

Hochschule Merseburg (FH)
University of Applied Science



Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften
Fachbereich: INW

Bachelorarbeit

zur Erlangung des Grades Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Thema der Arbeit:

**Vergleichende Analyse der Nachrüstbarkeit von Smart-Home-Systemen:
Eine Fallstudie an einem ausgewählten Beispiel zur Integration von drei
möglichen Smart-Home-Systemen in ein bestehendes Einfamilienhaus
und deren praktische Umsetzung.**

Name: Nieke, Florian
Matrikelnummer: 28210
Abgabetermin: 13.01.2025

Erstprüfer: Herr Prof. Dr. Peter Helm
Zweitprüfer: Herr Ralph Seela
Wortanzahl: 16.875

Abstract

Die fortschreitende Entwicklung von Smart-Home-Technologien spielt eine zentrale Rolle bei der Modernisierung von Wohngebäuden, da sie den Wohnkomfort, die Sicherheit und die Energieeffizienz erheblich steigern können (Pohlmann, 2021; Rohleder, 2024). Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Vergleich von Smart-Home-Systemen und der Nachrüstung in einem Bestandsgebäude, ein Bereich, der aufgrund der technischen und baulichen Gegebenheiten besondere Herausforderungen mit sich bringt. Im Rahmen der Untersuchung werden drei ausgewählte Systeme - KNX, Free@Home und LCN - auf ihre Vor- und Nachteile, Besonderheiten und praktische Umsetzbarkeit untersucht. Hierzu gehört eine theoretische Analyse der Systemarchