und Akzeptanz essentiell.

Diese Bachelorarbeit befasst sich intensiv mit der Untersuchung von den genannten Protokollen und deren Herausforderungen für Steckdosen, Gateways und Module der oben genannten Protokolle. Diese Komponenten sollen vermessen und ihre Leistungsfähigkeit ausgewertet werden.

Interne Vorabuntersuchungen der Stadtwerke Norderstedt haben gezeigt, dass bei einem Produkt bisweilen Verbindungsprobleme und Unzuverlässigkeiten auftraten. Das Produkt soll für ein Teilprojekt im Rahmen von „NEW 4.0“, das im nächsten Abschnitt genauer vorgestellt wird, eingesetzt werden. Es gilt, die Ursachen der Schwierigkeiten zu untersuchen und anhand dessen eine Problemanalyse durchzuführen. Die auftretenden Probleme sollen anschließend mit dem bereits funktionierenden Konkurrenzprodukt und den möglichen Alternativen verglichen und bewertet werden. Ziel dabei ist es, eine Vergleichsmatrix (Kapitel 5) der erwähnten Übertragungsprotokolle in Bezug auf Reichweite, Stabilität und Störeinflüsse zu entwickeln.

1.1 Stadtwerke Norderstedt

Das aktuelle Projekt NEW 4.0 - „Norddeutsche EnergieWende“ 4.0 beschäftigt sich mit der Systemintegration erneuerbarer Energien in Hamburg und Schleswig-Holstein. Die Stadtwerke Norderstedt sind einer von ca. 60 Partnern, die daran forschen, wie die Gesamtregion mit ihren 4,5 Millionen Einwohnern bereits im Jahr 2035 zu 100 Prozent mit regenerativem Strom versorgt werden kann. Dies hängt idealerweise mit dem Ende der Atomkraft und einer Reduktion des CO₂ (*Kohlenstoffdioxid*) Ausstoßes zusammen. Das Projekt läuft voraussichtlich bis Ende 2020. Eine Übersicht der Projektpartner zeigt die folgende Abbildung 1.1.



Abbildung 1.1: Übersicht über die Projektpartner „NEW 4.0“

Die Stadtwerke Norderstedt untersuchen im Rahmen dieses Projektes die Nutzung überschüssiger Windenergie. Windenergie wird in Schleswig-Holstein häufig über den tatsächlichen täglichen Bedarf produziert. Aktuell müssen Windräder teilweise abgeregelt werden, um die gleichmäßige Spannungsversorgung im Stromnetz zu garantieren. Würde jedoch der Überschuss an Energie sofort verbraucht werden, müssten Windräder nicht mehr stillstehen. Dies soll durch ein überwiegend angebotsorientiertes und flexibles Energiesystem realisiert werden. Die Verluste belaufen sich auf 500 - 700 Mio.€/Jahr. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen 2.000 Testkunden diese überschüssige Windenergie zur Verfügung gestellt bekommen, um zu untersuchen, ob das Kundenverhalten zur Reduktion dieser so genannten Stromspitzen beitragen kann. Die Abbildung 1.2 stellt ein Beispiel für die Nutzung des überschüssigen Stroms dar. Auf

der x-Achse wird die Tageszeit abgebildet. Auf der y-Achse wird der erzeugte Strom inklusive der Überschuss durch Windenergie sowie der dazugehörige Strompreis abgebildet. Der Strom kann über zwei verschiedene Tarife angeboten werden. Der Tarif A ist der Standard Tarif bei dem der Strompreis dauerhaft gleich bleibend ist. Der Tarif B ist ein dynamischer Tarif, hier wird der Strompreis abhängig von dem überschüssigen Strom angepasst.

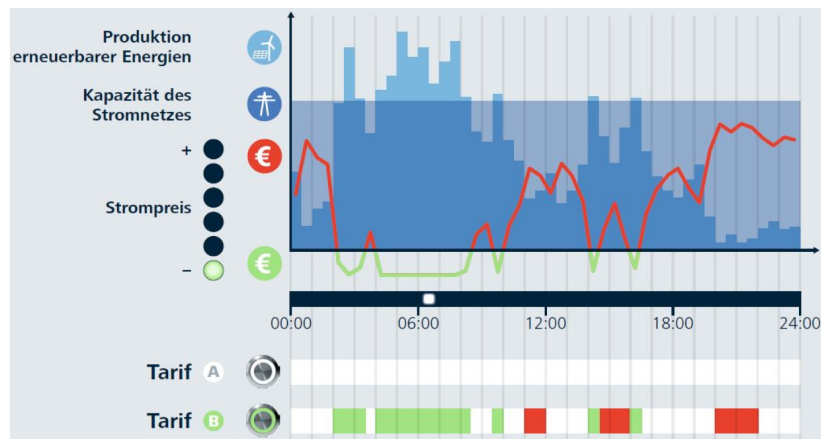


Abbildung 1.2: Stromtarif

Diese Bachelorarbeit ist in diesem großen Verbundprojekt angesiedelt. Die Stadtwerke Norderstedt wollen in einem Teilprojekt ein dynamisches Stromtarifmodell für Privathaushalte erproben und dessen Kundenakzeptanz untersuchen. Alle Kunden erhalten dafür ein „Smart Home“ Equipment für die dynamische Schaltung des Stroms. Mitgeliefert werden vier „Smart Home“ - Funksteckdosen, die sich automatisch durch die Verbindung des Funknetzes der Kunden mehrmals am Tag abhängig von der Verfügbarkeit der überschüssigen Windenergie ein und aus schalten. Diese Stunden sind zeitlich nicht planbar, da sie vom Wind und der Abnahme im Netz abhängig sind. [17]

1.2 Ziel der Arbeit

Im Rahmen der Bachelorarbeit sollen die Übertragungstechniken WLAN, DECT, Z-Wave, ZigBee und EnOcean untersucht und in einem messtechnischen sowie theoretischen Vergleich gegenüber gestellt werden. Auf Grund von gelegentlich beobachtetem fehlerhaftem Verhalten des Z-Wave Protokolls bei einem verwendeten Produkt wird dieser Standard messtechnisch genauer geprüft. Dazu werden unter anderem Messungen in ‘typischen’ Haushalten durchgeführt.

Die Stadtwerke Norderstedt stellen die zu vermessenden Module, wie Gateways und Steckdosen aller zu untersuchenden Protokolle, welche in Kapitel 2.2 genauer vorgestellt

werden, zur Verfügung. Das Z-Wave Protokoll wird auf der physikalischen sowie der netzwerktechnischen Ebene vermessen. Das genutzte Frequenzband wird auf mögliche Störungsquellen untersucht. Die Protokolle ZigBee und EnOcean werden lediglich auf Störungen im Frequenzbereich untersucht. Es werden Messungen zur Stabilitäts- und Reichweitenqualität für alle genannten Protokolle durchgeführt.

Die Arbeit dient zur Bewertung der Übertragungsprotokolle, welche in einem „Smart Home“ Verwendung finden. Dabei dienen Parameter wie Reichweite, Stabilität und Störanfälligkeit als Bewertungsgrundlage.

2 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit den Grundlagen der drahtlosen Kommunikationstechnik und deren Störungen. Die Technik der Protokolle, die es zu untersuchen gilt, wird anschließend genauer beschrieben und miteinander verglichen. Zum Schluss wird die Funktion eines „Smart Home“ definiert und die verwendeten Komponenten vorgestellt.

2.1 Funktechnik

Der große Vorteil der Funktechnik gegenüber der drahtgebundenen Übertragung ist die Flexibilität. Die Geräte, welche in einem „Smart Home“ Verwendung finden, können an beliebigen Orten wie Fenster und Türen unkompliziert platziert werden, sofern sie mit Batterie betrieben werden. Außerdem ist es mit dieser Technik ein leichtes, Haushalte nachzurüsten und „smart“ zu machen.

Die Funktechnik beinhaltet die Signalübertragung mittels modulierter elektromagnetischer Wellen im Hochfrequenzbereich zwischen 10 kHz und 300 GHz über die Luft. Die Anwendungsbereiche in diesem sind zum Beispiel Industrie, Sicherheitsdienste (BOS), Radar, Flugfunk, Multimedia, Telekommunikation, Rundfunk, Fernsehen, aber auch „Smart Home“, welches die Kurzstreckenfunktechnik verwendet. Für die verschiedenen Bereiche existieren Funkmodule, die sich in der Modulationsart, Übertragungsrate, Sendeleistung, Reichweite sowie dem Frequenzbereich unterscheiden [9]. Durch folgende physikalische Ereignisse kann es in diesen Bereichen zu Übertragungsproblemen kommen.

2.1.1 Dämpfung

Die Energie von elektromagnetischen Wellen (Funkwellen) nimmt mit zunehmender Entfernung vom Sender ab. Die Reichweite der Wellen hängt stark von der verwendeten Frequenz sowie der Sendeleistung ab. Funkwellen haben die Eigenschaft, Materialien zu durchdringen. Bei der Durchdringung von Wänden und Möbeln wird das Signal beispielsweise gedämpft oder gar absorbiert. Die Reichweite verringert sich dadurch erheblich. Die Stärke der Absorption und Abschwächung des Signals hängt von der

Dicke, Beschaffenheit und Dichte des Materials ab.

Eine höhere Feuchtigkeit von Materialien kann ebenfalls das Funksignal abschwächen. Allgemein gilt, dass Funkfrequenzen unter einem GHz durch ihre längeren Wellenlänge eher Hindernisse durchdringen können als Signale oberhalb von einem GHz [16]. In der Tabelle 2.1 sind einige Materialien und ihr Einfluss auf das Signal aufgelistet.

Tabelle 2.1: Dämpfung verschiedener Materialien [15]

Material	Materialstärke	Dämpfung[%]
Gips	<10 cm	10
Glas (ohne Metallbeschichtung)	<5 cm	10
Holz	<30 cm	20
Stein, Pressspanplatten	<30 cm	30
Ziegelstein	<30 cm	35
Eisenarmerter Beton	<30 cm	30...90
Decke	<30 cm	70
Außenwand	<30 cm	60
Metallgitter	<1 mm	90
Aluminiumkaschierung	<1 mm	100

2.1.2 Interferenzen

Durch Überlagerung mehrerer Wellen mit unterschiedlichen Amplituden oder Phasen von anderen Systemen oder einer Reflexion des eigenen Signals, kommt es zu einer konstruktiven oder destruktiven Interferenz. Das Signal kann entweder verstärkt, abgeschwächt oder gar ausgelöscht werden. Auslöschungen können jedoch durch minimale Verschiebung des Senders oder Empfängers umgangen werden.

2.1.3 Störfrequenzen

In einem Haushalt gibt es eine große Anzahl an Geräten mit unterschiedlichen drahtlosen Systemen, welche mit den selben Frequenzen arbeiten. Einige davon können einen negativen Einfluss auf die „Smart Home“ Signale haben, sofern sie auf den gleichen Frequenzbändern senden. Störfrequenzen können das Signal deutlich abschwächen oder gar ganz auslöschen. Die Tabelle 2.2 zeigt mögliche Systeme, die Störquellen für die zu untersuchenden „Smart Home“ Funksignale darstellen könnten.[4]

Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T), welches im Frequenzbereich von 470 - 790 MHz sendet und das Digitalradio (DAB), welches im Bereich von 1452 - 1492 MHz sendet, sind Rundfunksignale, die in großem Maße in der Luft vorhanden sind. Diese Systeme besitzen jedoch ein geringeres Störpotenzial als die in der Tabelle 2.2 aufgeführten Systeme, deren Sender innerhalb der Haushalte oder in angrenzenden Haushalten installiert sein können. Das proprietäre „Smart Home“ System HomeMatic, welches im 868 MHz ISM-Band sendet, wird in Kapitel 4 besonders genau geprüft.

Tabelle 2.2: Mögliche Störfrequenzen für „Smart Home“ Geräte in Deutschland (Sortierung nach Frequenzen)[3]

Störung	Band[MHz]	Anwendungsbereich
BOS Funk	390 - 395	Polizei, Feuerwehr
Autoschlüssel	400 - 470	
UHF - Band	420 - 450	Militär
HomeMatic	868 - 870	Smart Home
UHF - Band	890 - 942	
GSM R	890 - 960	Deutsche Bahn
LTE	719 - 821	Mobilfunknetz
GSM 900	925 - 960	Mobilfunknetz
L - Band	1215 - 1400	Satellitenkommunikation
GPS	1227/ 1575	L - Band
GSM 1800	1805 - 1885	Mobilfunknetz
GSM 1900	1930 - 1990	Mobilfunknetz
UMTS	2110 - 2200	Mobilfunknetz
Videoüberwachung	2320 - 2400	
Bluetooth	2400 - 2483,5	
Mikrowellenherd	2455	
Babyphone	2400 - 2483,5	
LTE	2620 - 2690	Mobilfunknetz

2.2 Übertragungstechnologien

2.2.1 Schicht 1/2 des OSI-Modells

Die Basis-Funktionen aller genannten Übertragungsprotokolle werden mit Hilfe der unteren zwei Schichten des *Open Systems Interconnection Models* (OSI-Modells) beschrieben. Das Modell ist eine Empfehlung für die Grundlage zur Bildung offener Kommunikationsstandards.

Das OSI-Modell besteht aus sieben unterschiedlichen Schichten, welche jeweils ihre eigene Aufgabe erfüllen. In diesem Abschnitt werden die unteren zwei Schichten genauer beschrieben. Abbildung 2.1 stellt das OSI Modell in einer Übersicht dar.

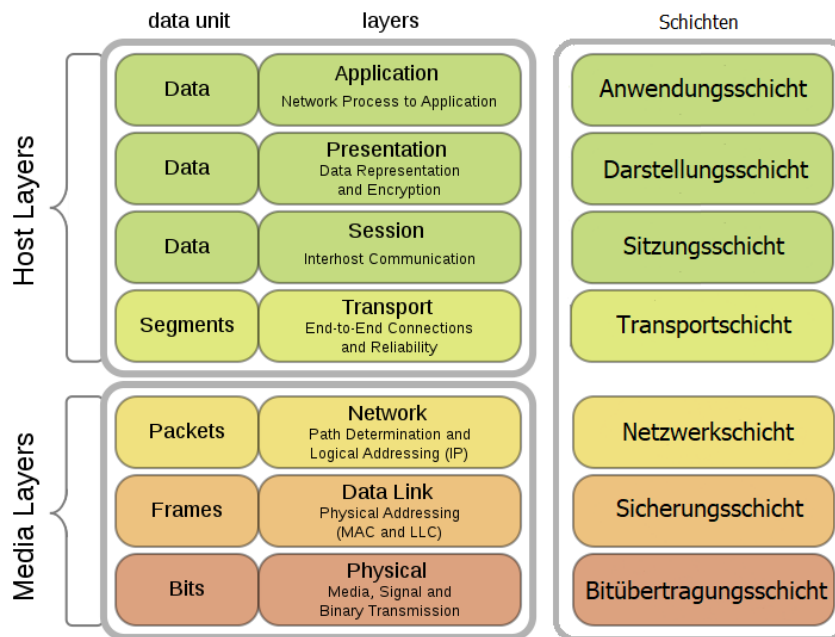


Abbildung 2.1: ISO-OSI-7 Modell [20]

Physikalische Schicht (PHY)

Die PHY - Schicht ist die unterste Schicht des OSI-Modells und ist für folgende Aufgaben zuständig:

- Zugriff auf das physikalische Medium (inkl. Frequenzauswahl) und Einstellung der Sendeleistung
- Modulation: „Bevor Daten über die Antenne versendet werden, stehen diese Daten binär zur Verfügung. Da über die Antenne elektromagnetische Wellen versendet werden, müssen die Daten in irgendeiner Form als analoges Wellensignal codiert bzw. moduliert werden.“ [14] Die wichtigsten Modulationsarten für den „Smart Home“ Bereich sind folgende:
 - Frequency Shift Keying (FSK): Bei der zweiwertigen FSK schaltet das binäre Nachrichtensignal die Frequenz eines harmonischen Oszillators zwischen zwei Frequenzen um. Dieses Verfahren kann auch mit mehreren Frequenzen arbeiten, wie beispielsweise 4-FSK. Wegen der Einfachheit wird es für kleine Datenraten bei der Funkübertragung genutzt.

- Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK): Zur weiteren Reduzierung der benötigten Bandbreite wurde die GFSK eingeführt. Bei diesem Verfahren wird ein Gaußscher Filter eingesetzt, um hochfrequente Teile des Signals herauszufiltern.
- Amplitude Shift Keying (ASK): Der Leistungspegel des Sendersignals wird angepasst, um das binäre Nachrichtensignal zu senden. Die Information wird auf der physischalen Schicht invertiert. Somit wird eine logische '1' gesendet, wenn der Leistungspegel niedrig ist. Beim Senden einer logischen '0' ist der Leistungspegel hoch. [12]

MAC (Medium Access Control) - Schicht

Die MAC-Ebene ist eine von zwei Subschichten der Sicherungsschicht (engl. *Data Link Layer*). Folgende Aufgaben übernimmt diese Schicht:

- Mehrfachzugriff und Kollisionsvermeidung: Hier geht es um die Problemstellung, dass mehrere Nutzer gleichzeitig auf das Übertragungsmedium zugreifen wollen. Die wichtigsten Mechanismen dafür sind:
 - Carrier Sense Multiple Access - Collision Avoidance (CSMA-CA), auf Deutsch etwa *Trägerabfrage mit Mehrfachzugriff und Kollisionsvermeidung*: Der Funkkanal wird zunächst abgehört und Daten werden nur bei Nichtbelegung gesendet. Wird eine Belegung festgestellt, erfolgt nach einem gewissen Pausenintervall ein neuer Versuch. Auch unter *Listen Before Talk (LBT)* bekannt.
 - ALOHA (erstmalig eingesetzt für das ALOHAnet auf den Inseln von Hawaii): „Tritt eine Kollision auf, müssen die beteiligten Funkmodule ihre Daten erneut senden“. [14]
- Kanalcodierung und Fehlerkorrektur: Die Korrektur basiert auf Prüfsummen, welche beim Senden generiert und beim Empfangen geprüft werden.
- ID-Adressierung: Jedes Netzwerk und Gerät wird mit einer einmaligen ID definiert.

Die zweite Subschicht der Sicherungsschicht ist die Logical Link Control-Ebene. Sie ist für das erfolgreiche Empfangen der Datenpakete und das Weiterleiten an die oberen Schichten zuständig:

- Empfangsbestätigung (Acknowledge (*ACK*)): Ein erfolgreicher Empfang der Datenpakete wird durch Senden eines ACK-Paketes bestätigt. Zusätzliche Kommunikationsfehler können vermieden werden. [13]

2.2.2 WLAN

WLAN ist die Kurzstreckenfunktechnologie, die in den meisten alltäglichen Geräten wie Notebooks, Tablets oder Smartphones vertreten ist. Hinter WLAN steht der Standard IEEE 802.11, dieser ist eine Spezifikation des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 802.11 ist die IEEE Standard Gruppe, danach kommt die genaue Bezeichnung, gekennzeichnet durch einen Buchstaben, welcher die Übertragungsgeschwindigkeit angibt. Aktuell weitverbreitet ist die IEEE802.11n mit 600 Mbit/s.[9] Frequenzband, Modulation und Bandbreite unterscheiden die Weiterentwicklungen des Standards ebenfalls. Gefunkt werden kann auf dem 2,4 GHz Band oder 5 GHz Band. Entwickelt wurde IEEE 802.11, um große Datenmengen zu transportieren, was eine möglichst hohe Datenrate voraussetzt. Der Fokus auf Geschwindigkeit, hohe Sicherheit und hohe Datenübertragungsraten bringt eine höhere Sendeleistung mit sich, was zu einem höheren Energieverbrauch führt.

Mit einer Sendeleistung von 100 mW wird eine Reichweite von 30 bis 100 Metern im Freien erreicht. In Gebäuden wird die Reichweite stark von Hindernissen und den verwendeten Materialien sowie deren Form beeinflusst. Signale können durch Materialien wie Metall, Beton oder Stein, und ganz besonders bei Feuchtigkeit gedämpft werden, was beispielsweise bei feuchten Rigipswänden zu Funkproblemen führen kann. Repeater oder ein Mesh System ermöglichen es aber die Reichweite zu erhöhen.

Repeater

WLAN - Repeater arbeiten auf der physikalischen OSI-Schicht. Sie nehmen die Funkfrequenz des WLAN - Routers auf, verstärken sie und senden das empfangene Funksignal als verstärktes Signal weiter (siehe Abschnitt 2.2).Die Bandbreite wird dabei halbiert, da das Netz zum Datenaustausch mit dem Router und dem Endgerät geteilt werden muss. Eine weitere Schwierigkeit ist der „Klebeeffekt“. Dieser Effekt tritt auf, wenn das Empfangsgerät sich in der Nähe des Repeater befindet, aber dennoch das schwache Signal vom Router empfängt.

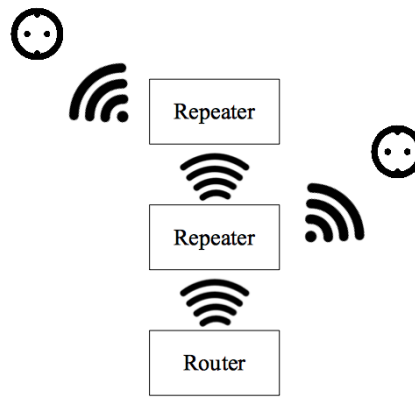


Abbildung 2.2: Repeater Netzwerk

Mesh-System

Das Mesh System ist für die WLAN Technik relativ neu und noch nicht weitverbreitet. Man kann sich unter dem Begriff „Mesh“ ein vermaschtes Netz vorstellen, ähnlich wie ein Spinnennetz. Es besteht aus mehreren Knotenpunkten, die je nach Situation alle direkt miteinander verbunden sind. Diese Knoten können verschiedenste Geräte in einem „Smart Home“ sein und kommunizieren automatisch miteinander, um die Daten auf dem bestmöglichen Weg, je nach Frequenzsituation, zum Empfänger zu senden. Die Abbildung 2.3 zeigt ein Beispiel eines solchen Netzes.

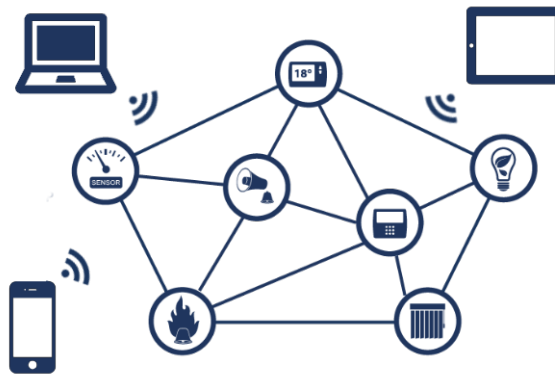


Abbildung 2.3: Mesh Netzwerk[18]

Außerdem kann es zu Störungen durch konkurrierende Funksysteme wie Bluetooth kommen, da WLAN auf dem öffentlichen 2,4 GHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) Frequenzband sendet. Die Weiterentwicklung IEEE-802.11n/ac des Standards agiert auf dem 5 GHz Band, welches durch die relativ geringe Nutzung bessere Übertragungsbedingungen bietet. Es treten dafür aber häufiger Reichweitenprobleme durch die kleinere Wellenlänge auf. Hierbei schafft ebenfalls das Mesh System Abhilfe. Je nach

Auslastung wird ein anderer Knotenpunkt gewählt oder zwischen den Frequenzbändern gewechselt. Auf die Übertragungsgeschwindigkeiten wird nicht weiter eingegangen, da sie nicht relevant für den „Smart Home“ Bereich sind. Es werden nur kurze Impulse oder kleine Datenmengen, wie beispielsweise der Energieverbrauch der Steckdosen, gesendet. [19]

2.2.3 DECT

Die DECT Funktechnologie ist größtenteils aus dem Bereich der schnurlosen Telefonie bekannt. Das zentrale Einsatzgebiet von DECT ist die picozellulare Telefonie im inneren von Gebäuden.

Der erneuerte Standard DECT ULE (*Ultra Low Energy*) wurde für die Hausautomation entwickelt. Die Batterielaufzeit konnte durch eine Reduzierung des Stromverbrauchs auf ein Minimum reduziert werden. Ein geringer Energieverbrauch und die schon bekannte Technologie macht es DECT ULE möglich, im Bereich Smart Home erfolgreich eingesetzt zu werden.[2]

Der Standard TS 102 939 des ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) definiert, dass auf dem eigens für DECT reservierte Frequenzband bei 1800 MHz gesendet wird. Dadurch kann das System nicht durch andere Funkanwendungen gestört werden. Mit einer Sendeleistung von bis zu 250 mW (24 dBm) wird eine Reichweite von 300 Metern im Freien und idealerweise 100 Metern innerhalb von Gebäuden erreicht. Mit einem Repeater System lässt sich die Reichweite noch problemlos erweitern. Ein Mesh System wird dabei nicht verwendet.[7]

Interoperabilität

Das DECT System für die schnurlos Telefonie ist schon in vielen Haushalten im Router vorhanden. Diese können einfach auf die ULE Funktion aktualisiert werden. Die unteren vier Schichten des Kommunikationsmodells sind vom ETSI standardisiert. Die ULE Allianz legt das „HAN-FUN“ (*Home Area Network: FUNctional protocol*) Protokoll auf der Anwendungsschicht fest. Dieses Protokoll definiert die Eigenschaften der Geräte und die Anforderungen an die ULE Geräte für eine erfolgreiche Kompatibilität der Geräte untereinander. Die erste Version des „HAN-FUN“ definiert mehr als 24 verschiedene Geräte.

2.2.4 Z-Wave

Die Z-Wave Allianz hat die Z-Wave-Funktechnologie speziell für die Gebäudeautomatisierung entwickelt und so ein beliebig erweiterbares Smart Home-System ausgearbeitet. Z-Wave war anfangs ein proprietäres System, das heißt der Standard war herstellerspezifisch und nicht für jeden frei benutzbar. Erst 2012 wurde der Standard veröffentlicht. Es ist somit möglich, Z-Wave Chips auch von anderen Unternehmen zu erwerben und in die eigenen Geräte zu verbauen.

Gesendet wird im 868 MHz ISM-Band, welches nicht so stark genutzt wird wie zum Beispiel das 2,4 GHz Band. Die Sendeleistung ist bei Z-Wave maximal 25 mW, was einer Reichweite von 200 Metern im Freien und 40 Metern in Gebäuden entspricht. [15]

ITU-T G.9959

Die Datenkommunikation ist im Standard G.9959 von der ITU-T (*International Telecommunication Union*) festgelegt. Auf der Anwenderenebene können die Hersteller eigene Befehle vorstellen. Diese müssen dann von der Z-Wave Allianz bestätigt werden. Die Interoperabilität ist somit gesichert. Die ersten zwei Schichten sind im Standard ITU-T G.9959 beschrieben.

PHY-Schicht beschreibt die Datenübertragung vom Sender zum Empfänger. Die Daten können in drei möglichen Kanälen, die sich in ihrer Datenrate, Modulation und der genutzten Frequenz unterscheiden, gesendet werden. Somit kann man nach Bedarf auf einen anderen Kanal zurückgreifen, sobald im genutzten Kanal Störungen auftreten (siehe Abschnitt 2.2.4). Eine weitere Methode, um das Signal unempfindlicher für Störungen zu machen, ist die Frequenzumtastung (FSK). (siehe Abschnitt 2.2.1)

Tabelle 2.3: Vergleich der Z-Wave Kanäle

Kanal	1	2	3
Datenrate[kbit/s]	9,6	40	100
Modulation	FSK	FSK	GFSK
Frequenz[MHz]	868.4	868.4	869.85

MAC-Schicht Alle Z-Wave Datenpakete werden durch ihre Home-ID und die Geräte-IDs vom Sender und Empfänger identifiziert. Home-IDs trennen die einzelnen Netzwerke voneinander. Die Geräte-ID wird genutzt, um individuell Geräte

in einem Netz zu adressieren. Die maximale Anzahl an Geräten beträgt 232. Die bidirektionale Kommunikation zwischen Sender und Empfänger über ein Acknowledge-Paket (*ACK*) ermöglicht einen besseren Systemaufbau. [13]

Netzwerkorganisation

In einem Z-Wave Netz befinden sich Controller und Slaves. Controller sind Geräte, welche die Steuerung initiieren und für die Organisation des Netzes verantwortlich sind. Es gibt verschiedene Typen von Controllern: einen Primär und Sekundär Controller. Der Primär Controller darf als einziger neue Geräte im Netz hinzufügen und deren Home-ID übermitteln. Beide senden Befehle an die anderen Geräte im Netz. Die Slaves antworten auf den Befehl oder geben ihn weiter. Dies macht es möglich, auch mit Geräten, die nicht in Reichweite des Controllers sind, zu kommunizieren. Es handelt sich also um ein vermaschtes Netz oder auch *meshed network*. Ein solches System ist offen für beliebige Routen und führt zu einem stabileren und weniger fehlerbehafteten Netz. Die Länge der Route ist durch eine maximale Route zwischen zwei Geräten über vier Hops (Sprünge) begrenzt. Das heißt es dürfen höchstens drei Geräte zwischen den kommunizierenden Geräten liegen.

Routing

Der bestmögliche Weg, den ein Paket im Netzwerk nimmt, wird vom Primär Controller bestimmt. Die Routingtabelle mit allen direkten Funkbeziehungen der Geräte untereinander wird von ihm organisiert. Bei Veränderungen des Netzes durch Hinzufügen neuer Geräte oder durch Neuplatzierung der Geräte passt der Controller seine Routingtabelle automatisch an die neue Situation an. Die Routeninformation wird bei jedem Absenden im Datenrahmen versendet.

Die Slave-Geräte haben keine Informationen zu den Routen. Sie müssen nicht selbst entscheiden welche Route das Paket nehmen soll. Dieses Verfahren nennt sich *statisches Source-Routing* und führt zu einer minimalen Netzbelastung. Ein großes Problem bei diesem Verfahren gibt es dennoch. Bei Fehlsendungen der Pakete, versucht der Sender den Empfänger insgesamt drei mal zu erreichen. Danach wird eine Alternativroute ermittelt. Nach ebenfalls drei Versuchen in drei weiteren Routen, bricht der Controller den Kommunikationsversuch ab. Routen können sich somit bei Störungen immer wieder verändern und führen zu einer starken Netzbelastung.

Der Funkverkehr wird erheblich beeinträchtigt und kann zu weiteren Problemen im Netz führen. Der Sender selbst wird auch blockiert und kann erst nach dem Kommunikationsversuch weitere Datenpakete an andere Geräte verschicken.

Aktualisierung

Um die Routinginformation im Netz auf dem aktuellsten Stand zu halten, nutzt Z-Wave zwei Methoden. Zum Einen gibt es den Statischen Update Controller (SUC). Er besitzt als einzige Instanz immer die aktuellsten Informationen über die Routen im Netzwerk. Alle Änderungen werden an den SUC geschickt. Falls so ein Gerät im Netz nicht vorhanden ist, gibt es diese Möglichkeit nicht. Für diesen Fall gibt es die zweite Methode. Sogenannte „Explorer-Frames“ werden durch das gesamte Netz gesendet. Das Slave-Gerät, welches seine Verbindung zum Controller verloren hat, baut so wieder eine korrekte und funktionierende Route zum Ziel auf. Der Primär-Controller aktualisiert seine Routingtabelle entsprechend. [15]

2.2.5 ZigBee

ZigBee ist einer von vielen Kommunikationsstandards, welche eine Spezifikation des IEEE 802.15.4 Standards ist. Die physikalische Schicht, also die Funkkommunikation, ebenso die MAC-Schicht werden damit einheitlich definiert. Die Vermittlungsschicht und die Anwendungsschicht werden von der ZigBee Allianz spezifiziert. Der sehr geringe Energieverbrauch und die kleinen Datenmengen sind speziell für die Anwendung im Bereich Smart Home entwickelt worden. [14]

IEEE 802.15.4

Die üblichen Standards - wie WLAN - benötigen zur Übertragung der Daten wesentlich komplexere Informationen, welche bei der Hausautomation nicht relevant sind. Bei dem IEEE 802.15.4 Standard werden diese Informationen auf ein Minimum reduziert, um gleichzeitig die Übertragungszeit zu verkürzen. Die Einfachheit und ein automatisiertes Mesh System führen zu einer erheblichen Energieeinsparung. Das Besondere am ZigBee Mesh System ist, dass es kein Limit an Hops (Sprüngen) zwischen den einzelnen Geräten gibt. Es können demnach so viele Geräte wie gewünscht als Zwischenschritt genutzt werden, was die Reichweite erheblich steigern kann.

Die ZigBee Allianz entwickelte eine Vielzahl an Spezifikationen der höheren Ebenen des OSI-Modells für verschiedene Anwenderprofile. Alle setzen zwar auf den IEEE 802.15.4 Standard, aber sind dennoch sehr verschieden definiert. Nicht alle ZigBee fähigen Geräte sind demnach untereinander kompatibel.

Grundsätzlich wird über das 2,4 GHz Band kommuniziert, es kann aber auch das 868 MHz ISM-Band genutzt werden. Nach der Spezifikation der Gebäudeautomation liegt die Reichweite bei maximal 70 Meter in Gebäuden und 400 Meter im Freien.[11]

2.2.6 EnOcean

Der EnOcean Standard steht für drahtlose Systeme mit einem sehr geringen Energieverbrauch. Das besondere an diesem Protokoll ist, dass die Module des Systems Energie aus deren Umgebung wie zum Beispiel aus Bewegung, Licht oder Temperaturunterschieden ziehen können. Diese Eigenschaft wird auch „Energy - Harvesting“ bezeichnet. Die Geräte können also unabhängig von externen Energieversorgungen arbeiten. Dies führt zu einer enormen Steigerung der Energieeffizienz und Flexibilität.

ISO/IEC 14543-3-10

Das Protokoll wurde durch den ISO/IEC 14543-3-10 Standard in den unteren drei OSI-Schichten definiert. Für die darüber liegenden Schichten ist die EnOcean Alliance zuständig. Die physikalische Schicht sieht vor, dass im 868 MHz ISM-Band, wie auch bei dem Z-Wave Protokoll, gesendet wird. Die Informationen werden durch das ASK auf die Trägerfrequenz moduliert. Die Amplitudenumtastung ist relativ stör anfällig, weil Störungen auf der Übertragungsleitung die Amplitude des modulierten Signals beeinflussen. Für eine störungsfreie Übertragung ist daher eine relativ große Trägeramplitude erforderlich. Mit einer Sendeleistung von maximal 20 mW, wird eine maximale Reichweite von 300 Metern im Freien und 30 Metern in Gebäuden erreicht.

Das Protokoll unterstützt kein Mesh-System zum Routen der Pakete. Die Reichweite kann jedoch durch Einsatz von Repeatern vergrößert werden. Da nicht alle Komponenten bidirektional senden, ist die Kommunikation minimal eingeschränkt. Sensoren und Aktoren können meist nur als Empfänger oder Sender dienen, weil das „Energy - Harvesting“ nicht genug Energie liefern kann. Um zusätzlich Energie zu sparen, werden nur kleine Datenpakete versendet. EnOcean benutzt zur Vermeidung von Kollisionen mit anderen Datenpaketen die *LBT* Methode. Es ist nur eine optionale Funktionalität und wird nicht in allen Funkmodulen genutzt. Das Problem kann auch durch die Versendung sehr kurzer Datenpakete, die meist mehrfach gesendet werden, gelöst werden.[12]

2.2.7 Vergleich

Die Tabelle 2.4 zeigt die zu untersuchenden Übertragungsprotokolle mit den dazugehörigen Frequenzbändern und Sendeleistungen. Die angegebene Reichweite ist ein Maximalwert und wird nur im Freien mit direkter Sicht erreicht.

Tabelle 2.4: Vergleich nach [7], [13], [11], [12]

	Band[MHz]	Leistung[mW]	Reichweite[m]
WLAN (IEEE802.11b/g)	2400 - 2483,5	100	100
WLAN (IEEE802.11n/ac)	5725 - 5875	1000	30
DECT	1800 - 1900	250	300
Z-Wave	868 - 870	25	200
ZigBee	868 - 868,6 / 2400 - 2483,5	10	100
EnOcean	863 - 868,3	20	300

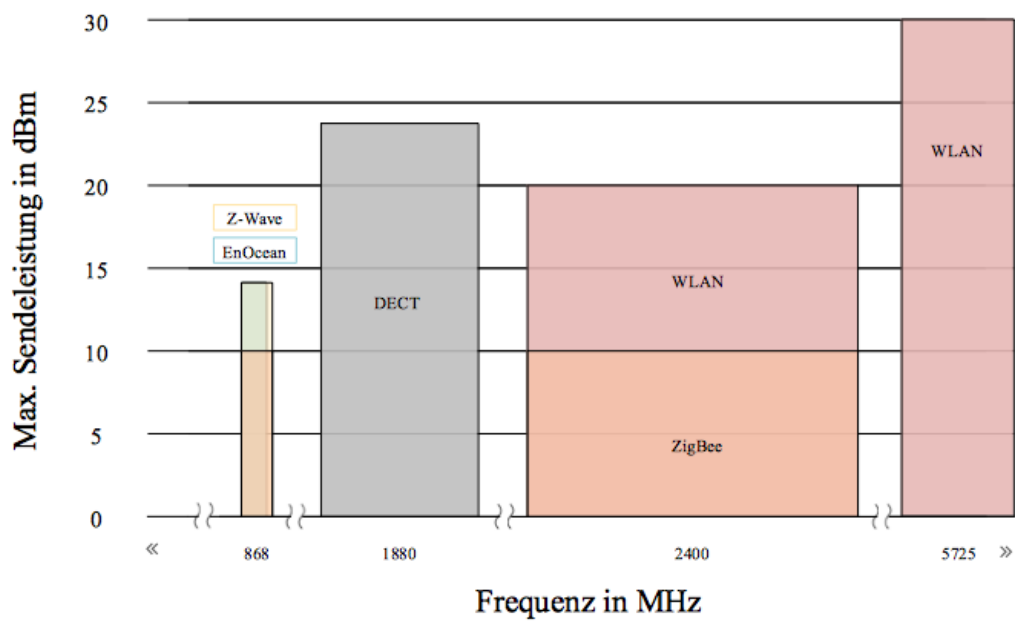


Abbildung 2.4: Relevante Smart Home Frequenzbänder

2.3 Smart Home

Ein Haushalt wird als „Smart Home“ bezeichnet, wenn Haushaltsgeräte und die gesamte Haustechnik miteinander kommunizieren und ferngesteuert werden können. Durch die Automatisierung der Alltagsabläufe, kann das Wohnen nicht nur komfortabler, sondern auch sicherer und effizienter gestaltet werden. Die Idee des „Smart Home“ gab es schon in den 70er Jahren. Haushalte wurden durch Kabel vernetzt und konnten somit gesteuert und kontrolliert werden.

Heutzutage wird das Ganze mit Hilfe von Smartphones oder Tablets als Bedienelement realisiert. Durch Sprachsteuerung wie *Siri (Apple)*, *Alexa (Amazon)* oder *Google Assistant* ist die Bedienung noch einfacher umsetzbar.

Ein intelligentes Haus besteht aus zwei wichtigen Komponenten. Das wären einmal die **Aktoren**, die Aktionen ausführen. Dazu gehören alle steuerbaren Geräte wie zum Beispiel Lichtdimmer, Fensteröffner oder Heizungsthermostate. Die zweite Komponente sind die **Sensoren**, welche physikalische Größen wie Feuchtigkeit, Helligkeit oder Temperatur erfassen und jederzeit den genauen Status des Hauses senden. Der Controller kommuniziert mit allen im Stauernetz vorhandenen Geräten und fragt deren Status ab. In einem zentralen Bedienelement, meist ein Smartphone oder Tablet, kommen alle Informationen zusammen.

Die Visualisierung des Status gibt den Hausbewohner genaue Verbrauchs- sowie Alarmanzeigen. Der Bewohner kann über die Zentrale eigenständig Automatisierungen programmieren sowie Aktoren in Abhängigkeit der Messergebnisse und Informationen steuern.

Eine weitere Komponente in einem „Smart Home“ ist die Zentrale. Sie ist das Herzstück des Hauses. Hier kommen alle Signale zusammen.

„Die Smart Home-Zentrale ist damit das Bindeglied zwischen dem Smart Home-Netz und deinem heimischen Netzwerk. Daher wird die Smart Home-Zentrale oft als *Bridge* (Brücke) oder auch als Gateway bezeichnet.“ [2]

Diese vier Elemente, also Sensor, Aktor, Bedienelement und Gateway bilden ein typisches Smart Home Netzwerk. Die Kommunikation unter den einzelnen Elementen kann kabelgebunden aber auch drahtlos, geschehen. (siehe Abbildung 2.5)

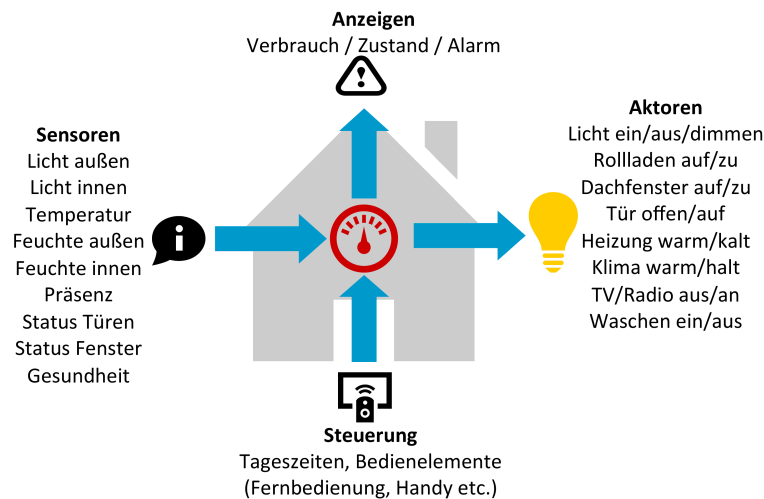


Abbildung 2.5: Smart Home [15]

2.3.1 Homee

Das Smart Home System *Homee* wurde vom Unternehmen *Codeatelier* entwickelt. Das Unternehmen hat sich auf das Internet der Dinge (engl. Internet of Things (*IoT*)) spezialisiert und hat seinen Sitz in Stuttgart. Das *IoT* beschreibt wie Alltagsgegenstände zunehmend ein Teil des Internets werden. Dinge können so automatisiert Aufgaben für den Anwender erledigen.[6]

Überblick

Das Besondere an dem Produkt *Homee* ist, dass es Geräte mit verschiedenen Funkstandards miteinander verbindet. Der Brain Cube ist das Basiselement, welches für die Kommunikation zum Smartphone und den verschiedenen Geräten zuständig ist. Bei *Homee* wird nach dem modularen Würfelprinzip gearbeitet.

Unterschiedliche Würfel werden magnetisch auf den Brain Cube aufgesetzt und sind für die verschiedenen Funktechnologien ausgelegt. Dies schafft die Möglichkeit, nach Belieben um weitere Würfel zu erweitern. Der Basis Würfel sendet in dem Übertragungsprotokoll WLAN, desweiteren werden Würfel mit den Technologien Z-Wave, Zig-Bee und EnOcean angeboten. Die maximale Reichweite beträgt nach Herstellerangaben lediglich 15 Meter. Eine Übersicht der Würfel ist in Abbildung 2.6 zu sehen.[5]



Abbildung 2.6: Homee Brain Cube (weiß), Z-Wave Cube (violett), ZigBee Cube (orange) und EnOcean Cube (türkis) [10]

Bedienung

Die Homee App zur Bedienung des Systems läuft auf einem Smartphone oder Tablet und ist sehr übersichtlich aufgebaut. Die App besteht aus drei Segmenten „Geräte“, „Homeogramme“ und „Gruppen“ sowie einer Übersicht der Einstellungen. Die Homeogramme sind ein wichtiger Teil der Messungen in Kapitel 4. Alternativ kann der Homee auch durch eine WebApp über jeden beliebigen Webbrowser bedient werden.

Homeogramme

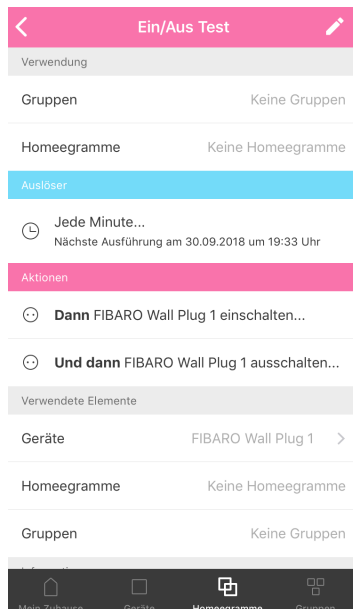


Abbildung 2.7: Homeogramm

Die Programme, welche durch einstellbare Bedingungen Aktionen auslösen, heißen bei Homee *Homeogramme*. Sie funktionieren über WENN/DANN - Programmierungen. Die Abbildung 2.7 zeigt ein Homeogramm, welches jede Minute das Einschalten und ein unmittelbares Ausschalten einer Z-Wave Steckdose der Firma *Fibaro* auslösen soll.

2.3.2 Funksteckdosen

In einem Smart Home werden Funksteckdosen gerne zur Steuerung von nicht „smarten“ Geräte verwendet. Das können z.B. Lampen, Fernseher oder Drucker sein. Ein Teil der Funksteckdosen, die auf dem Markt sind, messen gleichzeitig den Energieverbrauch der angeschlossenen Geräte und senden die Information an das verwendete Bedienelement weiter. Die Messung des Energieverbrauchs und die Kompatibilität mit dem Homee Würfel waren die Voraussetzungen für den Einsatz in der Messung. Die folgenden Funksteckdosen wurden verglichen:

- DECT: *AVM FRITZ!DECT 200*
- Z-Wave: *Fibaro Wall Plug*
- ZigBee: *Bitron Smart Plug*
- EnOcean: *Afriso APR 234*

Datenblätter zu den Steckdosen (siehe A.1.2), (siehe A.1.3), (siehe A.1.4), (siehe A.1.5)



Abbildung 2.8: Fibaro Wall Plug [8]

3 Messvorbereitung

3.1 Einleitung

Zehn Mitarbeiter bekamen von den Stadtwerken Norderstedt Equipment (Homee, Z-Wave Steckdosen) zum Testen einer Alternativauswahl für das Teilprojekt von NEW 4.0 zur Verfügung gestellt. Eine Umfrage dazu ergab, dass in zwei von zehn Testumgebungen Stabilitäts- sowie Verbindungsprobleme beobachtet wurden. Zusätzlich wurde festgestellt, dass drei der befragten Haushalte mit dem *HomeMatic* System ausgestattet sind. (siehe Anhang A.2)

Die Verbindungsprobleme in dem Z-Wave Netzwerk in den untersuchten Haushalten können verschiedenste Gründe haben. Andere Systeme wie HomeMatic, welches in allen getesteten Haushalten vorhanden ist, können mit dem System interferieren und so die Verbindung stören. Möglicherweise werden die Reichweiten durch Materialien sowie Aufbau des Haushaltes reduziert, was wiederum ein Problem für das Mesh-Netzwerk darstellen kann.

Um die Probleme genauer zu analysieren, wird in Kapitel 4 eine genaue systematische Messung von Z-Wave Paket-Sendungen sowie deren Funksignalverhalten in verschiedenen Situationen begutachtet. Genauere Beschreibungen dieser sind im Abschnitt 4.2 zu finden. Die Auswertung der Messungen wird in Kapitel 5 dargestellt. Es werden für den späteren Vergleich zusätzlich die ZigBee sowie EnOcean Module funktechnisch vermessen. Die Arbeit befasst sich hauptsächlich mit der Verbindung des Homee Würfels zu den Funksteckdosen, der WLAN-Link wird nicht begutachtet. Die Abbildung 3.1 zeigt eine Übersicht eines typischen Signalwegs von der Befehlsabsendung bis zum Z-Wave Gerät.

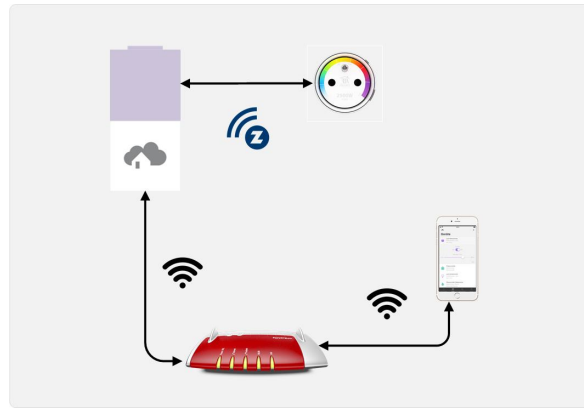


Abbildung 3.1: Übersicht

3.2 Messobjekte

Die fünf Haushalte, in denen die Messungen durchgeführt werden, sind sehr individuell zu betrachten. Der Aufbau und die Materialien können zu sehr verschiedenen Problemen führen. Um Messverfälschungen etwas einzugrenzen, wurde in den Haushalten die gleiche Hardware, das heißt identischer Homee und vier baugleiche Z-Wave Steckdosen sowie jeweils eine ZigBee und EnOcean Steckdose, verwendet. Die genaue Liste der verwendeten Geräte ist in Abschnitt 2.3.2 nachzulesen. Die Firmware und die Software des Homees sind bei den Messungen auf dem gleichen Stand. So lassen sich Messfehler durch defekte Geräte und unterschiedliche Updates eindämmen.

3.3 Messinstrumente

3.3.1 Hardware

Spektrum Analyzer

Für die Außenmessungen ist der von den Stadtwerken Norderstedt zur Verfügung gestellte mobile Spektrum Analyzer der Marke AAronia zum Einsatz gekommen. Die genaue Bezeichnung lautet *Spectran 60100 V4* und ermöglicht die Messung von hochfrequenten Feldern. Der Frequenzbereich liegt bei 1 MHz hoch bis 9,4 GHz. Die hohe Empfindlichkeit des Empfängers von -170dBm macht die Ermittlung von Frequenz- und Signalstärken unproblematisch. Der interne Vorverstärker ermöglicht die Messung extrem schwacher Signale. Folgende Einstellungen sind für die Messungen wichtig:

- RBW (resolution bandwidth): Einstellung der Detailtreue und Empfindlichkeit. Wird die Bandbreite sehr hoch gewählt, erfolgt der Sweep sehr schnell, dadurch wird die Anzeige jedoch ungenau und die Empfindlichkeit verringert sich. Sehr schwache Signale werden so nicht mehr erfasst.
- VBW (video bandwidth filter), dient zur optischen Glättung des Signals. Je niedriger der Filter eingestellt ist, desto breiter erscheint das Signal. Bei schwachen Signalen sollte der Video-Filter möglichst hoch eingestellt werden.
- SwTime (Sweep-Time), bestimmt die Messdauer. Je länger die Zeit, desto genauer erfolgt die Messung.

Antenne

Die mit dem Spektrum Analyzer mitgelieferte logarithmisch periodische *HyperLog 60100* Antenne ist bestens geeignet für Störfrequenzmessungen. Die gute Breitbandeigenschaft ermöglicht Messungen im gesamten spezifischen Frequenzbereich. Der Frequenzbereich liegt bei 680 MHz - 10 GHz. Es wird eine maximale Sendeleistung von 100 W erreicht. In diesem Fall bedeutet Sendeleistung, die Leistung, die die Antenne aufnehmen kann. Ein Gewicht von nur 250 Gramm ist ideal für die mobile Nutzung. Die genauen Daten können im Anhang A.1.1 eingesehen werden. Die Abbildung 3.2 zeigt ein Abbild der Antenne und des Analyzers.



Abbildung 3.2: Aaronia Spectran V4 (Abbildung weicht vom Original ab) [1]

3.3.2 Software

Die MCS Software von Aeronia ist für die genaue Aufzeichnung und Steuerung des Spectran Spektrum Analyzers zuständig. Das Controllerfenster ist die Hauptschnittstelle zur Einstellung der Parameter des Spectran Messgerätes. Optionen, wie das Wasserfalldiagramm, welches in Form einer „Heatmap“ eine bessere zeitliche Analyse darstellt oder die Histogrammgrafik, welche Häufigkeiten bestimmter Messwerte für jede Frequenz liefert, sind vorhanden. Die Abbildung 3.3 gibt einen Einblick über die grafische Benutzeroberfläche des Spektrum Analyser. Das Beispiel zeigt im oberen Bereich das Frequenzspektrum. Die Leistungen der gemessenen Signale werden im jeweiligen Frequenzbereich in dBm aufgenommen. Im unteren Bereich ist das dazugehörige Wasserfalldiagramm zusehen. Hier werden die Leistungen der Signale zeitlich in fünf ms Schritten im jeweiligen Frequenzbereich erfasst. Die gelben Linien zeigen bei einer bestimmten Uhrzeit einen Leistungspegel von etwa -40 dBm. [1]

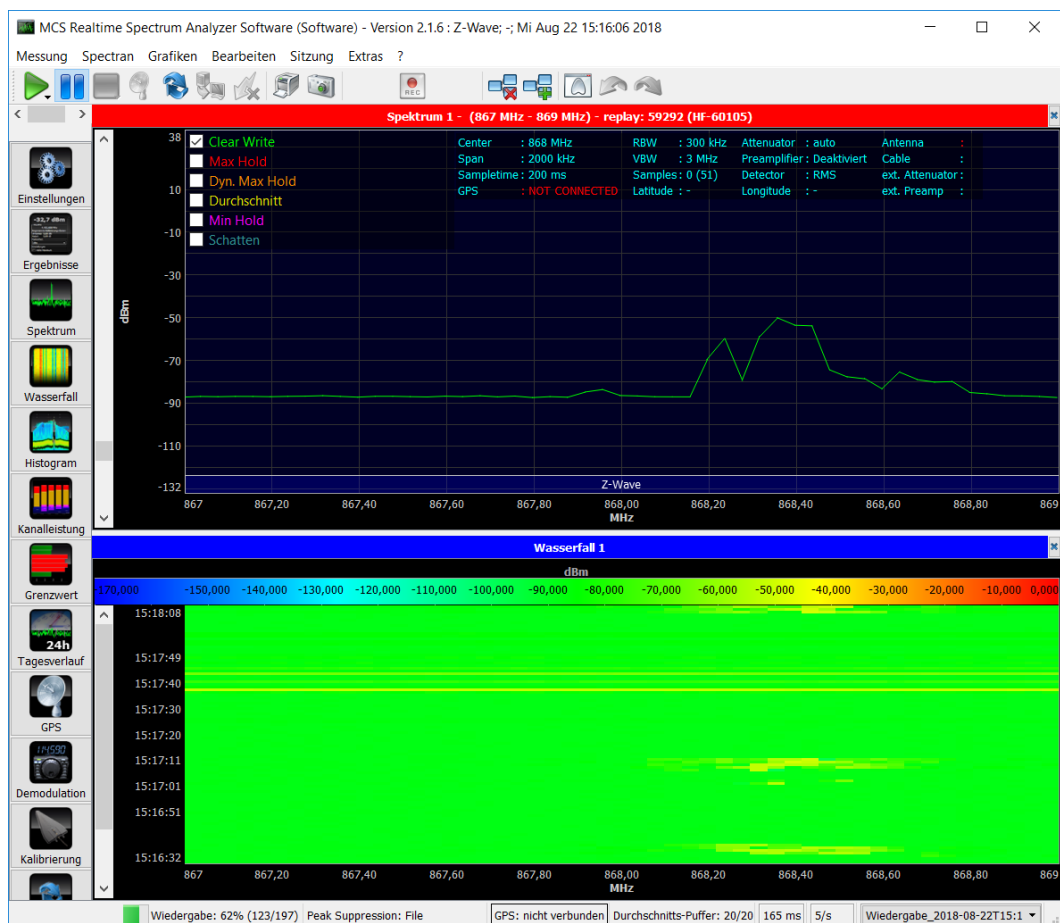


Abbildung 3.3: MCS Software

Z-Wave Sniffer

Die Z-Wave Sniffer Software *Zniffer* von *Silabs* ist auf einem Homee Brain Cube installiert. Um nun das Z-Wave Netzwerk mitzulesen, wird der Z-Wave Würfel, ebenfalls von *Homee*, aufgesteckt.

Die Software zeichnet alle im Netzwerk vorhandenen Pakete auf und listet die teilweise decodierten Z-Wave Frames auf, so dass man die tatsächliche Command Class und den gesendeten oder empfangenen Befehl auslesen kann. Mithilfe der Home ID kann genauestens bestimmt werden aus welchem Z-Wave Netzwerk das Paket stammt. Außerdem wird die Quelle, das Ziel sowie die Route, des Paketes aufgelistet. Die Datenrate zeigt an, auf welchem Kanal gerade gesendet wurde. (Kanal 1: 9,6 kBit/s und 40 kBit/s, Kanal 0: 100 kBit/s)

Wichtige Parameter, die durch die Zniffer Software angezeigt werden können, sind wie folgt:

- RSSI (Receiver Strength Signal Indicator) ist die Signalstärke des Paketes gemessen in dBm.
- Delta ist die Zeit bis zum letzten aufgenommenen Paket.
- Source: Node ID der Quelle. Bei gerouteten Paketen wird folgendes Format genutzt: xx(yy). xx ist dabei der weiterleitende Node, um letztendlich yy zu erreichen.
- Destination: Node ID des Empfängers. Das Format der gerouteten Pakete ist wie bei Source.
- Home ID: einzigartige ID des Z-Wave Netzwerkes.
- Data: Pakettyp, welcher angibt, ob es sich um einen Singlecast, das heißt um ein auf direkten Wege gesendetes Paket, ein Acknowledge Paket oder ein geroutetes Paket handelt. Bei gerouteten Paketen ist das folgende Format hinzugefügt: xx (yy) -> zz, wobei xx der Knoten ist, der das Paket weiterleitet, yy der ursprüngliche Absender und zz das Ziel.
- Application: Die verschiedenen Command Classes sind Klassen von Befehlen oder Protokollen, die zur Kommunikation und Steuerung der Z-Wave-Geräte dienen.

Die Benutzeroberfläche mit den aufgeführten Parametern der Software zeigt die folgende Abbildung 3.4.

Line No	▼ Date	Time	▼ Speed	RSSI	Channel	Delta	▼ Source	▼ Destination	▼ Home Id	▼ Data	▼ Application
2330	27.09.2018	17:04:14.069	100KBit/s	63	0	12	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Message Encap
2331	27.09.2018	17:04:14.117	100KBit/s	63	0	51	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
2332	27.09.2018	17:04:14.117	100KBit/s	53	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
2333	27.09.2018	17:04:14.132	100KBit/s	62	0	13	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
2334	27.09.2018	17:04:14.132	100KBit/s	53	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
2335	27.09.2018	17:04:14.165	40Kbit/s	61	1	15	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
2336	27.09.2018	17:04:14.181	9.6Kbit/s	53	1	15	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
2337	27.09.2018	17:04:14.261	9.6Kbit/s	60	1	77	001	018	C8 45 57 AC	Ack	
2338	27.09.2018	17:04:14.261	100KBit/s	61	0	12	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
2339	27.09.2018	17:04:14.277	100KBit/s	56	0	9	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Get
2340	27.09.2018	17:04:14.277	100KBit/s	53	0	10	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ack
2341	27.09.2018	17:04:14.292	100KBit/s	56	0	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ack
2342	27.09.2018	17:04:14.324	100KBit/s	63	0	39	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
2343	27.09.2018	17:04:14.373	100KBit/s	56	0	42	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ack
2344	27.09.2018	17:04:14.389	100KBit/s	65	0	25	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
2345	27.09.2018	17:04:14.421	40Kbit/s	65	1	23	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get

Abbildung 3.4: Ausschnitt der Sniffer Software *Zniffer*

Nur das Z-Wave Protokoll kann und wird mit Hilfe der Software auf der Netzwerkebene untersucht, da der Fokus der Messungen auf den Fibaro Z-Wave Steckdosen liegt. Genutzt wird die Software, um andere mögliche Z-Wave Netzwerke zu detektieren. Hilfreich ist es auch bei der Fehlerquellensuche. (siehe Abschnitt 4.2)

4 Messungen

Die Messungen in diesem Kapitel dienen zur genauen Untersuchung des Frequenzbereichs sowie der Netzwerkanalyse mit Fokus auf dem Z-Wave Protokoll. Gemessen wird bei den Testmessungen im 868 MHz Bereich, sowie in den umliegenden Frequenzen, um andere Störquellen zu ermitteln.

Die Bewohner der getesteten Haushalte gaben an, Probleme mit der Verbindung des Homee Würfels zu einzelnen Fibaro - Steckdosen zu haben. Die Häufigkeit und der Ort traten dabei, soweit beobachtet wurde, in keinen klaren Mustern auf. Ziel der Untersuchungen ist es, den Ursachen der Probleme auf den Grund zu gehen.

Insgesamt wurden in fünf Haushalten Messungen durchgeführt. Bei der Auswahl berücksichtigt wurden die Haushalte, die in der Umfrage schon angegeben hatten, Probleme zu haben sowie derjenige der ebenfalls das HomeMatic Systems in Benutzung hat. Der letzte Haushalt nahm nicht an der Umfrage teil, gab aber an, Probleme zu haben und besitzt auch das HomeMatic System.

Im Rahmen der ersten Testmessung in Kaltenkirchen (siehe Abschnitt 4.3.2) konnte vermutet werden, dass das „Smart Home“ System *HomeMatic* eine potenzielle Störquelle für das Z-Wave System darstellen könnte. Nach weiteren Testmessungen im zweiten Haushalt verfestigte sich diese These, da hier auch das HomeMatic System verwendet wird. Das HomeMatic System der Firma *eQ-3* ist in allen getesteten Haushalten vorhanden. Das Protokoll basiert auf keinem öffentlichen Standard. HomeMatic nutzt zur Datenübertragung ebenfalls das 868 MHz ISM Frequenzband. Aufgrund dessen wird diese Störquelle in den Messungen genauer überprüft.

4.1 Sendeleistungen

Um die Signale des HomeMatic Systems genauer zu untersuchen, wurden Messungen zur ungefähren Bestimmung der Sendeleistung des Z-Wave Signals und des HomeMatic Signals durchgeführt. Die Antenne des Spektrum Analyzers ist dafür so nah wie möglich an die HomeMatic-Zentrale und den Homee-Würfel aufgestellt worden. Die Empfänger der Signale waren im gleichen Abstand zu den Sendern platziert worden.

4.1.1 Z-Wave Signal

Die Abbildungen 4.1 und 4.3 zeigen eine Mischung aus Empfangsleistungen von Z-Wave Signalen im Frequenzbereich von 868 MHz bis 872 MHz und der Verweildauer des FSK-Signals auf diesen Frequenzen. Der genaue empfangene Pegel kann daraus nicht entnommen werden. Die Messungen zeigen jedoch die ungefähre Größenordnung der Pegel die bei -30 dBm liegt. Desweiteren ist die FSK-Modulation zu erkennen. Das Signal wird hierbei über ein breites Frequenzspektrum auf mehrere Frequenzen verteilt. Dies wird zusätzlich durch das zugehörige Wasserfalldiagramm in Abbildung 4.2 klar.

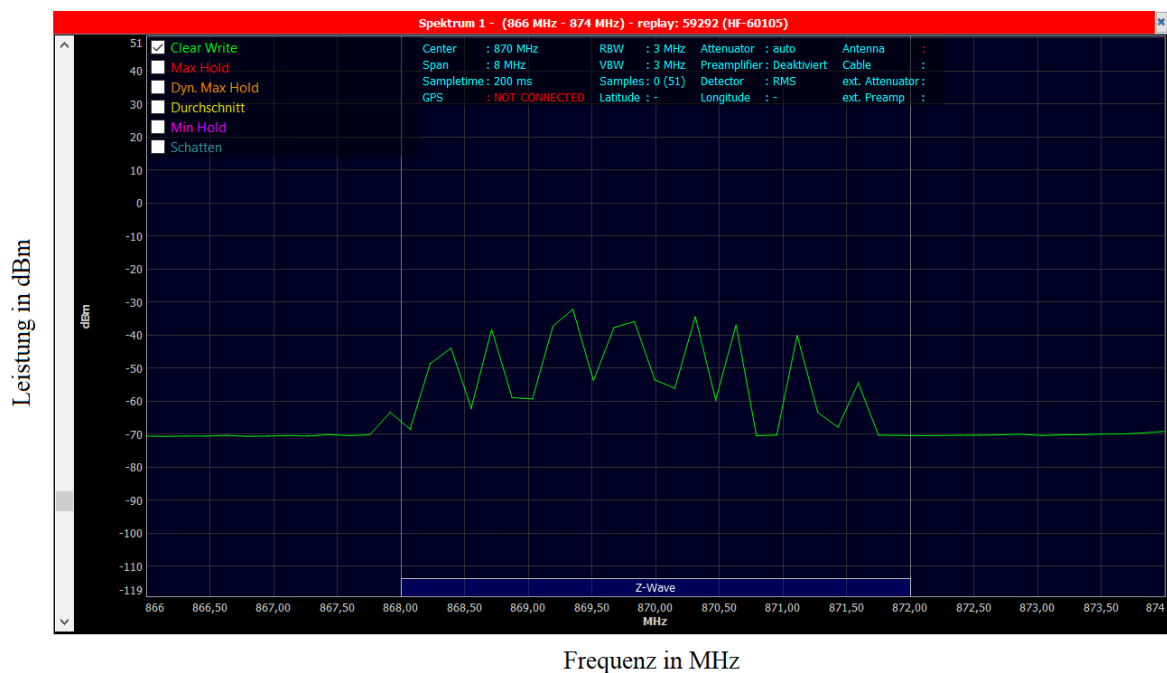


Abbildung 4.1: Empfangene Sendeleistung eines Z-Wave Signals vom Homee

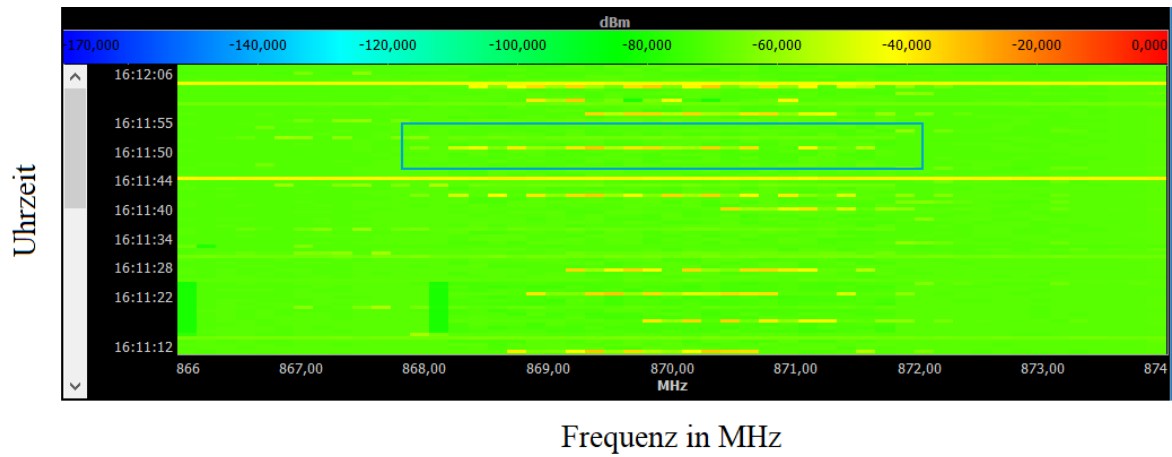


Abbildung 4.2: Wasserfalldiagramm eines Z-Wave Signals vom Homee

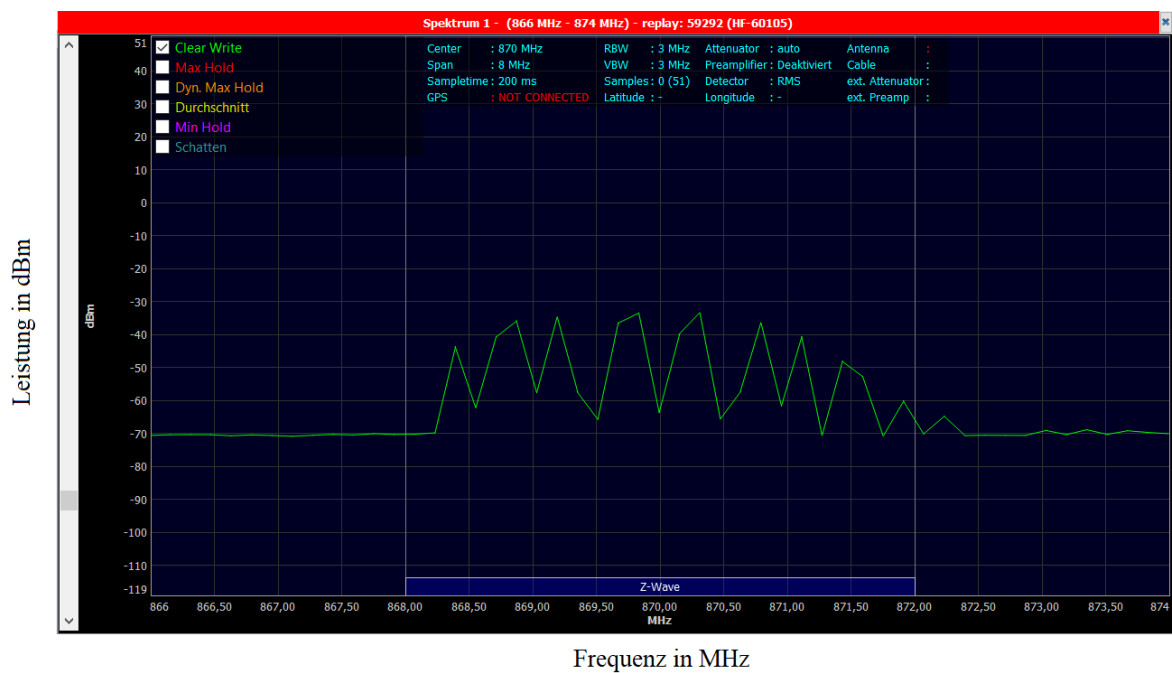


Abbildung 4.3: Empfangene Sendeleistung eines Z-Wave Signals vom Homee

4.1.2 HomeMatic Signal

Aus den Abbildungen 4.1 und 4.3 ist zu entnehmen, dass die empfangene Sendeleistung des HomeMatic Signals ebenfalls bei knapp unter -30 dBm liegt.

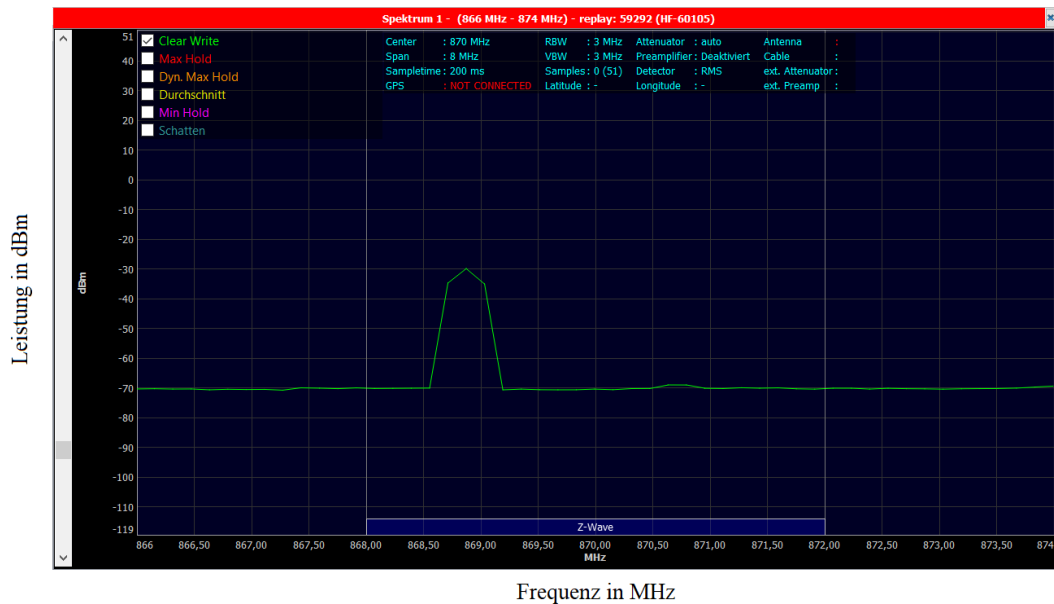


Abbildung 4.4: Empfangene Sendeleistung eines HomeMatic Signals von der Zentrale

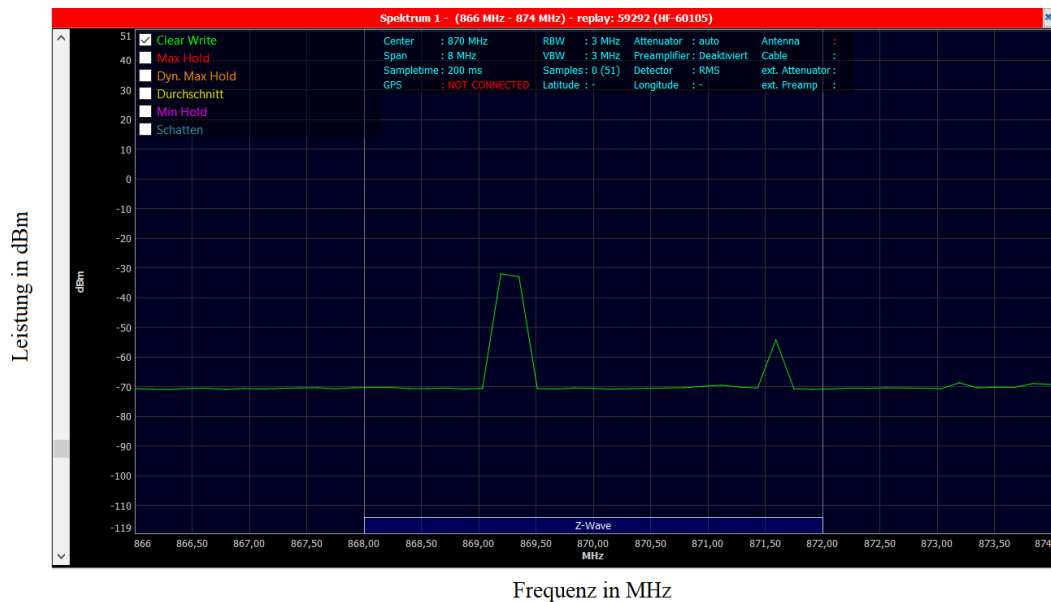


Abbildung 4.5: Empfangene Sendeleistung eines HomeMatic Signals von der Zentrale

4.2 Messvorgehen

Um das Problem systematisch zu untersuchen, wurden erst einmal alle vorhandenen Steckdosen vom Strom getrennt. Dann erfolgte die Prüfung eventuell auftretender Störquellen im Netz. Im nächsten Schritt wurde nur die Steckdose, die Reichweitenprobleme, Zuverlässigkeitsprobleme oder Zeitverzögerungen zeigt, aktiviert. Soweit dort keine Fehler erkennbar waren, wurden die anderen Quellen nach und nach wieder dazu geschaltet. In dieser Konstellation wurde das Frequenzspektrum sowie die Netzwerkanalyse der Z-Wave Pakete aufgezeichnet. Der erste Messdurchgang wurde mit der Z-Wave Steckdose in direkter Verbindung zum Homee Würfel durchgeführt. Darauf folgte die selbe Messung mit einem vermaschten Netz.

Zwischen der zu untersuchenden Z-Wave Steckdose und dem Homee Würfel wurde dazu eine Repeater-Steckdose geschaltet. Die Stabilität des Mesh Systems konnte so beobachtet werden. Die Protokolle ZigBee und EnOcean wurden nur mit einer direkten Verbindung zum Homee Würfel getestet. Folgende Situationen wurden in den Messungen beleuchtet.

Leermessung (kein Homee-Betrieb)

Um das 868 MHz-Frequenzband auf mögliche Störquellen zu untersuchen, wurde das komplette Homee-System abgeschaltet. Dadurch können andere Signale, welche auch in diesem Frequenzband senden, beobachtet werden. Es wurde in allen Haushalten die selbe Konstellation beobachtet. Die Messungen zeigten nur Signale, die auf das HomeMatic System zurückzuführen sind.

Messung in interferenzarmer Umgebung

Um die Parameter unter so wenigen Einflüssen wie möglich zu prüfen, wurde ein und das selbe Homee System in allen Haushalten verwendet. Der Aufbau entspricht dem des jeweiligen Hausbesitzers im alltäglichen Leben. Messungen zur Prüfung der Reichweite wurden mit einer Steckdose, die vom Hausbesitzer als problematisch angegeben wurde, durchgeführt.

Um die Stabilität zu prüfen, ist ein Homeegramme erstellt worden, welches zehn Minuten lang, pro Minute ein Befehl, der die Steckdose anschaltet und sofort wieder ausschaltet, an die zu untersuchende Steckdose sendet. Für jede Schaltung ist untersucht worden, ob die Steckdose mit einer Verzögerung unter zwei Sekunden oder über zwei Sekunden geschaltet wurde oder das Signal die Steckdose gar nicht erreichte.

Hierzu wurden in einem Diagramm auf der Abszissenachse die Schaltungen in Minuten (pro Minute eine Schaltung) aufgetragen und auf der Ordinatenachse die jeweilig zu betrachtende Verzögerung der drei oben genannten Fälle dargestellt.

Messung mit Interferenz durch HomeMatic

Zur Ermittlung des Einflusses des HomeMatic Systems als Interferenzquelle auf das Z-Wave System vom Homee und der Steckdosen wurde das HomeMatic System eingeschaltet. Das Z-Wave System wurde im gleichen Testverfahren, wie der im vorherigen Abschnitt beschriebene Test mit dem Einfluss des HomeMatic Systems geprüft. Erwartet wurde, dass mehr Schaltungen zeitliche Verzögerung zeigen.

4.3 Messdurchführung

4.3.1 Haushalt 1

Der erste Haushalt befindet sich in Tremsbüttel in einem Einfamilienhaus. Es sind neben vier Fibaro Steckdosen noch vier weitere Steckdosen, die über das DECT Protokoll senden, vorhanden. Dieser Haushalt zeigt ein Beispiel für den "Normalfall", das heißt es traten keine außergewöhnlichen Probleme auf. Der Haushalt wurde nicht in die Auswertung der Umfrage einbezogen. Das HomeMatic System ist in diesem Haushalt normalerweise nicht vorhanden. Es wurde lediglich zum Testen des Einflusses verwendet. Ansonsten fielen keine weiteren Geräte, die in dem getesteten Frequenzbereich funken könnten, auf.

Messaufbau

Die Antenne des Spektrum Analyzers zusammen mit dem Homee Würfel, auf dem die Ziffer Software läuft und nur zum Mithören des Z-Wave Protokolls dient, sind in ca. zwei Meter Entfernung vom Homee Würfel aufgestellt. Die Antenne ist auf den Homee Brain Cube gerichtet. Die getestete Steckdose mit einer direkten Verbindung zum Homee Würfel mit der Node ID **018** ist ca. sechs Meter entfernt. Es liegen vier Wände zwischen den Objekten. Die selbe Steckdose wurde in ca. drei Metern Entfernung im selben Raum wie der Würfel positioniert. Hier wurde eine Vermaschung über die Steckdose mit der Node ID **019** erzwungen.

Die Abbildung 4.6 zeigt die ungefähren Positionen der vier Steckdosen und des Homee Würfels sowie der Messgeräte (inkl. Homee mit der Zniffer Software). Die Zahl neben den Geräten gibt jeweils die Node ID an, welche aus der Zniffer Software entnommen wurde.

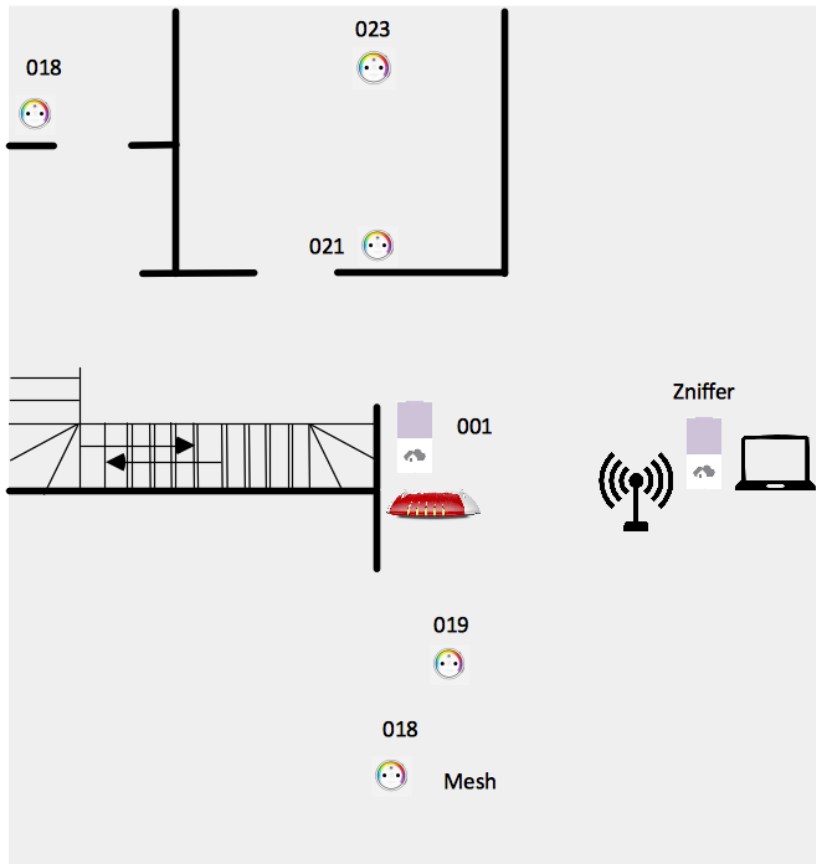


Abbildung 4.6: Messaufbau im Haus Tremsbüttel (Skizze)

Tabelle 4.1: Entfernungen im Haus Tremsbüttel

Quelle	Ziel	Entfernung[m]
001	018	4/5
001	019	3
001	021	2
001	023	4

Messergebnisse

Leermessung

Die Messung mit deaktiviertem Homee und HomeMatic System, hat keine weiteren Störungen auf dem 868 MHz Band gezeigt. Der RBW und VBW des Analyzers sind jeweils auf 3 MHz eingestellt. Die RBW sollte für eine hohe Empfindlichkeit auf eine möglichst niedrige Frequenz eingestellt werden.

In diesem Fall ist die RBW Frequenz hoch gewählt, weil der Sweep so schnell wie möglich durchlaufen muss. Der Anaylzer kann so besser auf die kurzen Signale der „Smart Home“ Protokolle reagieren. Die Bandbreite ist von 868 MHz - 872 MHz eingestellt. Die zu messenden Signale werden in diesem Bereich ideal erfasst.

Messung in interferenzarmer Umgebung

Das HomeMatic System wurde für diese Messung vollständig deaktiviert. Die Abbildung 4.7 zeigt das Wasserfalldiagramm einer erfolgreichen Schaltung der vermaschten Z-Wave Steckdose mit einer zeitlichen Verzögerung unter zwei Sekunden und dient als Referenzdiagramm.

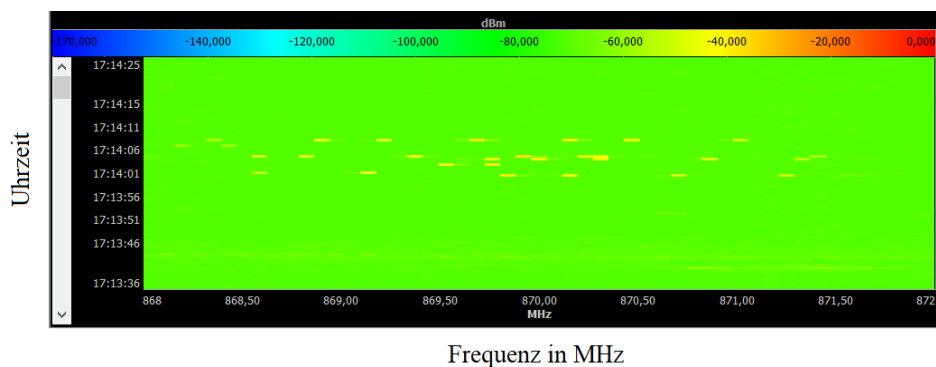


Abbildung 4.7: Wasserfalldiagramm einer erfolgreichen Schaltung (Tremsbüttel)

Dem Diagramm 4.8 kann man mehrere verzögerte Schaltungen des Z-Wave Signals mit Vermaschung, aber auch ohne Vermaschung entnehmen. Die Schaltungen der EnOcean sowie der ZigBee Steckdose wurden ohne Verzögerungen beobachtet.

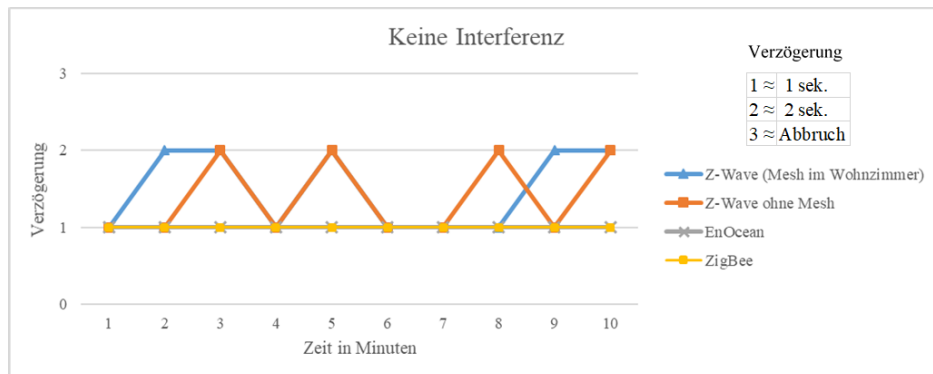


Abbildung 4.8: Messung in interferenzarme Umgebung (Trensbüttel)

Die Verzögerungen der Schaltungen sind in einem Wasserfalldiagramm sehr gut zu erkennen. Die Leistungen der empfangenen Signale sind im Diagramm auf der X-Achse der jeweilig zu betrachtende Zeit in fünf ms Schritten aufgetragen und auf der Y-Achse ist der Frequenzbereich in MHz dargestellt.

Das Frequenzspektrum eines verzögerten Signals wird über die Zeit in dem Wasserfalldiagramm 4.9 dargestellt. Es sind hauptsächlich gelbe Linien zu erkennen. Das bedeutet, die empfangene Signalstärke lag durchschnittlich bei -40 dBm. Einige Linien sind orange, liegen also bei -30 dBm. Die grüne Farbe deutet auf das Grundrauschen des Spektrum Analyzers hin. Es liegt bei -70 dBm. Die Verzögerung ist anhand der Signalauslässe über eine Zeit von ca. zehn Sekunden zu sehen. Bei einer Schaltung ohne Verzögerung sind Signale im Bereich von drei Sekunden zu sehen. Für ein weiteres Beispiel einer zeitlichen Verzögerung der Schaltung bei ausgeschaltetem HomeMatic System siehe Abschnitt A.3.1

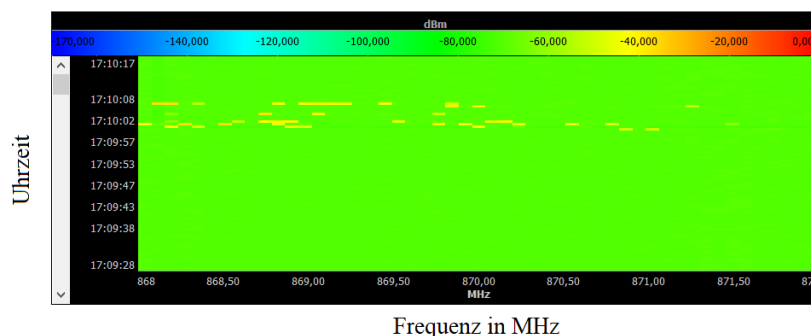


Abbildung 4.9: Wasserfalldiagramm des Z-Wave Mesh Systems

Die Abbildung 4.10 zeigt die Verzögerung des Signals auf der Netzwerk Ebene. Die zu untersuchende Steckdose wird über eine zweite Steckdose angesprochen (automatisch gewählte Route: (18)<->19<->1)). Mehrmalige Fehlversuche, die Pakete geroutet zu versenden, verursachten eine Verzögerung des Schaltvorgangs. Die rot markierten Datenreihen zeigen die Fehlversuche an.

Line	Date	Time	Speed	RS	C	Delt	Sour	Desti	Home Id	Data	Application
5954	27.09.2018	17:10:03.341	100KBit/s	61	0	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ack
5955	27.09.2018	17:10:03.356	100KBit/s	65	0	8	001	019	C8 45 57 AC	Ack	Routed Ack
5956	27.09.2018	17:10:03.356	100KBit/s	65	0	12	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Gr
5957	27.09.2018	17:10:03.372	100KBit/s	61	0	9	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Gr
5958	27.09.2018	17:10:03.405	100KBit/s	60	0	31	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security Nonce Gr
5959	27.09.2018	17:10:03.420	100KBit/s	62	0	24	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Gr
5960	27.09.2018	17:10:03.452	100KBit/s	60	0	22	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security Nonce Gr
5961	27.09.2018	17:10:03.485	100KBit/s	60	0	37	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security Nonce Gr
5962	27.09.2018	17:10:03.485	100KBit/s	62	0	6	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Gr
5963	27.09.2018	17:10:03.517	40Kbit/s	61	1	24	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security Nonce Gr
5964	27.09.2018	17:10:03.517	100KBit/s	62	0	8	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Error
5965	27.09.2018	17:10:03.533	100KBit/s	65	0	8	001	019	C8 45 57 AC	Ack	Routed Ack
5966	27.09.2018	17:10:03.581	40Kbit/s	61	1	44	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security Nonce Gr
5967	27.09.2018	17:10:03.597	40Kbit/s	64	1	12	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce Gr
5968	27.09.2018	17:10:03.677	40Kbit/s	63	1	79	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce Gr
5969	27.09.2018	17:10:03.693	100KBit/s	65	0	26	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Gr
5970	27.09.2018	17:10:03.693	100KBit/s	60	0	7	018	001	C8 45 57 AC	Ack	Routed Ack
5971	27.09.2018	17:10:03.740	100KBit/s	65	0	44	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Gr
5972	27.09.2018	17:10:03.757	40Kbit/s	63	1	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce Gr
5973	27.09.2018	17:10:03.773	40Kbit/s	65	1	24	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Gr
5974	27.09.2018	17:10:03.803	100KBit/s	62	0	7	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - (1)	Routed Error
5975	27.09.2018	17:10:03.803	40Kbit/s	61	1	3	018	001	C8 45 57 AC	Ack	Routed Ack
5976	27.09.2018	17:10:03.803	40Kbit/s	65	1	9	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19<-(1)	Routed Ack
5977	27.09.2018	17:10:03.835	100KBit/s	62	0	42	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - (1)	Routed Error
5978	27.09.2018	17:10:03.852	100KBit/s	60	0	8	018	019	C8 45 57 AC	Ack	Routed Ack
5979	27.09.2018	17:10:03.884	40Kbit/s	65	1	35	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19<-(1)	Routed Ack
5980	27.09.2018	17:10:03.899	40Kbit/s	63	1	11	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - (1)	Routed Ack
5981	27.09.2018	17:10:03.899	40Kbit/s	61	1	10	018	019	C8 45 57 AC	Ack	Routed Ack
5982	27.09.2018	17:10:03.915	100KBit/s	60	0	8	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ack
5983	27.09.2018	17:10:03.915	100KBit/s	62	0	8	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ack
5984	27.09.2018	17:10:03.948	100KBit/s	62	0	24	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ack
5985	27.09.2018	17:10:03.963	100KBit/s	65	0	17	001	019	C8 45 57 AC	Ack	Routed Ack
5986	27.09.2018	17:10:03.963	100KBit/s	65	0	6	001	019	C8 45 57 AC	Ack	Routed Ack
5987	27.09.2018	17:10:05.372	100KBit/s	65	0	1403	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Re
5988	27.09.2018	17:10:05.372	100KBit/s	60	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	Routed Ack

Abbildung 4.10: aufgenommene Pakete der Verzögerung mit Mesh System

Messung mit Interferenz durch HomeMatic

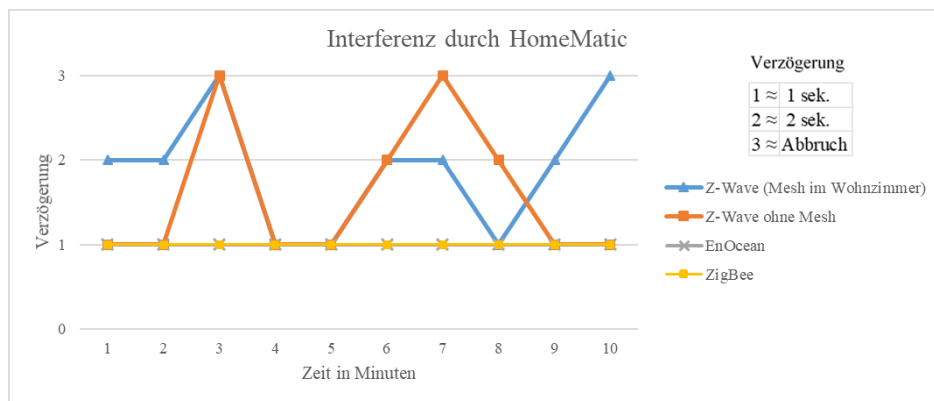


Abbildung 4.11: Messung mit Interferenz durch HomeMatic (Trensbüttel)

Das Hinzuschalten des HomeMatic Systems löste zwei Abbrüche der Homeeogramm Schaltung zu der Z-Wave Steckdose mit direkter Verbindung aus (siehe Abbildung 4.11). Einer der beiden Abbrüche ist in Abbildung 4.12 und 4.13 zu sehen. Der Ziffer zeigt sechs Routing Fehlpackete. Sowohl der Versuch von der Steckdose zum Homee Basis Würfel zu senden, als auch vom Würfel zur Steckdose schlugen fehl. Außerdem ist zu erkennen, dass versucht wurde, das Paket über alternative Routen zum Ziel zu senden. Beispielsweise zu sehen in der Zeile Data: Routed: (18)<-19<-20<-1 oder (18)<-19<-21<-1. Die eigentlich festgelegte Route ist: (18)<-19<-1.

Line	Date	Time	Speed	RS	C	Del	Sour	Desti	Home Id	Data	Application
8686	27.09.2018	17:29:05.729	100KBit/s	65	0	44	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
8687	27.09.2018	17:29:05.729	100KBit/s	62	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
8688	27.09.2018	17:29:05.745	100KBit/s	59	0	19	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - 20 - (1)	Routed Error
8689	27.09.2018	17:29:05.761	100KBit/s	60	0	8	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
8690	27.09.2018	17:29:05.777	40Kbit/s	65	1	18	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
8691	27.09.2018	17:29:05.793	40Kbit/s	61	1	10	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
8692	27.09.2018	17:29:05.856	100KBit/s	65	0	63	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
8693	27.09.2018	17:29:05.856	100KBit/s	59	0	9	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Get
8694	27.09.2018	17:29:05.889	100KBit/s	59	0	24	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Get
8695	27.09.2018	17:29:05.920	100KBit/s	59	0	42	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Get
8696	27.09.2018	17:29:05.952	100KBit/s	59	0	27	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Error
8697	27.09.2018	17:29:05.952	100KBit/s	65	0	7	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
8698	27.09.2018	17:29:06.001	40Kbit/s	65	1	44	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
8699	27.09.2018	17:29:06.017	40Kbit/s	60	1	11	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Get
8700	27.09.2018	17:29:06.081	40Kbit/s	60	1	62	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Get
8701	27.09.2018	17:29:06.145	40Kbit/s	60	1	62	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Get
8702	27.09.2018	17:29:06.177	40Kbit/s	65	1	40	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
8703	27.09.2018	17:29:06.241	40Kbit/s	60	1	69	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Error
8704	27.09.2018	17:29:06.320	40Kbit/s	60	1	79	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Error
8705	27.09.2018	17:29:06.416	40Kbit/s	65	1	93	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
8706	27.09.2018	17:29:06.432	100KBit/s	65	0	7	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - 21 - (18)	Security Nonce Get
8707	27.09.2018	17:29:06.432	100KBit/s	59	0	9	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce Get
8708	27.09.2018	17:29:06.481	100KBit/s	59	0	42	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce Get
8709	27.09.2018	17:29:06.513	100KBit/s	59	0	42	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce Get
8710	27.09.2018	17:29:06.545	100KBit/s	59	0	26	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - 21 - (18)	Routed Error
8711	27.09.2018	17:29:06.561	100KBit/s	65	0	8	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
8712	27.09.2018	17:29:06.641	40Kbit/s	65	1	84	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - 21 - (18)	Security Nonce Get
8713	27.09.2018	17:29:06.657	40Kbit/s	60	1	11	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce Get
8714	27.09.2018	17:29:06.672	40Kbit/s	60	1	28	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce Get
8715	27.09.2018	17:29:06.736	40Kbit/s	60	1	62	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce Get
8716	27.09.2018	17:29:06.768	40Kbit/s	60	1	30	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - 21 - (18)	Routed Error
8717	27.09.2018	17:29:06.785	40Kbit/s	65	1	10	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
8718	27.09.2018	17:29:06.912	100KBit/s	65	0	130	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Get
8719	27.09.2018	17:29:06.928	100KBit/s	65	0	21	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Get
8720	27.09.2018	17:29:06.944	100KBit/s	65	0	22	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Get

Abbildung 4.12: Aufgenommene Pakete des Signalabbruchs mit Mesh System

Der obere Teil der Abbildung 4.13 zeigt das gemessene Frequenzspektrum. Im Spektrum sind mehr Lücken als im Spektrum einer erfolgreichen Schaltung in Abbildung 4.1 zu sehen. Es deutet auf die Interferenz mit dem HomeMatic System hin, ist aber kein eindeutiger Beweis dafür. Der untere Teil zeigt einen vermehrten Funkverkehr über ca. 22 Sekunden. Es weist auf den Senderversuch des Z-Wave Signals auch über verschiedene Routen hin, was letztendlich doch zu einem Abbruch führte.

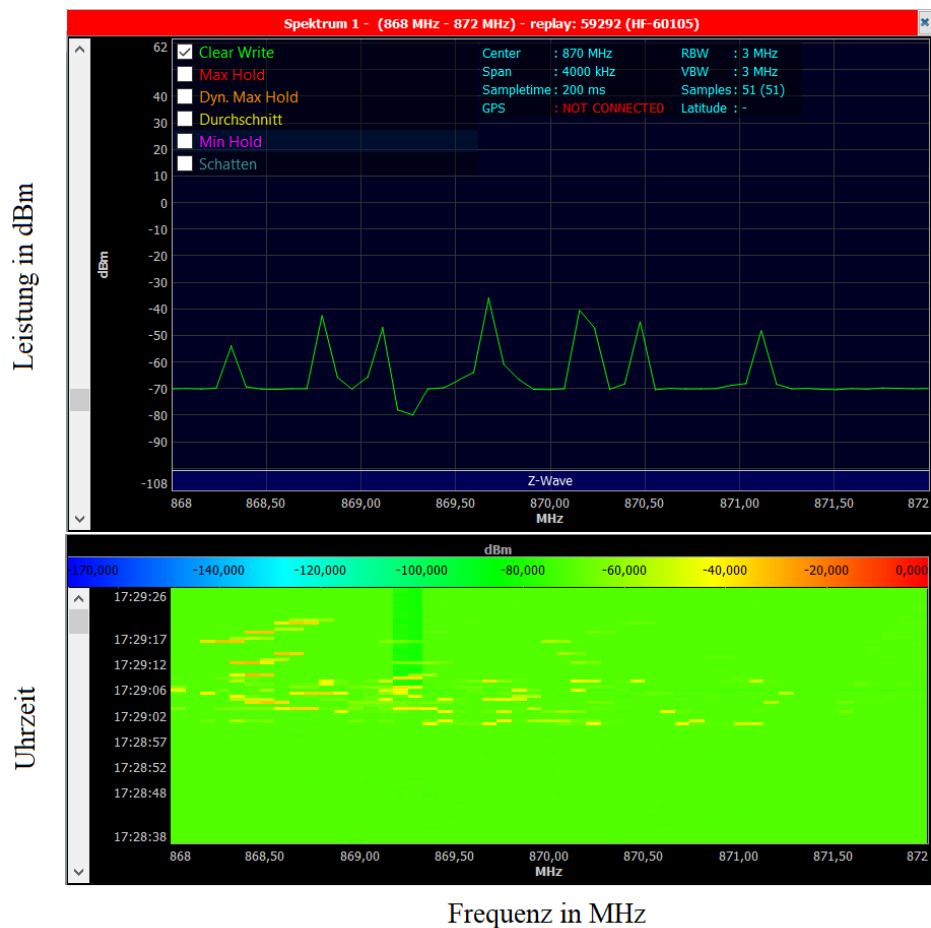


Abbildung 4.13: Gemessenes Frequenzspektrum des Signalabbruchs mit Mesh System

4.3.2 Haushalt 2

Die zweite Messung fand in einem Einfamilienhaus in Kaltenkirchen statt. Im Haushalt befinden sich vier Steckdosen der Firma Fibaro. Ebenfalls sind mehrere Heizungsthermostate, Fenstersensoren und Funksteckdosen des HomeMatic Smart Home Systems im Haus vorhanden. Ansonsten fielen keine weiteren besonderen Geräte, welche in diesem Bereich funken, auf.

Messaufbau

Die Antenne des Spektrum Analyzers und der Ziffer Würfel sind in ca. zwei Metern Entfernung vom Homee Würfel aufgestellt. Die Antenne ist auf die Homee Würfel gerichtet. Die getestete Steckdose ohne Vermaschung zum Homee Würfel mit der Node ID **019** ist ca. sechs Meter entfernt. Die Steckdose mit der Node ID **018** wurde in ca. zehn Metern Entfernung in der Küche positioniert. Da diese Konstellation keine direkte Verbindung aufbaute, wurde der Homee Würfel im Flur installiert und war somit nur noch vier Meter von der getesteten Steckdose entfernt. Die Vermaschung erfolgte über die Steckdose mit der Node ID **019**. Die Abbildung 4.14 zeigt die ungefähren Positionen der vier Steckdosen und der Homee Würfel, sowie der Messgeräte. Die Tabelle 4.2 listet die Entfernungen der Steckdosen zum Homee Würfel (Node ID **001**) auf.

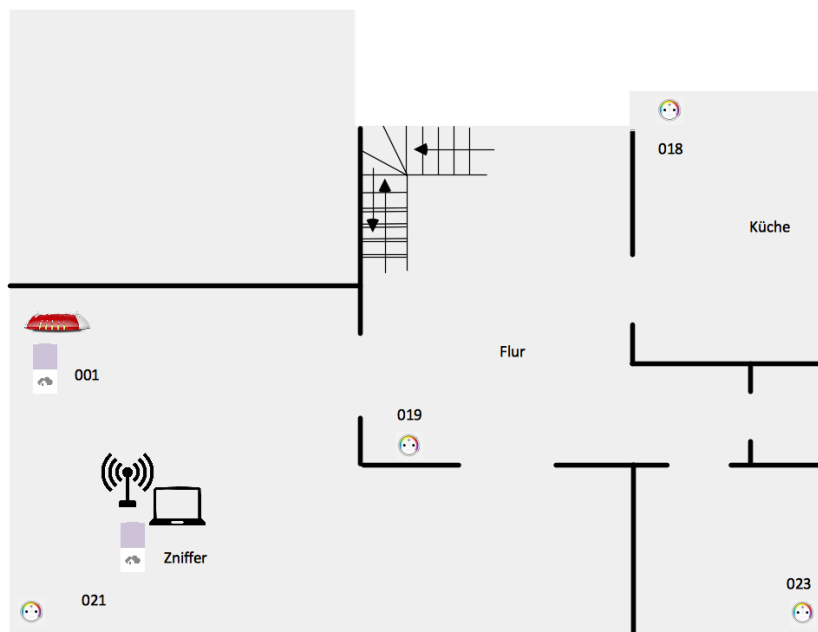


Abbildung 4.14: Messaufbau in Kaltenkirchen (Skizze)

Tabelle 4.2: Entfernungen Kaltenkirchen

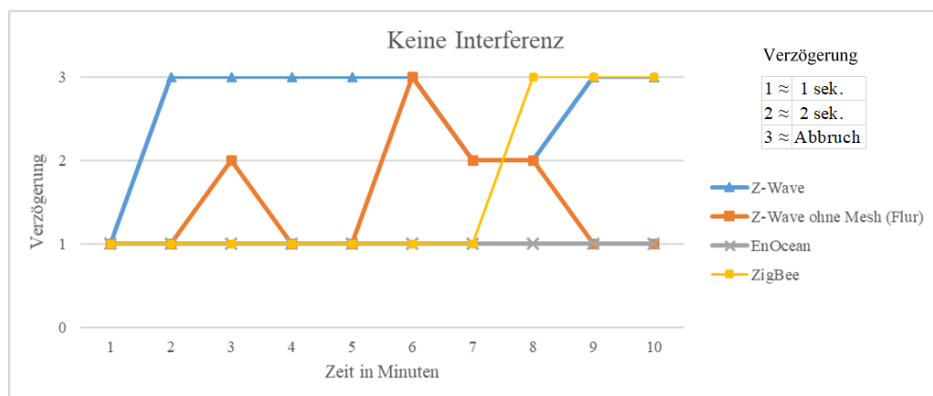
Quelle	Ziel	Entfernung[m]
001	018	10/4
001	019	6,5
001	021	3
001	023	13

Messergebnisse

Messung in interferenzarmer Umgebung

Das HomeMatic System ist während dieser Messung ausgeschaltet. Die Zentrale des Systems konnte komplett ausgeschaltet werden. Die Heizungsthermostate und Fenstersensoren konnten hingegen nicht deaktiviert werden. Diese Geräte senden in einem bestimmten Zeitintervall Signale an die Zentrale. Die Messumgebung konnte dadurch nicht völlig frei von möglichen Interferenzsignalen der HomeMatic Geräte gehalten werden.

Das Diagramm 4.15 zeigt, dass unter allen Schaltvorgängen der Z-Wave Steckdose in der Küche ohne Mesh nur einer zum Abbruch führte. Die Z-Wave Schaltungen mit Mesh, also mit Signalweiterleitung durch die Steckdose im Flur, zeigten mehrere Schaltabbrüche. Keine Verzögerungen wurden bei der Schaltung zur EnOcean Steckdose beobachtet. Bei der ZigBee Schaltung kam es bei den letzten drei Schaltungen zu Abbrüchen.

**Abbildung 4.15:** Messung in interferenzarme Umgebung (Kaltenkirchen)

Messung mit Interferenz durch HomeMatic

Im Diagramm 4.16 ist auffällig, dass die Schaltung der ZigBee Steckdose völlig abbricht. Das könnte auf ein Reichweitenproblem zurückzuführen sein. Die Verzögerungen der Schaltungen der Z-Wave Steckdose in direkter Verbindung und vermascht wurden sehr ähnlich beobachtet. Ein Abbruch von der vermaschten Z-Wave Schaltung in der Zniffer Software und im Wasserfalldiagramm ist im Anhang A.3.2 zu finden. Die Steckdose mit der Node ID **023** zeigte in Testschaltungen ebenfalls kurze zeitliche Verzögerungen. Die Schaltungen der EnOcean Steckdose wurde ohne Probleme beobachtet.

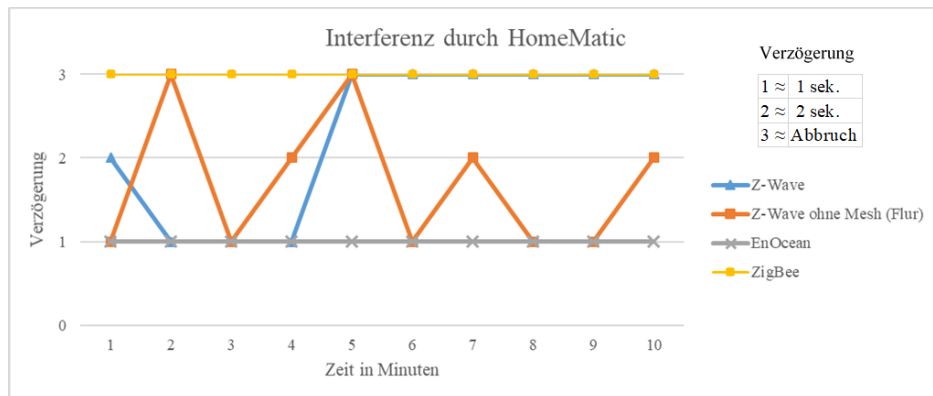


Abbildung 4.16: Messung mit Interferenz durch HomeMatic (Kaltenkirchen)

4.3.3 Haushalt 3

Diese Testumgebung befindet sich in einer Wohnung in Harburg. In der Wohnung sind insgesamt vier Steckdosen mit dem Z-Wave Protokoll installiert. Außerdem befinden sich noch vier DECT Steckdosen und einige Smart Home Geräte über das ZigBee Protokoll in der Wohnung. Schätzungsweise zehn Geräte des HomeMatic Systems sind in der Wohnung verbaut. Alle Steckdosen befinden sich im Erdgeschoss der zweistöckigen Wohnung.

Messaufbau

Die Antenne des Spektrum Analyzers ist in ca. fünf Metern Entfernung vom Homee Würfel aufgestellt. Die gestestet Steckdose mit der Node ID **018** ist in der Küche installiert. Sie ist ca. sieben Meter vom Würfel entfernt. Die Repeater-Steckdose für den Test zur Stabilität des Mesh Systems befindet sich im Flur mit der Node ID **019**. Sie ist ca. fünf Meter entfernt. Die Abbildung 4.17 zeigt die ungefähren Positionen der vier Steckdosen und der Homee Würfel sowie der Messgeräte. Die Tabelle 4.3 listet die Entfernungen der Steckdosen zum Homee Würfel (Node ID **001**) auf.

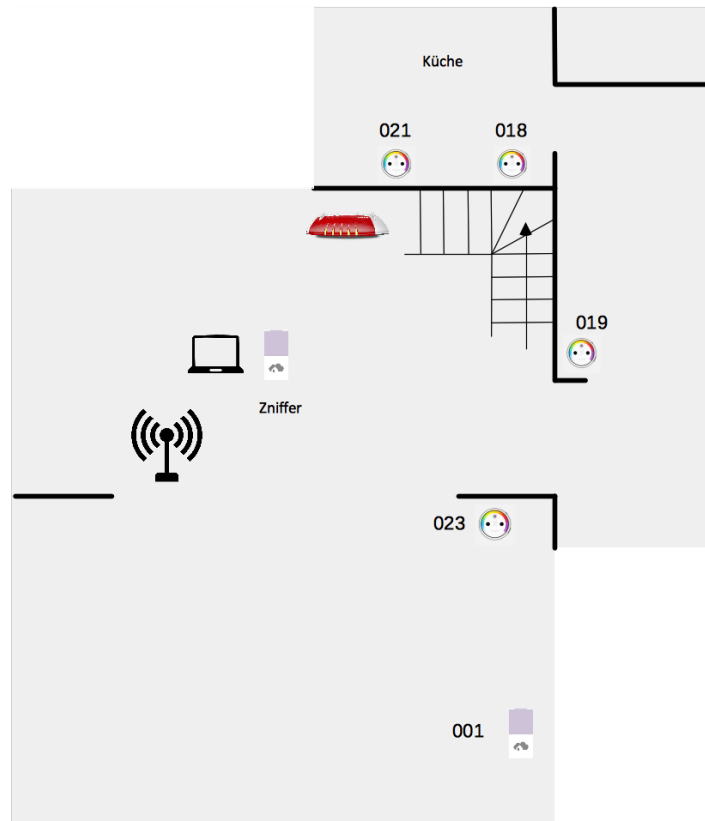


Abbildung 4.17: Messaufbau in der Wohnung in Harburg (Skizze)

Tabelle 4.3: Entfernungen in der Wohnung in Harburg

Quelle	Ziel	Entfernung[m]
001	018	8
001	019	5
001	021	8
001	023	3

Messergebnisse

Messung in interferenzarmer Umgebung

Die Zentrale des HomeMatic Systems konnte komplett ausgeschaltet werden. Einige batteriebetriebene Geräte des Systems konnten nicht deaktiviert werden. Diese Geräte senden in bestimmten Zeitintervallen Signale an die Zentrale. Die Testumgebung konnte somit nicht völlig frei von möglichen Interferenzsignalen des HomeMatic Systems gehalten werden.

Die geprüfte Steckdose (**018**) zeigte in ersten Testschaltungen nur kurze Verzögerungen. Jedoch zeigten andere Positionen in der Küche Verbindungsausfälle. Die Steckdosen ließen sich nur schwierig oder gar nicht erreichen.

Dem Diagramm 4.18 sind zwei Abbrüche der Z-Wave Schaltung ohne Mesh zu entnehmen. Die Z-Wave Schaltungen mit Mesh zeigte nur kurze zeitliche Verzögerungen. Ein Ausschnitt der Spektrumanalyse und die zugehörigen Paket-Sendungen der Verzögerung sind Anhang A.3.3 zu finden. Die Schaltungen der ZigBee und EnOcean Steckdosen zeigten keine Probleme.

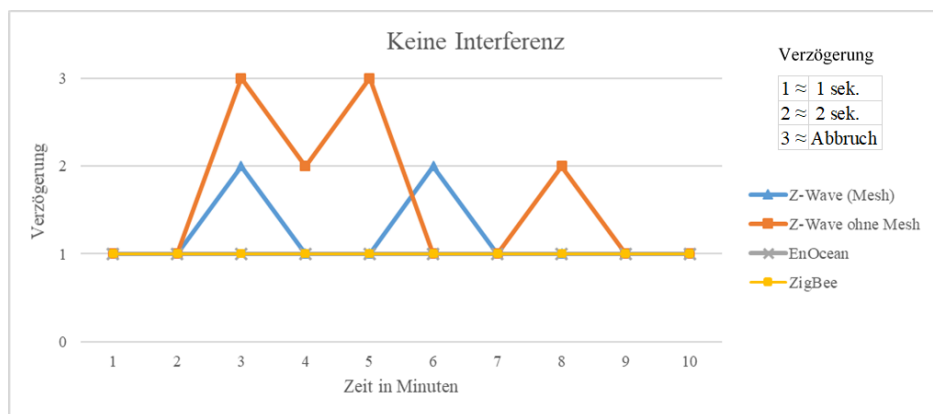


Abbildung 4.18: Messung in interferenzarmer Umgebung (Harburg)

Messung mit Interferenz durch HomeMatic

Testschaltungen in der Küche ergaben wiederholte Verbindungsprobleme zu den Steckdosen. Eine stabile Verbindung ließ sich auch durch eine Änderung der Platzierung der Steckdose nur schwer aufbauen. Der Einfluss des HomeMatic Systems führte vermutlich zu den zwei Abbrüchen der Schaltungen von der Z-Wave Steckdose mit Vermaschung.

Bei den Z-Wave Schaltungen ohne Mesh konnten nur kurze zeitliche Verzögerungen beobachtet werden. Ein Ausschnitt der Spektrumanalyse und die zugehörigen Paket-Sendungen der Verzögerung sind im Anhang A.3.3 zu finden. Die Schaltungen der ZigBee und EnOcean Steckdosen zeigten hier wieder keine Probleme. (siehe Abbildung 4.19)

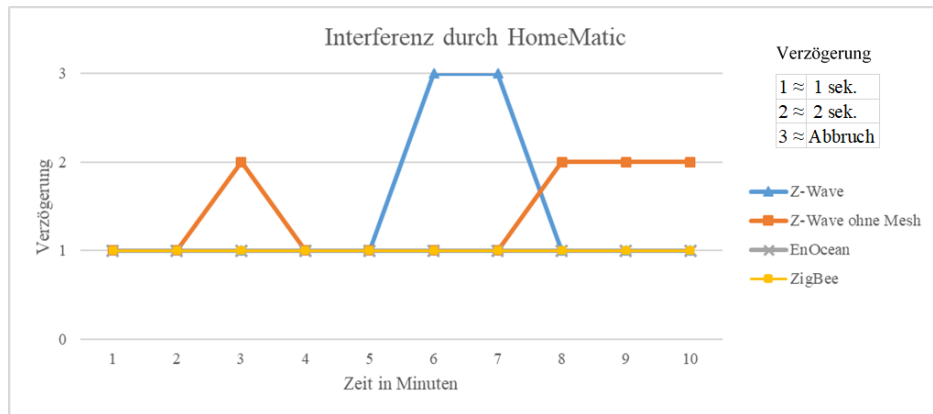


Abbildung 4.19: Messung mit Interferenz durch HomeMatic (Harburg)

4.3.4 Haushalt 4

In dem Einfamilienhaus sind insgesamt vier Steckdosen mit dem Z-Wave Protokoll installiert. Es befindet sich in Norderstedt. Außerdem befinden sich noch DECT Steckdosen im Haus. Schätzungsweise zwanzig Geräte des HomeMatic Systems befinden sich im und um das Haus.

Messaufbau

Die Antenne des Spektrum Analyzers ist in ca. zwei Meter Entfernung vom Homee Würfel aufgestellt. Die gestestet Steckdose mit der Node ID **018** ist im Keller des Hauses installiert. Sie ist ca. sieben Meter vom Würfel entfernt. Die Repeater-Steckdose für den Test zur Stabilität des Mesh Systems befindet sich im selben Raum wie der Würfel, mit der Node ID **019**. Sie ist ca. zwei Meter entfernt. Die Abbildung 4.20 zeigt die ungefähren Positionen der vier Steckdosen und der Homee Würfel sowie der Messgeräte. Die Tabelle 4.4 listet die Entfernungen der Steckdosen zum Homee Würfel (Node ID **001**) auf.

Tabelle 4.4: Entfernungen im Haus in Norderstedt

Quelle	Ziel	Entfernung[m]
001	018	4
001	019	1
001	021	6
001	023	4

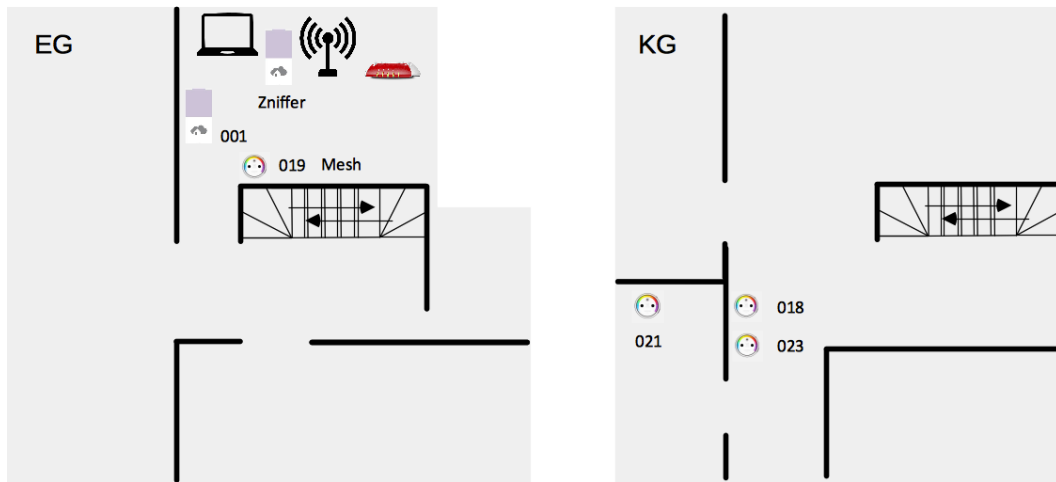


Abbildung 4.20: Messaufbau im Haus in Norderstedt (Skizze)

Messergebnisse

Messung in interferenzarmer Umgebung

Die Zentrale des HomeMatic Systems konnte komplett ausgeschaltet werden. Einige batteriebetriebene Geräte des Systems konnten nicht deaktiviert werden. Diese Geräte senden in bestimmten Zeitintervallen Signale an die Zentrale. Die Testumgebung konnte somit nicht ganz frei von möglichen Interferenzsignalen des HomeMatic Systems gehalten werden.

Die geprüfte Steckdose (018) zeigte in ersten Testschaltungen keine auffälligen zeitlichen Verzögerungen. Dem Diagramm 4.21 ist nur ein einziger Abbruch der Z-Wave Schaltung mit Mesh zu entnehmen (Frequenzspektrum + Ziffer siehe Anhang A.3.4). Die Z-Wave Schaltungen ohne Mesh zeigte nur kurze zeitliche Verzögerungen. Die Schaltungen der ZigBee und EnOcean Steckdosen zeigten keine Probleme.

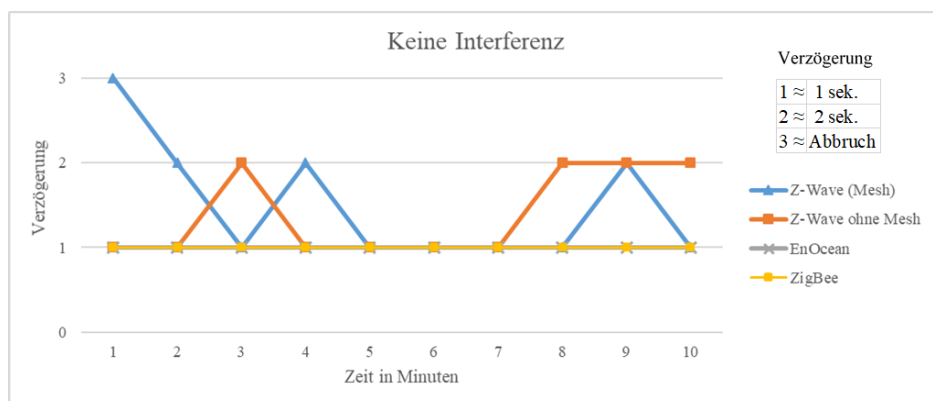


Abbildung 4.21: Messung in interferenzarme Umgebung (Norderstedt Haus)

Messung mit Interferenz durch HomeMatic

Einige Geräte des HomeMatic Systems wurden während der Messung ein und aus geschaltet, um mögliche Auswirkungen noch deutlicher zu erkennen. Der Einfluss des HomeMatic Systems führte zu zwei Abbrüchen der Schaltungen der Z-Wave Steckdose ohne Mesh-Steckdose (Frequenzspektrum + Ziffer siehe Anhang A.3.4).

Bei den Z-Wave Schaltungen mit Mesh konnten nur kurze zeitliche Verzögerungen beobachtet werden. Die Schaltungen der ZigBee und EnOcean Steckdosen zeigten hier wieder keine Probleme. (siehe Abbildung 4.22)

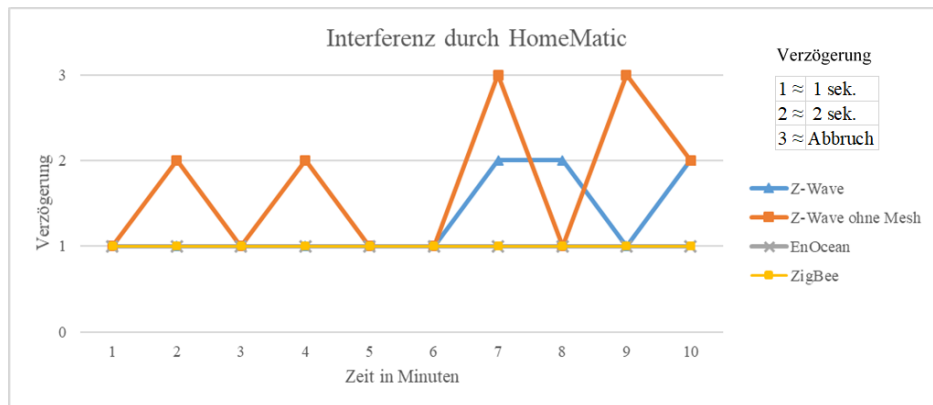


Abbildung 4.22: Interferenz durch HomeMatic (Norderstedt Haus)

4.3.5 Haushalt 5

Der letzte zu vermessende Haushalt ist eine kleine Wohnung und befindet sich in Norderstedt. In der Wohnung sind insgesamt vier Steckdosen mit dem Z-Wave Protokoll installiert. Außerdem befinden sich hier noch vier DECT Steckdosen in und um das Haus. Einige Smart Home Geräte über das WLAN Protokoll sind auch in der Wohnung zu finden. Nach Angaben des Bewohners sind zehn Geräte des HomeMatic Systems verbaut.

Messaufbau

Die Antenne des Spektrum Analyzers ist in ca. zwei Metern Entfernung vom Homee Würfel aufgestellt. Die gestestet Steckdose mit der Node ID **018** ist in der Küche installiert. Sie ist ca. einen Meter vom Homee Würfel entfernt. Die Repeater-Steckdose für die Überprüfung der Stabilität des Mesh Systems befindet sich nicht wie erwartet im Flur (**019**), sondern im Schlafzimmer mit der Node ID **023**. Sie ist ca. drei Meter entfernt. Das Protokoll hat automatisch diese Route gewählt, obwohl die Steckdose im Flur (019) ein direkter Nachbar zu der getesteten Steckdose ist. Die Abbildung 4.23 zeigt die ungefähren Positionen der vier Steckdosen und des Homee Würfels sowie der Messgeräte. Die Tabelle 4.5 listet die Entfernungen der Steckdosen zum Homee Würfel (Node ID **001**) auf.

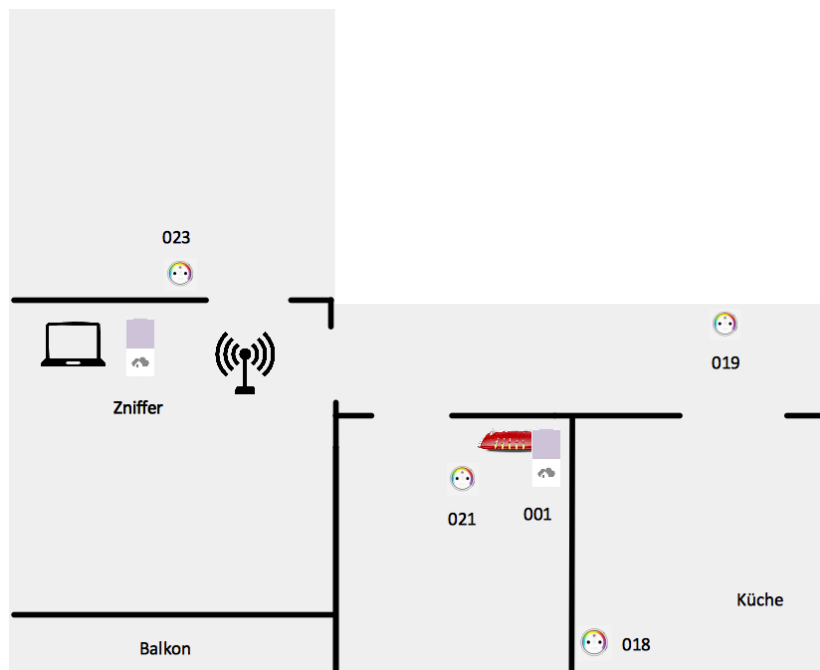


Abbildung 4.23: Messaufbau in der Wohnung in Norderstedt (Skizze)

Tabelle 4.5: Entfernungen in der Wohnung in Norderstedt

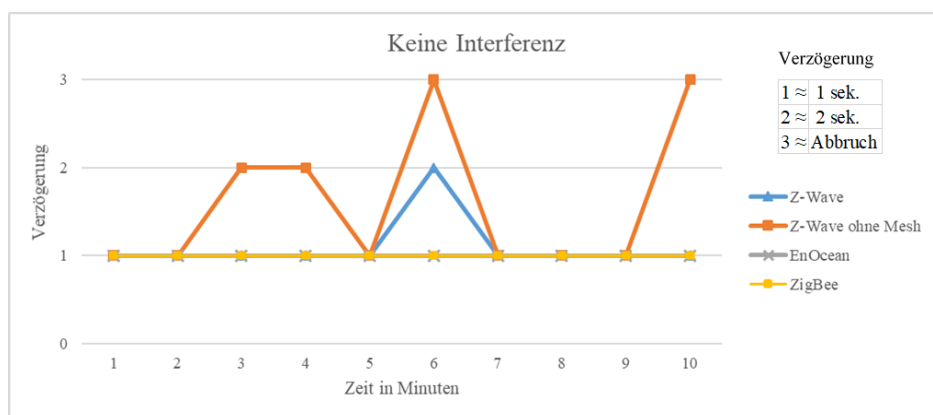
Quelle	Ziel	Entfernung[m]
001	018	1,5
001	019	1,5
001	021	0,5
001	023	2

Messergebnisse

Messung in interferenzarmer Umgebung

Die Zentrale des HomeMatic Systems konnte komplett ausgeschaltet werden. Einige batteriebetriebene Geräte des Systems konnten nicht deaktiviert werden. Der Aufwand, die Batterien bei allen HomeMatic Geräten zu entfernen, wäre zu groß gewesen. Die Testumgebung konnte somit nicht völlig frei von möglichen Interferenzsignalen des HomeMatic Systems gehalten werden.

Die geprüfte Steckdose (**018**) zeigte in ersten Testschaltungen keine auffälligen zeitlichen Verzögerungen. Dem Diagramm 4.24 sind zwei Abbrüche der Z-Wave Schaltung ohne Mesh zu entnehmen. Nur eine der Z-Wave Schaltungen mit Mesh wurde mit einer kurzen zeitlichen Verzögerung beobachtet. Die Schaltungen der ZigBee und EnOcean Steckdosen zeigten hier wieder keine Probleme.

**Abbildung 4.24:** Messung in interferenzarmer Umgebung (Wohnung in Norderstedt)

Messung mit Interferenz durch HomeMatic

Das HomeMatic System hatte hier kaum Einfluss auf die Schaltungen. Es wurden lediglich kurze zeitliche Verzögerungen der Schaltungen beobachtet. Die Schaltungen der ZigBee und EnOcean Steckdosen zeigten hier ebenfalls keine Probleme. (siehe Abbildung 4.25)

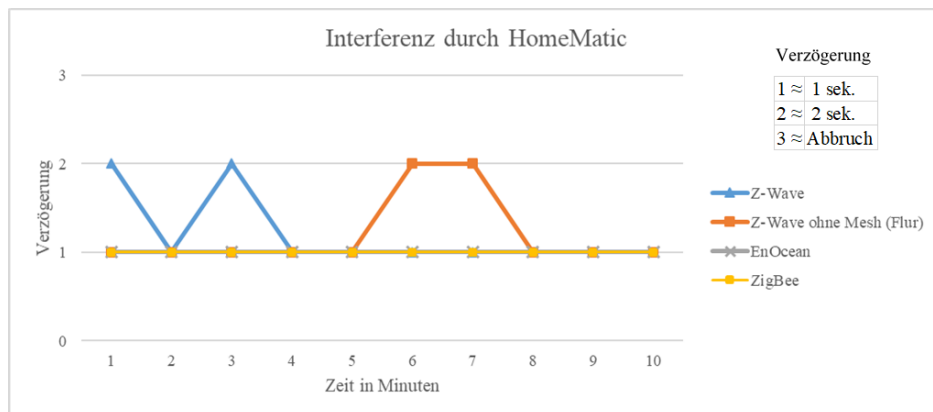


Abbildung 4.25: Messung mit Interferenz durch HomeMatic (Wohnung in Norderstedt)

5 Auswertung

In diesem Kapitel werden die Messungen in Hinblick auf Stabilität, Störanfälligkeit und Reichweite betrachtet und ausgewertet. Abschließend erfolgt eine Darstellung der Ergebnisse in einer Vergleichsmatrix.

5.1 Stabilität und Störanfälligkeit

Die Ergebnisse aus den verschiedenen Messungen unter dem Einfluss des HomeMatic Systems als mögliche Störquelle, zeigen im Vergleich zur jeweiligen Messung in der interferenzarmen Umgebung eine Verschlechterung der Stabilität des Z-Wave Systems. Es kommt zu mehr Verzögerungen und Abbrüchen des Signals.

Das HomeMatic System kann als eine Störquelle angenommen werden, denn bei den Messungen des 868 MHz Frequenzbandes in allen Testumgebungen konnten keine weiteren Störsignale nachgewiesen werden. Da nur über einen kurzen Zeitraum in den jeweiligen Haushalten gemessen wurde, ist jedoch nicht auszuschließen, dass es noch weitere Störquellen gibt. (siehe Tabelle 2.2)

Die Stabilität des Z-Wave Systems mit Mesh Vernetzung schneidet in fast allen Testhäusern schlechter ab als die direkte Verbindung. Das Mesh System konnte die Reichweite wie vorhergesehen erweitern, verhielt sich aber unzuverlässlich.

Die Netzwerkanalyse zeigte viele Fehler und Probleme bei der automatisierten Auswahl einer geeigneten Route der Z-Wave Pakete. Dieses Verhalten führte zu mehr Verzögerungen und Verbindungsabbrüchen.

Es müssen aber noch weitere Faktoren, die Einfluss auf die Stabilität haben, betrachtet werden. Das Material und der Aufbau der Umgebung sowie die Platzierung des Homee Würfels und der Steckdosen haben große Einwirkungen auf die Messergebnisse. Die Häufigkeiten der aufgetretenen Verzögerungen und Abbrüche sind in den Diagrammen 5.1 und 5.2 zu sehen. In beiden Umgebungen dominiert der unkritische Fall eins. In der Interferenzumgebung traten ca. zweimal so viele Abbrüche (Fall drei) wie in der

interferenzarmen Umgebung auf. Einen klaren Trend, dass das Mesh System immer unzuverlässiger wäre als die direkte Verbindung, ist nicht abzulesen. Die Häufigkeit bezieht sich auf die jeweils zehn Messungen in den fünf Haushalten.

Die Mesh Systeme der Protokolle ZigBee und EnOcean wurden in den Messungen nicht getestet und konnte demnach nicht bewertet werden.

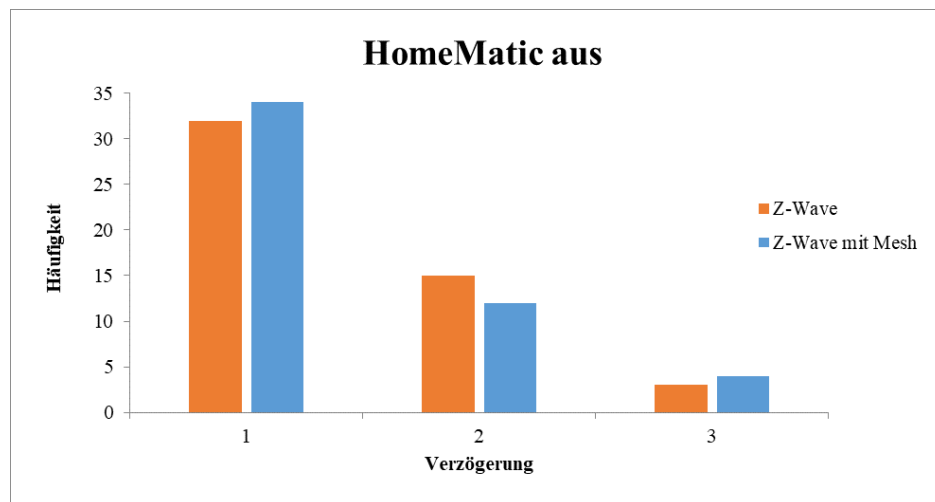


Abbildung 5.1: Häufigkeiten in interferenzarmer Umgebung

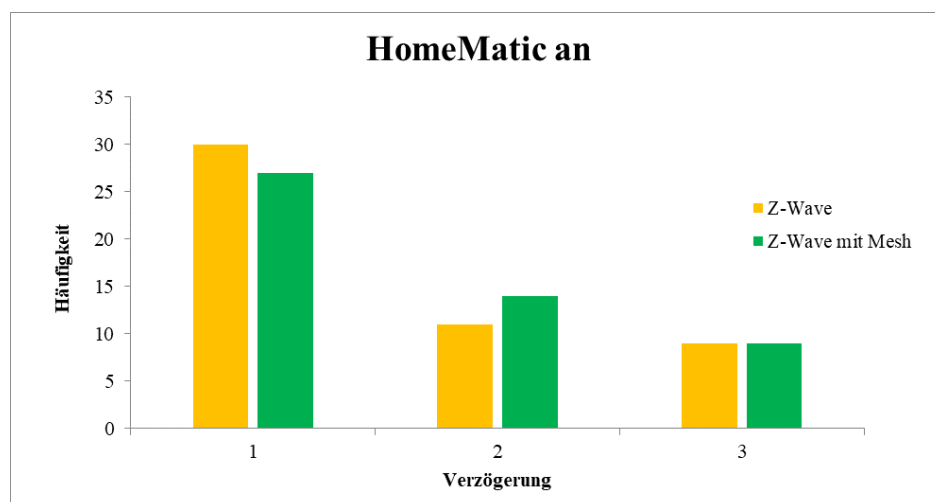


Abbildung 5.2: Häufigkeiten mit aktiviertem HomeMatic System

5.2 Reichweite

Die Reichweite der Systeme lag bei allen Messungen im Durchschnitt deutlich unter den maximal theoretischen Angaben. Grund für die Abweichungen ist unter anderem die geringe Reichweite des Homee Würfels von nur 15 Metern. Außerdem weichen die Sendeleistungen und somit auch die Reichweite der Steckdosen von Fibaro und Afriso von den Protokollangaben ab. Nach Herstellerangaben der Fibaro Z-Wave Steckdose beträgt die Leistung maximal -10 dBm, was 0,1 mW entspricht. Das Protokoll hingegen erlaubt einen maximalen Wert von 25 mW. Aufgrund dessen beträgt die maximale Reichweite der Steckdose im Freien nur noch 50 Meter und in Gebäuden 40 Meter.

Ein weiterer Grund für die Probleme könnte die Küche darstellen. In allen Testhäusern sind dort die Probleme am stärksten ausgeprägt. In einigen Fällen konnte dort keine stabile Verbindung aufgebaut werden. Ein Grund dafür könnten die elektrischen und metallischen Gegenstände, welche die Signale stark dämpfen und reflektieren können, in direkter Nähe der Steckdose sein.

Trotz der vermuteten Ursachen der Probleme zeigten die Messungen teilweise, dass das Z-Wave System auch mit Einfluss des HomeMatic Systems weiterhin stabil funktionierte.

Die festgestellten Probleme des Z-Wave Systems in den Testhäusern entstehen höchstwahrscheinlich durch eine Kombination aus genannten Einflüssen sowie Einwirkungen, die individuell für jeden Haushalt begutachtet werden müssen.

Die schwache Reichweite und der negative Einfluss des HomeMatic Systems können ein großes Problem für das Z-Wave Protokoll darstellen. Die geringe Reichweite führt zu einer erhöhten Aktivität des unzuverlässigen Mesh Systems des Z-Wave Protokolls, dessen Signale wiederum negativ vom HomeMatic System beeinflusst werden können. Dieser Prozess führt zu den Verbindungsproblemen und der Instabilität des Z-Wave Systems in den Testumgebungen.

5.3 Vergleichsmatrix

Eine genaue Gegenüberstellung aller untersuchten Protokolle ist in Tabelle 5.2 zu sehen. Die Bewertungen wurden aus den Messungen und den theoretischen Grundlagen gezogen.

Tabelle 5.1: Vergleichsmatrix

Kriterium	DECT	Z-Wave	ZigBee	EnOcean
Reichweite	groß	gering	mittel	gering
Stabilität	sehr gut	mittel	gut	gut
Stabilität des Mesh-Systems	-	mittel	-	-
Störeinflüsse	-	HomeMatic	ISM-Band	HomeMatic
Risiko der Datenkollision	niedrig	hoch	sehr hoch	hoch

Tabelle 5.2: DECT vs. Z-Wave

	FRITZ!DECT 200 (DECT)	Fibaro Wall Plug (Z-Wave)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • große Reichweite: wird durch die hohe Sendeleistung und das störungsfreie Frequenzband ermöglicht • stabile Verbindung: keine Verbindungsabbrüche 	<ul style="list-style-type: none"> • kleine Größe: die kompakte Abmessung ermöglicht den Einsatz in nahezu jeder Steckdose • Mesh-System: Erweiterung der Reichweite durch Vernetzung aller Z-Wave Geräte. • Design: schlicht und modern, der LED Ring ermöglicht die Anzeige für unterschiedliche Stromtarife
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Größe: die großen Maßen stellen Hindernisse für die Installation dar • Design ist altmodisch 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Reichweite • Mesh-Instabilität: Verbindungsabbrüche durch das Mesh System

6 Zusammenfassung und Fazit

Dieses Kapitel bildet den Abschluss dieser Bachelorarbeit und fasst zunächst die bisherigen Ergebnisse noch einmal zusammen. Darauf folgt das Fazit mit einer Bewertung der Störungen sowie einen Ausblick und Empfehlung der getesteten Funksteckdosen als Alternative für das Teilprojekt von „NEW“ 4.0.

6.1 Zusammenfassung

Im Laufe dieser Arbeit wurden die Grundlagen und eventuelle Störungen der drahtlosen Protokolle DECT, Z-Wave, ZigBee und EnOcean, welches für das Teilprojekt von „NEW“ 4.0 eingesetzt werden sollen, beschrieben. Der Fokus lag dabei auf dem Z-Wave Protokoll, welches in Vorabuntersuchungen problematisches Verhalten wie Verbindungsfehler zeigte.

Die Protokolle wurden anschließend in fünf typischen Haushalten in Hinblick auf Reichweite, Stabilität und Störanfälligkeit in verschiedenen Situationen gemessen. Die drei wesentlichen Ursachen der Schwierigkeiten des Z-Wave Systems wurden durch die Messungen erkannt und geprüft. Aus den Ergebnissen und den technischen Grundlagen wurden die vier Systeme durch eine Vergleichsmatrix bewertet. Zusätzlich wurden die Vorteile und Nachteile der Steckdosen des DECT und des Z-Wave Systems in einer Tabelle genauer gegenüber gestellt.

6.2 Fazit

Aufgrund von Beschreibungen der Probleme durch die Kollegen der Stadtwerke Norderstedt und den in der Arbeit gewonnenen Messergebnissen sind die aufgestellten Vermutungen für die Gründe der Störanfälligkeiten des Z-Wave Systems nachfolgend zusammengefasst.

Die Reichweite der getesteten Z-Wave Steckdose der Firma Fibaro wird stark durch äußere Einflüsse, wie Materialien und Grundrisse der Häuser, beeinflusst. Um das zu kompensieren, muss das Protokoll auf das eigentlich nützliche Mesh Netzwerk zurückgreifen. Das Mesh-System des Z-Wave Protokolls weist in Kombination mit der gleichzeitig eingeschalteten Störquelle HomeMatic jedoch viele Instabilitäten auf. Die automatische Problemlösung der Neuorganisation des Routingnetzes löst neue Probleme durch vermehrten Funkverkehr aus. Dieser Verkehr wird wiederum vom in den Haushalten vorhandenen HomeMatic System, welches auch im 868 MHz Band funkt, gestört. Es entstehen dadurch erhebliche Interferenzen, die zum Verbindungsabbruch des Homee Würfels zu den Steckdosen führen können. Die Signale kommen gar nicht oder mit einer starken Verzögerung bei dem Empfänger an.

Aus den Messungen geht nicht hervor, dass das HomeMatic System die Störungen im Z-Wave Netz verursacht. Die Probleme traten jedoch immer in den Häusern auf in denen HomeMatic im Einsatz ist. Um den Einfluss des Smart Home Systems HomeMatic auf das Z-Wave System und die damit auftretenden Störungen genauer zu untersuchen, sind weitere Messungen der Signale auf der nachrichtentechnischen Ebene nötig.

Demnach, und auf Grund der Befragungen der acht weiteren Kollegen der Stadtwerke Norderstedt, die keine Probleme mit den Fibaro Steckdosen haben, ist die Steckdose der Firma Fibaro mit dem Z-Wave System als Alternativlösung für das Teilprojekt von „NEW 4.0“ nur zu empfehlen, sofern die Benutzer nicht ein solches HomeMatic System in ihrem Haushalt installiert haben.

Die Anwender sollten zusätzlich keine „Smart Home“ Neulinge sein. Eine kluge Platzierung der Geräte hilft dabei, das Z-Wave Mesh Netzwerk zu stabilisieren. Jedoch gibt es auch dadurch keine Garantie für eine zuverlässige Schaltung, welche bei dem Teilprojekt von „NEW 4.0“ unbedingt nötig ist. Die getestete EnOcean sowie ZigBee Steckdose zeigte in den Messungen keinerlei Probleme und kann deshalb für das Projekt ohne weitere Einschränkungen empfohlen werden.

A Anhang

Inhalt:

- Messgeräte
 - Antenne
 - Funksteckdosen
 - * DECT: *AVM FRITZ!DECT 200*
 - * Z-Wave: *Fibaro Wall Plug*
 - * ZigBee: *Bitron Smart Plug*
 - * EnOcean: *Afriso APR 234*
- Messergebnisse
 - Haushalt 1
 - Haushalt 2
 - Haushalt 3
 - Haushalt 4

A.1 Messgeräte

A.1.1 Antenne HyperLog 60010

Technische Daten

HyperLOG® 6080:

- ◆ Bauform: Logarithmisch Periodisch
- ◆ Frequenzbereich: **680MHz-8GHz**
- ◆ Max. Sendeleistung: 100 W CW (400MHz)
- ◆ Nominalimpedanz: 50 Ohm
- ◆ VSWR (typ.): <1:2,5
- ◆ Gewinn (typ.): **5dBi**
- ◆ Antennenwandlungsmaß: **22-44dB/m**
- ◆ Kalibrierpunkte: **733** (10MHz-Schritte)
- ◆ HF-Anschluss: SMA-Buchse (18GHz) oder N-Anschluss über Adapter
- ◆ Abmessungen (L/B/H): (340x200x25) mm
- ◆ Gewicht: 250gr
- ◆ **Gewährleistung: 10 Jahre**

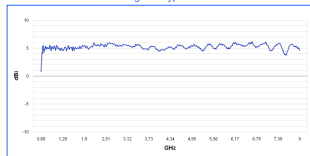
HyperLOG® 60100:

- ◆ Bauform: Logarithmisch Periodisch
- ◆ Frequenzbereich: **680MHz-10GHz**
- ◆ Max. Sendeleistung: 100 W CW (400MHz)
- ◆ Nominalimpedanz: 50 Ohm
- ◆ VSWR (typ.): <1:2,5
- ◆ Gewinn (typ.): **5dBi**
- ◆ Antennenwandlungsmaß: **22-46dB/m**
- ◆ Kalibrierpunkte: **933** (10MHz-Schritte)
- ◆ HF-Anschluss: SMA-Buchse (18GHz) oder N-Anschluss über Adapter
- ◆ Abmessungen (L/B/H): (340x200x25) mm
- ◆ Gewicht: 250gr
- ◆ **Gewährleistung: 10 Jahre**

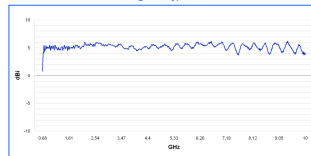
HyperLOG® 60180:

- ◆ Bauform: Logarithmisch Periodisch
- ◆ Frequenzbereich: **680MHz-18GHz**
- ◆ Max. Sendeleistung: 100 W CW (400MHz)
- ◆ Nominalimpedanz: 50 Ohm
- ◆ VSWR (typ.): <1:2,5
- ◆ Gewinn (typ.): **5dBi**
- ◆ Antennenwandlungsmaß: **22-50dB/m**
- ◆ Kalibrierpunkte: **1733** (10MHz-Schritte)
- ◆ HF-Anschluss: SMA-Buchse (18GHz) oder N-Anschluss über Adapter
- ◆ Abmessungen (L/B/H): (340x200x25) mm
- ◆ Gewicht: 250gr
- ◆ **Gewährleistung: 10 Jahre**

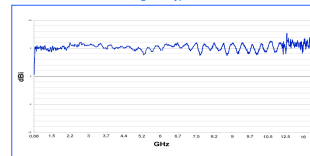
Gain Diagram HyperLOG 6080



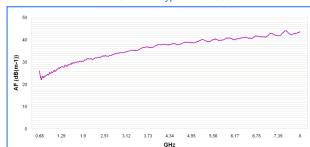
Gain Diagram HyperLOG 60100



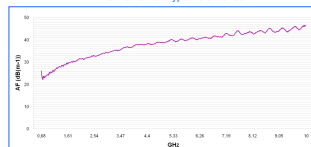
Gain Diagram HyperLOG 60180



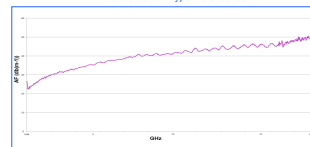
Antennenfaktor HyperLOG 6080



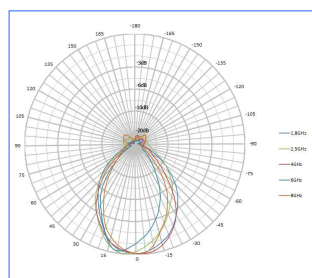
Antennenfaktor HyperLOG 60100



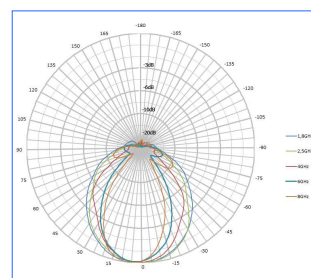
Antennenfaktor HyperLOG 60180



Horizontal Pattern HyperLOG 60xx Serie



Vertikal Pattern HyperLOG 60xx Serie



A.1.2 FRITZ!DECT 200, AVM (DECT-Protokoll)



FRITZ!DECT 200

Technische Daten

Die Highlights im Überblick

- Steckdose mit intelligenter Schaltung
- Schaltet automatisch oder manuell die Stromzufuhr angeschlossener Geräte
- Misst Energieverbrauch, zeichnet ihn auf und wertet ihn aus
- Steuerung per PC, Notebook, Smartphone oder Tablet – auch unterwegs über das Internet und per App
- Über DECT ins Heimnetz eingebunden – ab Werk sicher verschlüsselt
- Lernfähig durch automatische Updates



Technische Daten

Features

- Schaltet automatisch oder manuell die Stromzufuhr angeschlossener Geräte (bis 2.300 Watt)
- Manuelles Schalten: über Taster am Aktor oder per FRITZ!Fon; am PC, Smartphone oder Tablet über die Benutzeroberfläche der FRITZ!Box oder per MyFRITZ!App (lokal und über das Internet)
- Automatisches Schalten: einmalig, täglich, wochentäglich (140 freie Schaltpunkte pro Woche), rhythmisch, zufällig, Countdown, per Astro-Funktion je nach Zeitpunkt von Sonnenauf- und -untergang oder per Google-Kalender, Abschalten bei Standby, Schalten durch Geräusche (z.B. Klatschen oder Klopfen)
- Misst den Energieverbrauch angeschlossener Geräte und zeichnet diesen auf
- Energieauswertung: aktuelle Leistung (Wirkleistung), sowie aktuelle Spannung und Strom, Verbrauch pro 15 Minuten, Tag, Monat, Jahr in kWh, Euro, CO₂-Ausstoß
- Integrierter Temperaturfühler und Geräuschsensor
- Aufzeichnen des Temperaturverlaufs der letzten 24h
- Anzeige der aktuellen Leistung und Temperatur sowie Schalten über FRITZ!Fon, die Benutzeroberfläche der FRITZ!Box oder MyFRITZ!App

- Push-Mail-Funktion: alle Informationen wie verbrauchte Energie oder Schaltzustand per E-Mail inkl. Verbrauchsdaten als CSV-Anhang
- Intuitive Einrichtung im Browser über die Benutzeroberfläche der FRITZ!Box
- Steuerung per PC, Notebook, Smartphone oder Tablet – auch unterwegs über das Internet
- Software-gesteuertes Schalten am Nulldurchgang
- Funkreichweite: bis zu 300 Meter im Freien und bis zu 40 Meter in Gebäuden
- Einbindung ins Heimnetz über DECT-Funk – ab Werk sicher verschlüsselt
- Automatische Update-Funktion für neue Leistungsmerkmale

Geräteeigenschaften

- Abmessungen (B x H x T): 59 x 93 x 41 mm (ohne Stecker)
- Gewicht: 135 g
- Maximale Leistungsaufnahme: ca. 1,1 Watt (ab FRITZ!OS 6.50)
- Leistungsaufnahme im Stand-by: ca. 0,5 Watt (ab FRITZ!OS 6.50)
- Messgenauigkeit: +/- 100mW (bis 5 Watt) bzw. +/- 2% (ab 5 Watt)
- Geeignet für Umgebungstemperaturen von 0° C – 40° C

Systemvoraussetzungen

- 230-Volt-Steckdose
- FRITZ!Box mit DECT (Ausnahme FRITZ!Box 7312/7412), FRITZ!OS ab Version 5.50

Lieferumfang

- FRITZ!DECT 200
- Installationsanleitung

Artikelnummer

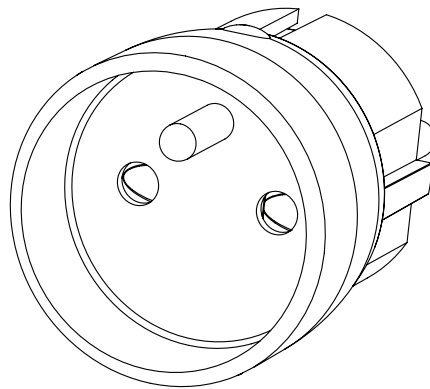
- 20002572

A.1.3 Fibaro Wall Plug (Z-Wave-Protokoll)



OPERATING MANUAL

EN



FIBARO WALL PLUG FGWP-102

CONTENTS

v2.1

#1: Description and features	3	#7: Association	10
#2: Basic activation	4	#8: Z-Wave range test	11
#3: Adding the device	5	#9: Advanced parameters	12
#4: Removing the device	6	#10: Specifications	19
#5: Operating the device	7	#11: Regulations	20
#6: Power and energy consumption	9		

#10: Specifications

Power supply:	230V AC, 50/60 Hz
Rated load current (for resistive load):	11A - continuous load
Power consumption:	up to 1.6W
Power output (for resistive load):	2.5kW at continuous load
To be used with E or F type (Schuko) sockets:	- CEE 7/16 - max load 2.5A - CEE 7/17 - max load 11A - Dual type plugs E/F
Active element:	Micro-gap relay switch μ
EU standards compliance:	RoHS 2011/65/EU RED 2014/53/EU
Pollution Degree:	2 (home and office use, indoor only)
Radio protocol:	Z-Wave (500 series chip)
Radio frequency:	868.4 or 869.8 MHz EU; 908.4, 908.42 or 916.0 MHz US; 921.4 or 919.8 MHz ANZ; 869.0 MHz RU;
Range:	up to 50m outdoors up to 40m indoors (depending on terrain and building structure)
Operating temperature:	0 - 40°C
Dimensions (Diameter x Height):	43 x 65 mm

Safety classification rating: home and office use only

Type 1 action according to features of automatic action as per clause 6.4.1 of EN 60730-1:2012 standard.

Software class A device, according to EN 60730-1:2012 standard.

i NOTE

In case of loads other than resistive please observe $\cos\phi$ and, if necessary, use load lower than rated. It is recommended not to exceed 3A for 250 V AC, $\cos\phi=0.4$.

i NOTE

Radio frequency of individual device must be same as your Z-Wave controller. Check information on the box or consult your dealer if you are not sure.

SPECIFICATIONS

A.1.4 Bitron Smart Plug (ZigBee-Protokoll)

bitronhome
URMET|GROUP

SCHNELLSTART ANLEITUNG
LEISTUNGSMERKMALE UND INBETRIEBNAHME

QUICKSTART MANUAL
FEATURES AND INSTALLATION



902010/28

SMART-PLUG



DS902010-008

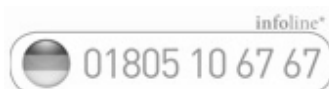
LBT90358

TECHNISCHE DATEN

- Funk-Zwischenstecker mit Schaltfunktion, max. 16A
- Funkstandard: ZigBee HA 1.1 - 2,4 Ghz für QIVICON
- Verschlüsselte Kommunikation, regelmäßiger Verbindungstest
- Stromversorgung: 110-230V~ 50/60Hz
- Betriebstemperatur: -10°C bis +45°C
- Luftfeuchtigkeit: bis zu 85% nicht kondensierend
- Abmessungen: 78 x 52 mm, 48mm ab Steckdosenkante

TECHNICAL CHARACTERISTICS

- Smart-plug with switching function, 16A max
- Radio system: ZigBee HA 1.1 - 2.4 Ghz for QIVICON
- Encrypted communication, regular connectivity test
- Power supply: 110-230V~ 50/60Hz
- Operating temperature: -10°C to +45°C
- Humidity: up to 85% non-condensing
- Dimensions: 78 x 52 mm, 48mm from plug level



www.bitronhome.eu



info@bitronhome.eu

Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Dieses Produkt ist konform mit den CE Anforderungen und anderen relevanten Normen. Die Konformitätserklärungen finden Sie auf unserer Internetseite www.bitronhome.eu und Sie können diese über unseren Support anfordern.

Subject to modifications and mistakes. The product is compliant with the CE requirements and further relevant standards. You may download the declaration of conformity at our Internet presence www.bitronhome.eu or request it through our support.



www.qivicon.de/support

BITRON HOME

<http://www.bitronhome.eu>
e-mail: info@bitronhome.eu

Urmet S.p.A.
Via Bologna 188/C
10154 Torino - Italy

D: * 0,14 €/Min. für Anrufe aus dem deutschen Festnetz,
max. 0,42 €/Min. aus den deutschen Mobilfunknetzen.
A: ** 0,20 € pro Minute aus allen nationalen Netzen
Die Anrufpreise aus dem Ausland können abweichen.

A.1.5 Afriso APR 234 (EnOcean-Protokoll)

AFRISO Smart Home

Funkautomatisierung

Funk-Zwischensteckdose APR 234 mit Repeaterfunktion



- Bis zu 30 Sensoren direkt anlernbar;
Steuerung über Mobile App AFRISOhome
- Schalten von elektrischen Verbrauchern
- Heizungsregelung über 2-Punkt-Regelung
- Integrierte Leistungsmessung und Repeaterfunktion
- Zertifiziert nach IEC 60884-1/-2/-5, EN 60730-1,
VDE 0631-1:2012-10



5

Anwendung Zum ferngesteuerten Schalten von elektrischen Verbrauchern sowie zur 2-Punkt-Regelung z. B. an Elektroheizungen. Leistungsmessung der angeschlossenen Geräte und Repeaterfunktion (Level 1 und 2).

Beschreibung Mit der Funk-Zwischensteckdose APR 234 können elektrische Geräte ferngesteuert werden. Es lassen sich bis zu 30 Sensoren direkt an die Steckdose anlernen. Dazu gehören beispielsweise Taster, Fensterkontakte, Raumfühler und Präsenzmelder. Damit können verschiedenste Funktionen, wie z. B. das automatische Einschalten der Beleuchtung bei Betreten eines Raumes oder eine autarke Temperaturregelung mit Fensterüberwachung umgesetzt werden. Die Funk-Zwischensteckdose kann als Komponente am AFRISOhome Gateway betrieben werden. Dadurch ist eine zusätzliche Fernbedienung über mobile Endgeräte möglich. Die Funk-Zwischensteckdose verfügt zudem über eine Leistungsmessung, um den Energieverbrauch kontinuierlich zu überwachen sowie über eine integrierte Repeaterfunktion.

Technische Daten

Temperatureinsatzbereich

Betrieb: -10/+40 °C

Relative Luftfeuchtigkeit

0–85 % r.F. (nicht kondensierend)

Versorgungsspannung

AC 207–253 V
Frequenz: 43–67 Hz

Maximale Leistung

- Schaltleistung: 3.680 W, max. 16 A, cos Ø 1
- Dauerleistung: 2.500 W
- Einschaltstromfestigkeit: 80 A, TV-5
- Überspannungsfestigkeit: 2,5 kV, zerstörungsfrei, 6 kV, keine Feuergefahr
- Verlustleistung im Standby: < 0,5 W
- Lebensdauer Relaiskontakte: > 50 x 10³ Zyklen

Schutzfunktionen

Überstrom: Abschaltung der Last
Übertemperatur: Abschaltung der Last
Kindersicherung

Gehäuse

Farbe: Weiß, ähnlich RAL 9003
B x H x T: 51 x 51 x 77 mm
Gewicht: Ca. 70 g

Leistungs-/Energimessung

Leistung: Wirkleistung in W
Genauigkeit: 5 %, mindestens 0,5 W

EnOcean®-Funk

Frequenz: 868,3 MHz
Sendeleistung: Max. 10 mW
Reichweite: 10 bis 30 m (abhängig von Raumsituation und Baumaterialien)

Normen

- Entspricht IEC 60884-1/2-5, EN 60730-1
- Kommunikations-Protokoll: EnOcean®-Version auf Dolphin-Plattform (ISO/IEC 14543-3-10)

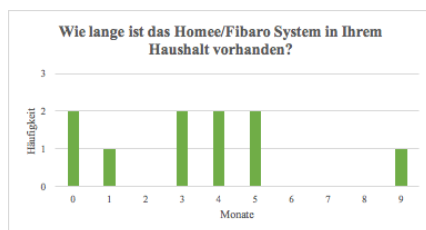
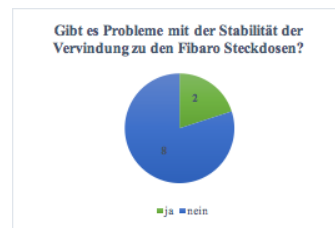
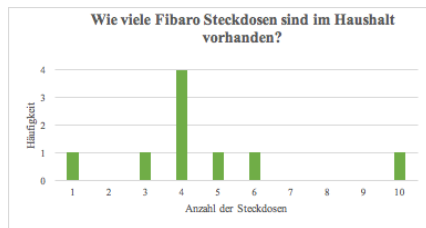


Detaillierte Angaben zur Reichweite EnOcean®-Funkmodul siehe Betriebsanleitung.

RK: L, PG: 4	Art.-Nr.	Preis €
Zwischensteckdose APR 234	75004	

A.2 Umfrage

Umfrage zu Problemen mit den Steckdosen der Firma Fibaro - NEW 4.0



Treten diese Probleme dauerhaft oder temporär auf?

2x dauerhaft

Sind noch andere "Smart Home" Systeme/Geräte vorhanden?

- Homematic, Alexa, FS20, Netamo
- DECT, HomeMatic, Zigbee, EnOcean
- DECT
- DECT
- ja (DECT)
- ja (DECT)
- Phillips Hue, DECT
- HomeMatic
- nein
- nein

Treten diese Probleme auch bei den DECT Steckdosen auf?

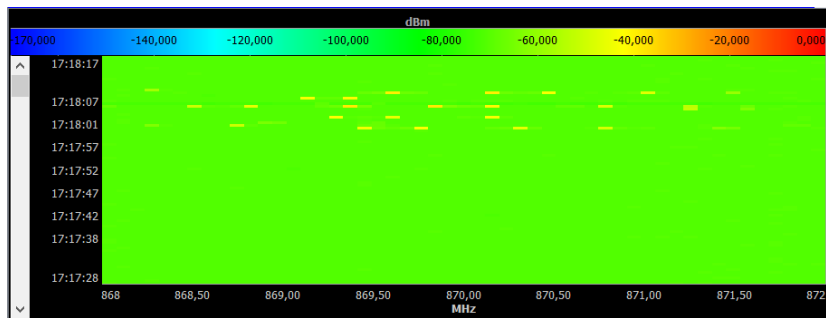
1x Ja

A.3 Messergebnisse

A.3.1 Haushalt 1

HomeMatic aus, Verzögerung Z-Wave mit Mesh

Aus dem Wasserfall Diagramm ist eine ungefähre zeitliche Verzögerung von 10 Sekunden zu entnehmen. Die tatsächlich wahrgenommene Verzögerung liegt mit einer großen Sicherheit unter diesem Wert.

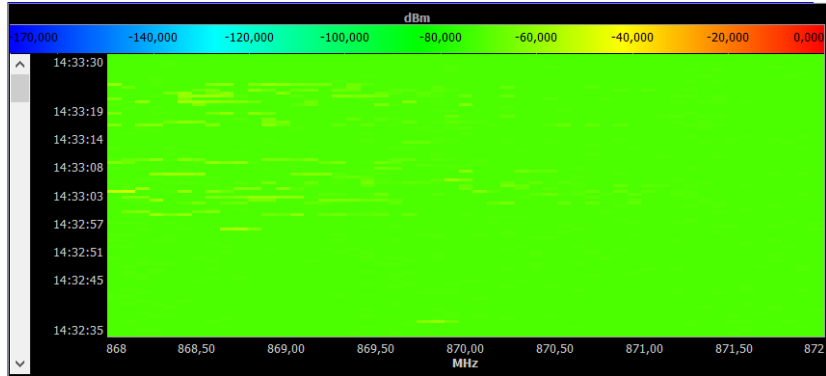


Der Ausschnitt aus der Ziffer Software mit den zugehörigen aufgenommenen Z-Wave Paketen ist in der unten stehenden Grafik zu sehen. Nur eine Routing Fehlversuch (rot markiert) führte zu dieser Verzögerung.

Line	Date	Time	Speed	RS	C	Del	Sour	Desti	Home Id	Data	Application
6990	27.09.2018	17:18:02.136	100KBit/s	54	0	5265:	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)-> 19 - (18)	Security Nonce G
6991	27.09.2018	17:18:02.152	100KBit/s	60	0	9	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce G
6992	27.09.2018	17:18:02.152	100KBit/s	62	0	14	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ack
6993	27.09.2018	17:18:02.167	100KBit/s	60	0	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<- 19 - (18)	Routed Ack
6994	27.09.2018	17:18:02.167	100KBit/s	56	0	8	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
6995	27.09.2018	17:18:02.247	100KBit/s	61	0	54	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)-> 19 - (1)	Security Nonce Re
6996	27.09.2018	17:18:02.247	100KBit/s	60	0	10	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce Re
6997	27.09.2018	17:18:02.247	100KBit/s	57	0	12	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Routed Ack
6998	27.09.2018	17:18:02.263	100KBit/s	60	0	9	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<- 19 - (1)	Routed Ack
6999	27.09.2018	17:18:02.263	100KBit/s	61	0	8	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
7000	27.09.2018	17:18:02.322	100KBit/s	57	0	49	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)-> 19 - (18)	Security Message
7001	27.09.2018	17:18:02.337	100KBit/s	60	0	11	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Message
7002	27.09.2018	17:18:02.337	100KBit/s	61	0	14	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ack
7003	27.09.2018	17:18:02.353	100KBit/s	60	0	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<- 19 - (18)	Routed Ack
7004	27.09.2018	17:18:02.385	100KBit/s	60	0	42	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<- 19 - (18)	Routed Ack
7005	27.09.2018	17:18:02.401	100KBit/s	55	0	8	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
7006	27.09.2018	17:18:02.417	100KBit/s	60	0	8	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)-> 19 - (1)	Security Nonce G
7007	27.09.2018	17:18:02.417	100KBit/s	61	0	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce G
7008	27.09.2018	17:18:02.448	100KBit/s	61	0	24	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce G
7009	27.09.2018	17:18:02.480	100KBit/s	52	0	37	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)-> 19 - (18)	Security Nonce G
7010	27.09.2018	17:18:02.529	100KBit/s	60	0	42	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce G
7011	27.09.2018	17:18:02.545	100KBit/s	57	0	21	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)-> 19 - (18)	Security Nonce G
7012	27.09.2018	17:18:02.545	100KBit/s	60	0	7	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<- 19 - (1)	Routed Error
7013	27.09.2018	17:18:02.560	100KBit/s	61	0	8	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
7014	27.09.2018	17:18:02.609	100KBit/s	60	0	50	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19<-(1)	Routed Ack
7015	27.09.2018	17:18:02.609	100KBit/s	60	0	8	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<- 19 - (1)	Routed Ack
7016	27.09.2018	17:18:02.625	100KBit/s	61	0	8	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
7017	27.09.2018	17:18:04.433	100KBit/s	65	0	1791	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)-> 19 - (18)	Security Nonce Re
7018	27.09.2018	17:18:04.433	100KBit/s	62	0	10	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Re
7019	27.09.2018	17:18:04.448	100KBit/s	60	0	18	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ack
7020	27.09.2018	17:18:04.448	100KBit/s	62	0	8	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<- 19 - (18)	Routed Ack
7021	27.09.2018	17:18:04.465	100KBit/s	65	0	8	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
7022	27.09.2018	17:18:04.513	100KBit/s	60	0	51	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)-> 19 - (1)	Security Message
7023	27.09.2018	17:18:04.544	100KBit/s	62	0	11	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Message
7024	27.09.2018	17:18:04.544	100KBit/s	65	0	14	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19<-(1)	Routed Ack

A.3.2 Haushalt 2

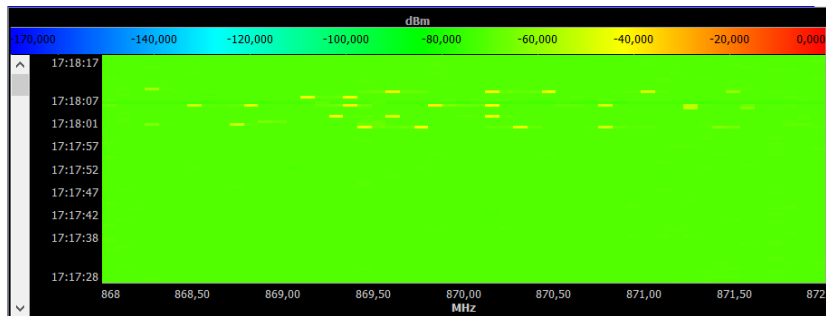
HomeMatic an, Abbruch Z-Wave mit Mesh



Line	Date	Time	Speed	RS	C	Delta	Source	Destin	Home Id	Data	Application
1148	19.10.2018	14:33:23.603	100Kbit/s	66	0	37	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce C
1148	19.10.2018	14:33:23.667	40Kbit/s	65	1	68	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce C
1148	19.10.2018	14:33:23.667	40Kbit/s	54	1	10	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
1148	19.10.2018	14:33:23.731	100Kbit/s	66	0	63	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce C
1148	19.10.2018	14:33:23.763	100Kbit/s	66	0	22	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce C
1148	19.10.2018	14:33:23.826	9.6Kbit/s	60	1	43	019(018)	020(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->20 - (1)	Security Nonce F
1149	19.10.2018	14:33:23.826	100Kbit/s	66	0	23	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce C
1149	19.10.2018	14:33:23.843	40Kbit/s	70	1	23	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce C
1149	19.10.2018	14:33:23.907	40Kbit/s	70	1	55	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce C
1149	19.10.2018	14:33:23.907	40Kbit/s	61	1	9	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - 20 - (1)	Routed Error
1149	19.10.2018	14:33:23.923	40Kbit/s	53	1	11	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
1149	19.10.2018	14:33:23.940	40Kbit/s	65	1	13	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce C
1149	19.10.2018	14:33:23.955	40Kbit/s	60	1	12	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce C
1149	19.10.2018	14:33:23.987	40Kbit/s	60	1	45	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce C
1149	19.10.2018	14:33:24.067	40Kbit/s	61	1	79	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce C
1149	19.10.2018	14:33:24.099	40Kbit/s	61	1	29	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Error
1150	19.10.2018	14:33:24.115	40Kbit/s	65	1	11	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
1150	19.10.2018	14:33:24.354	100Kbit/s	66	0	237	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - 21 - (18)	Security Nonce C
1150	19.10.2018	14:33:24.354	100Kbit/s	60	0	9	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce C
1150	19.10.2018	14:33:24.419	100Kbit/s	66	0	58	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - 21 - (18)	Security Nonce C
1150	19.10.2018	14:33:24.419	100Kbit/s	54	0	2	000			CRC_ERROR	
1150	19.10.2018	14:33:24.482	100Kbit/s	66	0	65	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - 21 - (18)	Security Nonce C
1150	19.10.2018	14:33:24.515	40Kbit/s	66	1	23	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - 21 - (18)	Security Nonce C
1150	19.10.2018	14:33:24.515	100Kbit/s	60	0	8	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce C
1150	19.10.2018	14:33:24.547	40Kbit/s	61	1	28	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - 21 - (18)	Routed Error
1150	19.10.2018	14:33:24.547	40Kbit/s	66	1	11	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
1151	19.10.2018	14:33:24.579	40Kbit/s	65	1	23	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - 21 - (18)	Security Nonce C
1151	19.10.2018	14:33:24.594	40Kbit/s	60	1	11	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce C
1151	19.10.2018	14:33:24.610	40Kbit/s	61	1	28	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce C
1151	19.10.2018	14:33:24.658	40Kbit/s	61	1	44	019(001)	021(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->21 - (18)	Security Nonce C
1151	19.10.2018	14:33:24.691	40Kbit/s	61	1	30	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - 21 - (18)	Routed Error
1151	19.10.2018	14:33:24.707	40Kbit/s	65	1	10	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
1151	19.10.2018	14:33:24.835	100Kbit/s	66	0	130	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce C
1151	19.10.2018	14:33:24.851	100Kbit/s	66	0	21	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce C
1151	19.10.2018	14:33:24.883	100Kbit/s	66	0	37	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce C

A.3.3 Haushalt 3

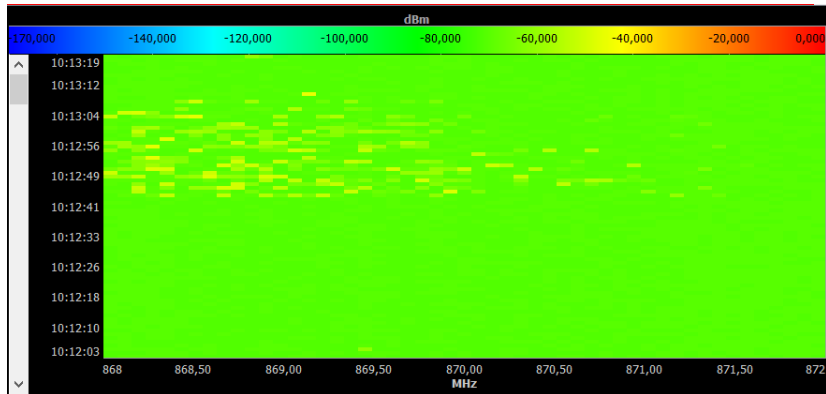
HomeMatic aus, Verzögerung Z-Wave mit Mesh



Line	Date	Time	Speed	RS	C	Del	Sour	Desti	Home Id	Data	Application
6990	27.09.2018	17:18:02.136	100KBit/s	54	0	5265:	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Gr
6991	27.09.2018	17:18:02.152	100KBit/s	60	0	9	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Gr
6992	27.09.2018	17:18:02.152	100KBit/s	62	0	14	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ack
6993	27.09.2018	17:18:02.167	100KBit/s	60	0	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ack
6994	27.09.2018	17:18:02.167	100KBit/s	56	0	8	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
6995	27.09.2018	17:18:02.247	100KBit/s	61	0	54	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security Nonce Re
6996	27.09.2018	17:18:02.247	100KBit/s	60	0	10	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce Re
6997	27.09.2018	17:18:02.247	100KBit/s	57	0	12	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19<-(1)	Routed Ack
6998	27.09.2018	17:18:02.263	100KBit/s	60	0	9	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - (1)	Routed Ack
6999	27.09.2018	17:18:02.263	100KBit/s	61	0	8	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
7000	27.09.2018	17:18:02.322	100KBit/s	57	0	49	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Message
7001	27.09.2018	17:18:02.337	100KBit/s	60	0	11	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Message
7002	27.09.2018	17:18:02.337	100KBit/s	61	0	14	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ack
7003	27.09.2018	17:18:02.353	100KBit/s	60	0	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ack
7004	27.09.2018	17:18:02.385	100KBit/s	60	0	42	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ack
7005	27.09.2018	17:18:02.401	100KBit/s	55	0	8	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
7006	27.09.2018	17:18:02.417	100KBit/s	60	0	8	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security Nonce Gr
7007	27.09.2018	17:18:02.417	100KBit/s	61	0	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce Gr
7008	27.09.2018	17:18:02.448	100KBit/s	61	0	24	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce Gr
7009	27.09.2018	17:18:02.480	100KBit/s	52	0	37	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Gr
7010	27.09.2018	17:18:02.529	100KBit/s	60	0	42	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Nonce Gr
7011	27.09.2018	17:18:02.545	100KBit/s	57	0	21	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Gr
7012	27.09.2018	17:18:02.545	100KBit/s	60	0	7	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - (1)	Routed Error
7013	27.09.2018	17:18:02.560	100KBit/s	61	0	8	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
7014	27.09.2018	17:18:02.609	100KBit/s	60	0	50	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19<-(1)	Routed Ack
7015	27.09.2018	17:18:02.609	100KBit/s	60	0	8	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - (1)	Routed Ack
7016	27.09.2018	17:18:02.625	100KBit/s	61	0	8	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
7017	27.09.2018	17:18:04.433	100KBit/s	65	0	1791	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Re
7018	27.09.2018	17:18:04.433	100KBit/s	62	0	10	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security Nonce Re
7019	27.09.2018	17:18:04.448	100KBit/s	60	0	18	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ack
7020	27.09.2018	17:18:04.448	100KBit/s	62	0	8	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ack
7021	27.09.2018	17:18:04.465	100KBit/s	65	0	8	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
7022	27.09.2018	17:18:04.513	100KBit/s	60	0	51	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security Message
7023	27.09.2018	17:18:04.544	100KBit/s	62	0	11	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security Message
7024	27.09.2018	17:18:04.544	100KBit/s	65	0	14	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19<-(1)	Routed Ack

HomeMatic an, Verzögerung Z-Wave mit Mesh

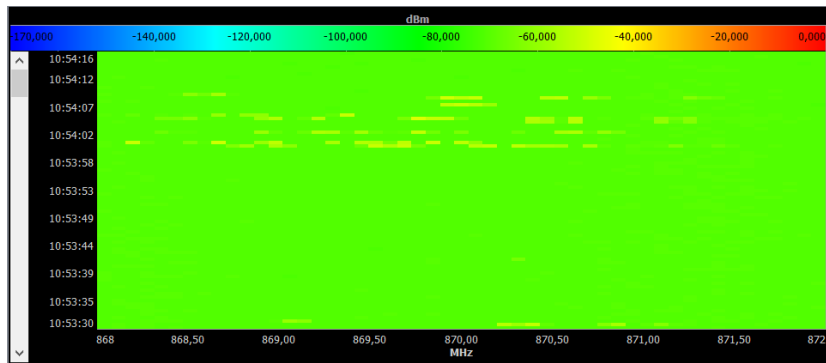
Das HomeMatic System verursachte hier ein erhöhten Funkverkehr (siehe Wasserfalldiagramm). Dies führte zu mehreren Routing Fehlversuchen. Um das zu lösen wählte das Mesh System alternative Routen, die auch wieder vom HomeMatic System gestört wurden und abbrechen (siehe Zniffer).



Line	Time	Speed	R	C	Delta	Source	Dest	Home Id	Data	Application
25918	10:13:05.949	100Kbit/s	57	0	25	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 23->(1)	Meter Report
25919	10:13:05.981	100Kbit/s	58	0	24	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 23->(1)	Meter Report
25920	10:13:05.996	100Kbit/s	62	0	15	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Meter Get
25921	10:13:05.996	100Kbit/s	64	0	9	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Meter Get
25922	10:13:06.012	100Kbit/s	57	0	18	023(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-23 - (1)	Routed Error
25924	10:13:06.028	100Kbit/s	62	0	2	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Meter Get
25925	10:13:06.061	40Kbit/s	64	1	23	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Meter Get
25926	10:13:06.078	40Kbit/s	64	1	25	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Meter Get
25927	10:13:06.093	40Kbit/s	64	1	10	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Meter Get
25928	10:13:06.109	40Kbit/s	64	1	27	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Meter Get
25929	10:13:06.142	40Kbit/s	64	1	18	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Meter Get
25930	10:13:06.173	40Kbit/s	63	1	44	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Meter Get
25931	10:13:06.189	100Kbit/s	64	0	9	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ack
25932	10:13:06.205	100Kbit/s	62	0	26	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Error
25933	10:13:06.285	40Kbit/s	65	1	66	018	023(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->23 - (1)	Meter Report
25934	10:13:06.301	40Kbit/s	60	1	14	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 23->(1)	Meter Report
25935	10:13:06.301	100Kbit/s	61	0	13	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Error
25936	10:13:06.333	100Kbit/s	61	0	24	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Error
25937	10:13:06.349	40Kbit/s	60	1	19	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 23->(1)	Meter Report
25938	10:13:06.412	40Kbit/s	60	1	64	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 23->(1)	Meter Report
25939	10:13:06.429	100Kbit/s	62	0	19	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Meter Get
25940	10:13:06.446	100Kbit/s	64	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
25941	10:13:06.462	100Kbit/s	57	0	18	023(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-23 - (1)	Routed Error
25942	10:13:06.541	40Kbit/s	64	1	78	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Meter Get
25943	10:13:06.541	40Kbit/s	65	1	10	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
25944	10:13:06.557	40Kbit/s	64	1	9	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 23<-(1)	Routed Ack
25945	10:13:06.572	40Kbit/s	60	1	11	023(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-23 - (1)	Routed Ack
25946	10:13:06.572	40Kbit/s	65	1	10	018	023	C8 45 57 AC	Ack	
25947	10:13:07.469	100Kbit/s	62	0	896	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Notification Get
25948	10:13:07.484	100Kbit/s	64	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
25949	10:13:07.500	100Kbit/s	62	0	29	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Notification Get
25950	10:13:07.516	100Kbit/s	64	0	7	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
25951	10:13:07.564	40Kbit/s	64	1	45	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Notification Get
25952	10:13:07.564	40Kbit/s	65	1	11	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
25953	10:13:07.629	100Kbit/s	63	0	63	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Notification Get

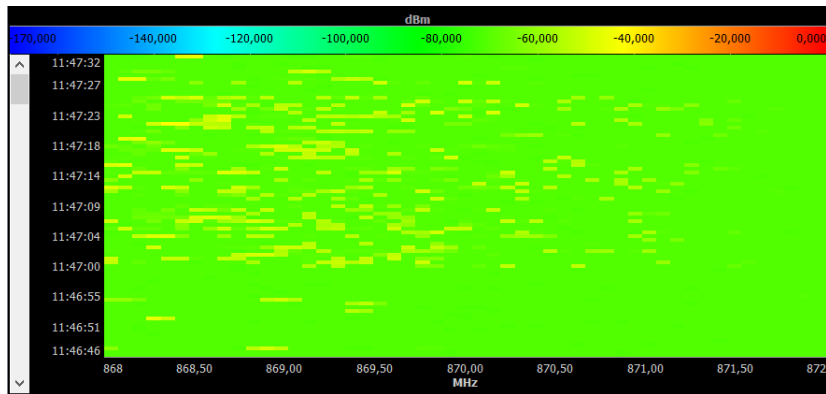
A.3.4 Haushalt 4

HomeMatic aus, Abbruch Z-Wave mit Mesh



Line	Date	Time	Speed	R	C	D	Source	Destin	Home Id	Data	Applic
1998	02.10.2018	10:54:01.508	100KBit/s	53	0	22	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security N
1999	02.10.2018	10:54:01.524	100KBit/s	54	0	22	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security N
2000	02.10.2018	10:54:01.540	100KBit/s	72	0	15	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19->(18)	Security N
2001	02.10.2018	10:54:01.572	40Kbit/s	56	1	24	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security N
2002	02.10.2018	10:54:01.572	100KBit/s	72	0	8	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed En
2003	02.10.2018	10:54:01.587	100KBit/s	78	0	7	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
2004	02.10.2018	10:54:01.620	40Kbit/s	56	1	30	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->19 - (1)	Security N
2005	02.10.2018	10:54:01.620	40Kbit/s	70	1	12	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security N
2006	02.10.2018	10:54:01.700	40Kbit/s	70	1	79	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security N
2007	02.10.2018	10:54:01.748	100KBit/s	77	0	40	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security N
2008	02.10.2018	10:54:01.748	100KBit/s	53	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
2009	02.10.2018	10:54:01.764	40Kbit/s	70	1	18	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19->(1)	Security N
2010	02.10.2018	10:54:01.796	100KBit/s	72	0	28	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - (1)	Routed En
2011	02.10.2018	10:54:01.811	40Kbit/s	78	1	8	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19<-(1)	Routed Ac
2012	02.10.2018	10:54:01.844	100KBit/s	72	0	43	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - (1)	Routed En
2013	02.10.2018	10:54:01.860	100KBit/s	53	0	8	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
2014	02.10.2018	10:54:01.876	40Kbit/s	78	1	17	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(18) - 19<-(1)	Routed Ac
2015	02.10.2018	10:54:01.892	40Kbit/s	73	1	11	019(001)	018	C8 45 57 AC	Routed:(18)<-19 - (1)	Routed Ac
2016	02.10.2018	10:54:01.892	40Kbit/s	56	1	11	018	019	C8 45 57 AC	Ack	
2017	02.10.2018	10:54:01.907	100KBit/s	54	0	7	018	019(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 19<-(18)	Routed Ac
2018	02.10.2018	10:54:01.907	100KBit/s	72	0	9	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ac
2019	02.10.2018	10:54:01.939	100KBit/s	72	0	24	019(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-19 - (18)	Routed Ac
2020	02.10.2018	10:54:01.955	100KBit/s	78	0	16	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
2021	02.10.2018	10:54:01.955	100KBit/s	77	0	7	001	019	C8 45 57 AC	Ack	
2022	02.10.2018	10:54:03.444	100KBit/s	77	0	14	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security N
2023	02.10.2018	10:54:03.460	100KBit/s	54	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
2024	02.10.2018	10:54:03.476	100KBit/s	54	0	10	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security M
2025	02.10.2018	10:54:03.524	100KBit/s	77	0	59	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security N
2026	02.10.2018	10:54:03.539	100KBit/s	54	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
2027	02.10.2018	10:54:03.555	100KBit/s	53	0	22	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security M
2028	02.10.2018	10:54:03.572	40Kbit/s	78	1	13	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security N
2029	02.10.2018	10:54:03.572	40Kbit/s	56	1	12	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
2030	02.10.2018	10:54:03.612	100KBit/s	77	0	19	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security N
2031	02.10.2018	10:54:03.612	100KBit/s	54	0	9	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
2032	02.10.2018	10:54:03.635	40Kbit/s	56	1	16	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security M

HomeMatic an, Abbruch Z-Wave mit Mesh



Die folgenden gemessenen Z-Wave Pakete zeigen noch einmal deutlich, wie das Mesh System fehlschlägt.

Line	Date	Time	Speec	R	C	D	Source	Destin	Home Id	Data	Application
12296	02.10.2018	11:47:07.959	100Kbit/s	57	0	9	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
12297	02.10.2018	11:47:07.995	100Kbit/s	57	0	31	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Message Encap
12298	02.10.2018	11:47:08.012	40Kbit/s	78	1	21	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
12299	02.10.2018	11:47:08.012	40Kbit/s	59	1	12	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
12300	02.10.2018	11:47:08.065	100Kbit/s	58	0	35	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Message Encap
12301	02.10.2018	11:47:08.082	100Kbit/s	80	0	31	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Report
12302	02.10.2018	11:47:08.112	100Kbit/s	80	0	25	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Report
12303	02.10.2018	11:47:08.167	40Kbit/s	58	1	44	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Message Encap
12304	02.10.2018	11:47:08.235	9.6Kbit/s	57	1	49	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Message Encap
12305	02.10.2018	11:47:08.252	9.6Kbit/s	80	1	49	001	018	C8 45 57 AC	Ack	
12306	02.10.2018	11:47:08.267	40Kbit/s	80	1	13	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Report
12307	02.10.2018	11:47:08.284	9.6Kbit/s	48	1	15	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Routed Error
12308	02.10.2018	11:47:08.316	40Kbit/s	78	1	31	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Report
12309	02.10.2018	11:47:08.332	40Kbit/s	58	1	11	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Message Encap
12310	02.10.2018	11:47:08.348	40Kbit/s	80	1	18	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Report
12311	02.10.2018	11:47:08.411	9.6Kbit/s	58	1	47	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Message Encap
12312	02.10.2018	11:47:08.443	9.6Kbit/s	80	1	49	001	018	C8 45 57 AC	Ack	
12313	02.10.2018	11:47:08.443	100Kbit/s	80	0	12	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Report
12314	02.10.2018	11:47:08.507	100Kbit/s	80	0	60	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Report
12315	02.10.2018	11:47:08.556	100Kbit/s	80	0	42	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Report
12316	02.10.2018	11:47:08.587	40Kbit/s	80	1	27	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Report
12317	02.10.2018	11:47:08.619	9.6Kbit/s	50	1	41	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Routed Error
12318	02.10.2018	11:47:08.667	40Kbit/s	78	1	40	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Report
12319	02.10.2018	11:47:08.748	40Kbit/s	78	1	81	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Report
12320	02.10.2018	11:47:08.971	9.6Kbit/s	47	1	22	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Routed Error
12321	02.10.2018	11:47:09.036	100Kbit/s	80	0	72	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
12322	02.10.2018	11:47:09.052	100Kbit/s	58	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
12323	02.10.2018	11:47:09.083	100Kbit/s	80	0	34	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
12324	02.10.2018	11:47:09.083	100Kbit/s	58	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
12325	02.10.2018	11:47:09.131	40Kbit/s	58	1	46	018	001	C8 45 57 AC	Explorer Search Result	
12326	02.10.2018	11:47:09.147	40Kbit/s	78	1	11	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
12327	02.10.2018	11:47:09.147	40Kbit/s	59	1	11	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
12328	02.10.2018	11:47:09.324	100Kbit/s	80	0	174	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12329	02.10.2018	11:47:09.356	100Kbit/s	80	0	22	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12330	02.10.2018	11:47:09.387	40Kbit/s	78	1	38	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP

Line	Date	Time	Speec	R	C	D	Source	Destin	Home Id	Data	Application
12330	02.10.2018	11:47:09.387	40Kbit/s	78	1	38	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12331	02.10.2018	11:47:09.468	100Kbit/s	80	0	72	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12332	02.10.2018	11:47:09.468	100Kbit/s	57	0	9	018(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 18->(19)	NOP
12333	02.10.2018	11:47:09.500	100Kbit/s	57	0	25	018(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 18->(19)	NOP
12334	02.10.2018	11:47:09.515	100Kbit/s	57	0	24	018(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 18->(19)	NOP
12335	02.10.2018	11:47:09.532	100Kbit/s	80	0	9	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12336	02.10.2018	11:47:09.548	100Kbit/s	80	0	22	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12337	02.10.2018	11:47:09.548	100Kbit/s	57	0	6	018(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	Routed Error
12338	02.10.2018	11:47:09.579	40Kbit/s	78	1	17	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12339	02.10.2018	11:47:09.595	40Kbit/s	78	1	25	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12340	02.10.2018	11:47:09.627	40Kbit/s	78	1	24	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12341	02.10.2018	11:47:09.643	100Kbit/s	57	0	29	018(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	Routed Error
12342	02.10.2018	11:47:09.691	100Kbit/s	80	0	43	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12343	02.10.2018	11:47:09.739	100Kbit/s	56	0	42	018(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	Routed Error
12344	02.10.2018	11:47:09.739	100Kbit/s	80	0	10	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12345	02.10.2018	11:47:09.803	100Kbit/s	80	0	52	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12346	02.10.2018	11:47:09.819	40Kbit/s	78	1	23	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12347	02.10.2018	11:47:09.883	40Kbit/s	78	1	70	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12348	02.10.2018	11:47:09.964	40Kbit/s	78	1	69	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12349	02.10.2018	11:47:09.979	40Kbit/s	44	1	11	023(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 23->(19)	NOP
12350	02.10.2018	11:47:10.059	40Kbit/s	45	1	80	023(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 23->(19)	NOP
12351	02.10.2018	11:47:10.123	40Kbit/s	45	1	79	023(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 23->(19)	NOP
12352	02.10.2018	11:47:10.155	40Kbit/s	46	1	29	023(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	Routed Error
12353	02.10.2018	11:47:10.220	40Kbit/s	48	1	62	023(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	Routed Error
12354	02.10.2018	11:47:10.251	100Kbit/s	80	0	28	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12355	02.10.2018	11:47:10.268	100Kbit/s	80	0	21	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12356	02.10.2018	11:47:10.300	40Kbit/s	66	1	23	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12357	02.10.2018	11:47:10.315	40Kbit/s	77	1	24	001	019	C8 45 57 AC	Explorer Normal	NOP
12358	02.10.2018	11:47:10.864	40Kbit/s	55	1	53	001	019	C8 45 57 AC	Explorer Normal	NOP
12359	02.10.2018	11:47:11.328	100Kbit/s	80	0	476	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12360	02.10.2018	11:47:11.360	100Kbit/s	79	0	36	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12361	02.10.2018	11:47:11.408	40Kbit/s	78	1	38	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12362	02.10.2018	11:47:11.472	100Kbit/s	80	0	73	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12363	02.10.2018	11:47:11.487	100Kbit/s	57	0	9	018(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 18->(19)	NOP
12364	02.10.2018	11:47:11.552	100Kbit/s	80	0	58	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP

Line	Date	Time	Speec	R	C	D	Sourc	Destin	Home Id	Data	Application
12358	02.10.2018	11:47:10.864	40Kbit/s	55	1	536	001	019	C8 45 57 AC	Explorer Normal	NOP
12359	02.10.2018	11:47:11.328	100KBit/s	80	0	476	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12360	02.10.2018	11:47:11.360	100KBit/s	79	0	36	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12361	02.10.2018	11:47:11.408	40Kbit/s	78	1	38	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12362	02.10.2018	11:47:11.472	100KBit/s	80	0	73	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12363	02.10.2018	11:47:11.487	100KBit/s	57	0	9	018(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 18->(19)	NOP
12364	02.10.2018	11:47:11.552	100KBit/s	80	0	58	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12365	02.10.2018	11:47:11.583	100KBit/s	58	0	43	018(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 18->(19)	NOP
12366	02.10.2018	11:47:11.615	100KBit/s	80	0	23	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12367	02.10.2018	11:47:11.615	100KBit/s	58	0	7	018(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-18 - (19)	Routed Error
12368	02.10.2018	11:47:11.631	40Kbit/s	66	1	17	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12369	02.10.2018	11:47:11.647	100KBit/s	58	0	8	018(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-18 - (19)	Routed Error
12370	02.10.2018	11:47:11.696	40Kbit/s	78	1	46	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12371	02.10.2018	11:47:11.711	100KBit/s	57	0	26	018(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-18 - (19)	Routed Error
12372	02.10.2018	11:47:11.743	40Kbit/s	78	1	28	001	018(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->18 - (19)	NOP
12373	02.10.2018	11:47:11.759	40Kbit/s	58	1	12	018(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 18->(19)	NOP
12374	02.10.2018	11:47:11.807	40Kbit/s	57	1	45	018(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 18->(19)	NOP
12375	02.10.2018	11:47:11.807	100KBit/s	80	0	16	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12376	02.10.2018	11:47:11.855	100KBit/s	80	0	36	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12377	02.10.2018	11:47:11.887	40Kbit/s	56	1	42	018(001)	019	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 18->(19)	NOP
12378	02.10.2018	11:47:11.919	40Kbit/s	80	1	22	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12379	02.10.2018	11:47:11.935	40Kbit/s	56	1	13	018(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-18 - (19)	Routed Error
12380	02.10.2018	11:47:11.951	40Kbit/s	48	1	16	023(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-23 - (19)	Routed Error
12381	02.10.2018	11:47:11.951	40Kbit/s	80	1	11	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12382	02.10.2018	11:47:11.983	40Kbit/s	47	1	27	023(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-23 - (19)	Routed Error
12383	02.10.2018	11:47:12.015	40Kbit/s	78	1	27	001	023(019)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (19)	NOP
12384	02.10.2018	11:47:12.047	40Kbit/s	46	1	45	023(019)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-23 - (19)	Routed Error
12385	02.10.2018	11:47:12.303	100KBit/s	80	0	24	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12386	02.10.2018	11:47:12.320	100KBit/s	80	0	21	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12387	02.10.2018	11:47:12.335	40Kbit/s	78	1	23	001	019	C8 45 57 AC	Singlecast	NOP
12388	02.10.2018	11:47:12.368	40Kbit/s	77	1	25	001	019	C8 45 57 AC	Explorer Normal	NOP
12389	02.10.2018	11:47:12.384	100KBit/s	80	0	9	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
12390	02.10.2018	11:47:12.384	100KBit/s	57	0	7	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
12391	02.10.2018	11:47:12.400	100KBit/s	57	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
12392	02.10.2018	11:47:12.431	100KBit/s	80	0	36	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
12438	02.10.2018	11:47:14.156	100KBit/s	80	0	74	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Get
12439	02.10.2018	11:47:14.172	100KBit/s	58	0	19	018	023(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 23<-(18)	Routed Ack
12440	02.10.2018	11:47:14.220	100KBit/s	80	0	48	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Get
12441	02.10.2018	11:47:14.251	100KBit/s	56	0	22	018	023(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->23 - (1)	Security Nonce Report
12442	02.10.2018	11:47:14.269	100KBit/s	57	0	25	018	023(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->23 - (1)	Security Nonce Report
12443	02.10.2018	11:47:14.300	100KBit/s	80	0	20	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Get
12444	02.10.2018	11:47:14.317	40Kbit/s	78	1	23	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Get
12445	02.10.2018	11:47:14.332	100KBit/s	57	0	8	018	023(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->23 - (1)	Security Nonce Report
12446	02.10.2018	11:47:14.364	40Kbit/s	78	1	31	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Get
12447	02.10.2018	11:47:14.364	40Kbit/s	58	1	12	018	023(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->23 - (1)	Security Nonce Report
12448	02.10.2018	11:47:14.397	40Kbit/s	78	1	28	001	023(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->23 - (18)	Security Nonce Get
12449	02.10.2018	11:47:14.428	40Kbit/s	58	1	29	018	023(001)	C8 45 57 AC	Routed:(18)->23 - (1)	Security Nonce Report
12450	02.10.2018	11:47:14.460	40Kbit/s	45	1	31	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-23 - (18)	Routed Error
12451	02.10.2018	11:47:14.476	100KBit/s	80	0	14	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
12452	02.10.2018	11:47:14.492	100KBit/s	80	0	21	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
12453	02.10.2018	11:47:14.508	100KBit/s	80	0	22	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
12454	02.10.2018	11:47:14.523	100KBit/s	56	0	7	018	023(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 23<-(18)	Routed Ack
12455	02.10.2018	11:47:14.523	40Kbit/s	47	1	10	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-23 - (18)	Routed Error
12456	02.10.2018	11:47:14.540	40Kbit/s	80	1	9	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
12457	02.10.2018	11:47:14.604	40Kbit/s	78	1	69	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
12458	02.10.2018	11:47:14.620	40Kbit/s	47	1	10	023(018)	001	C8 45 57 AC	Routed:(1)<-23 - (18)	Routed Error
12459	02.10.2018	11:47:14.684	40Kbit/s	78	1	59	001	019(018)	C8 45 57 AC	Routed:(1)->19 - (18)	Security Nonce Get
12460	02.10.2018	11:47:14.684	100KBit/s	56	0	8	018	023(001)	C8 45 57 AC	Routed:(1) - 23<-(18)	Routed Ack
12461	02.10.2018	11:47:14.700	100KBit/s	48	0	9	000			CRC_ERROR	
12462	02.10.2018	11:47:14.972	100KBit/s	80	0	27	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
12463	02.10.2018	11:47:14.972	100KBit/s	56	0	7	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
12464	02.10.2018	11:47:14.989	100KBit/s	57	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
12465	02.10.2018	11:47:15.021	100KBit/s	80	0	36	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
12466	02.10.2018	11:47:15.036	100KBit/s	57	0	8	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
12467	02.10.2018	11:47:15.053	100KBit/s	58	0	16	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
12468	02.10.2018	11:47:15.068	40Kbit/s	80	1	29	001	018	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Get
12469	02.10.2018	11:47:15.084	40Kbit/s	58	1	10	018	001	C8 45 57 AC	Ack	
12470	02.10.2018	11:47:15.101	40Kbit/s	58	1	8	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
12471	02.10.2018	11:47:15.149	9.6Kbit/s	57	1	45	018	001	C8 45 57 AC	Singlecast	Security Nonce Report
12472	02.10.2018	11:47:15.180	9.6Kbit/s	80	1	37	001	018	C8 45 57 AC	Ack	

Abbildungsverzeichnis

1.1	Übersicht über die Projektpartner „NEW 4.0“	2
1.2	Stromtarif	3
2.1	ISO-OSI-7 Modell [20]	8
2.2	Repeater Netzwerk	11
2.3	Mesh Netzwerk[18]	11
2.4	Relevante Smart Home Frequenzbänder	17
2.5	Smart Home [15]	19
2.6	Homee Brain Cube (weiß), Z-Wave Cube (violett), ZigBee Cube (orange) und EnOcean Cube (türkis) [10]	20
2.7	Homeegramm	20
2.8	Fibaro Wall Plug [8]	21
3.1	Übersicht	23
3.2	Aaronia Spectran V4 (Abbildung weicht vom Original ab) [1]	24
3.3	MCS Software	25
3.4	Ausschnitt der Sniffer Software <i>Zniffer</i>	27
4.1	Empfangene Sendeleistung eines Z-Wave Signals vom Homee	29
4.2	Wasserfalldiagramm eines Z-Wave Signals vom Homee	30
4.3	Empfangene Sendeleistung eines Z-Wave Signals vom Homee	30
4.4	Empfangene Sendeleistung eines HomeMatic Signals von der Zentrale	31
4.5	Empfangene Sendeleistung eines HomeMatic Signals von der Zentrale	31
4.6	Messaufbau im Haus Tremsbüttel (Skizze)	34
4.7	Wasserfalldiagramm einer erfolgreichen Schaltung (Tremsbüttel)	35
4.8	Messung in interferenzarme Umgebung (Tremsbüttel)	36
4.9	Wasserfalldiagramm des Z-Wave Mesh Systems	36
4.10	aufgenommene Pakete der Verzögerung mit Mesh System	37
4.11	Messung mit Interferenz durch HomeMatic (Tremsbüttel)	37
4.12	Aufgenommene Pakete des Signalabbruchs mit Mesh System	38

4.13	Gemessenes Frequenzspektrum des Signalabbruchs mit Mesh System	39
4.14	Messaufbau in Kaltenkirchen (Skizze)	40
4.15	Messung in interferenzarme Umgebung (Kaltenkirchen)	41
4.16	Messung mit Interferenz durch HomeMatic (Kaltenkirchen)	42
4.17	Messaufbau in der Wohnung in Harburg (Skizze)	43
4.18	Messung in interferenzarmer Umgebung (Harburg)	44
4.19	Messung mit Interferenz durch HomeMatic (Harburg)	45
4.20	Messaufbau im Haus in Norderstedt (Skizze)	46
4.21	Messung in interferenzarme Umgebung (Norderstedt Haus)	46
4.22	Interferenz durch HomeMatic (Norderstedt Haus)	47
4.23	Messaufbau in der Wohnung in Norderstedt (Skizze)	48
4.24	Messung in interferenzarmer Umgebung (Wohnung in Norderstedt)	49
4.25	Messung mit Interferenz durch HomeMatic (Wohnung in Norderstedt)	50
5.1	Häufigkeiten in interferenzarmer Umgebung	52
5.2	Häufigkeiten mit aktiviertem HomeMatic System	52

Tabellenverzeichnis

2.1	Dämpfung verschiedener Materialien [15]	6
2.2	Mögliche Störfrequenzen für „Smart Home“ Geräte in Deutschland (Sortierung nach Frequenzen)[3]	7
2.3	Vergleich der Z-Wave Kanäle	13
2.4	Vergleich nach [7], [13], [11], [12]	17
4.1	Entfernungen im Haus Tremsbüttel	34
4.2	Entfernungen Kaltenkirchen	41
4.3	Entfernungen in der Wohnung in Harburg	43
4.4	Entfernungen im Haus in Norderstedt	45
4.5	Entfernungen in der Wohnung in Norderstedt	49
5.1	Vergleichsmatrix	54
5.2	DECT vs. Z-Wave	54

Literatur

- [1] Aaronia Ag. „Manual Spectran V4“. In: (), S. 1–85.
- [2] C Bertko und T Weber. *Home, Smart Home: Der praktische Einstieg in die Hausautomation. Inkl. Marktüberblick: AVM, Belkin, Fibaro, Gigaset, HomeMatic, SCHWAIGER u.v.m.* Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2017. ISBN: 9783446454248.
- [3] Bundesnetzagentur. *Frequenzplan*. Techn. Ber. 2013. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen%7B%5C_%7DInstitutionen/Frequenzen/Frequenzplan.pdf?%7B%5C_%7D%7B%5C_%7Dblob=publicationFile%7B%5C&%7Dv=11.
- [4] Bundesnetzagentur. *Funkstörungen*. URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Verbraucher/Funkstoerungen/funkstoerungen-node.html> (besucht am 16.10.2018).
- [5] Codeatelier GmbH. *Codeatelier*. 2018. URL: <https://codeatelier.com/> (besucht am 04.09.2018).
- [6] Dr. Markus Siepermann. *Definition »Internet der Dinge«*. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/internet-der-dinge-53187/version-276282> (besucht am 10.09.2018).
- [7] ETSI. „Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Ultra Low Energy (ULE); Part 1 : Home Automation Network (phase 1)“. In: 1.phase 1 (2015).
- [8] FIBARO. *Wall Plug - Intelligenter Schalter - Strommessungsfunktion*. URL: <https://www.fibaro.com/de/products/wall-plug/> (besucht am 15.10.2018).
- [9] R Gessler und T Krause. *Wireless-Netzwerke für den Nahbereich: Eingebettete Funksysteme: Vergleich von standardisierten und proprietären Verfahren*. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015. ISBN: 9783834820754.
- [10] Codeatelier GmbH. „homee Prinzip | homee“. In: (). URL: <https://hom.ee/homee-principle>.
- [11] Jose A Gutierrez, Edgar H Callaway und Raymond Barrett. *IEEE 802.15.4 Low-Rate Wireless Personal Area Networks: Enabling Wireless Sensor Networks*. New York, NY, USA: IEEE Standards Office, 2003. ISBN: 0738135577.

- [12] ISO (International Organization for Standardization). *Wireless short-packet (WSP) protocol optimised for energy harvesting, architecture and lower layer protocols*. Ed. 1.0. International standard ISO Internationale Organisation für Normung. Geneva: ISO, International Organization for Standardization, 2012. ISBN: 9782889129706 2889129705.
- [13] ITU-T. *Recommendation ITU-T G.9959*. Techn. Ber. 2015, S. 117. URL: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/12399>.
- [14] M Krauß und R Konrad. *Drahtlose ZigBee-Netzwerke: Ein Kompendium*. Springer-Lehrbuch. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. ISBN: 9783658058210.
- [15] C Pätz. *Z-Wave: Die Funktechnologie für das Smart Home*. Books on Demand, 2017. ISBN: 9783738601947.
- [16] Simon Fröhlich (Tor7)+. *Funktechnik Grundlagen*. URL: <https://www.tor7.de/funktechnik-grundlagen> (besucht am 14. 08. 2018).
- [17] Stadtwerke Norderstedt. *NEW 4.0*. URL: <https://www.stadtwerke-norderstedt.de/unternehmen/engagement/new-40/>.
- [18] *What is Z-Wave?* URL: <https://www.athom.com/en/what-is-z-wave/> (besucht am 30. 09. 2018).
- [19] *Wie funktioniert Mesh-WLAN? | TECHBOOK*. URL: <https://www.techbook.de/easylife/web/was-ist-mesh-netzwerk> (besucht am 02. 09. 2018).
- [20] Wikimedia Commons. *OSI Model - Wikipedia*. URL: https://af.wikipedia.org/wiki/OSI-model%7B%5C#%7D/media/File:OSI%7B%5C_%7DModel%7B%5C_%7Dv1.svg (besucht am 02. 09. 2018).

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbstständig ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt zu haben. Die aus anderen Werken wörtlich entnommenen Stellen oder dem Sinn nach entlehnten Passagen sind durch Quellenangaben eindeutig kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Theresa Röhn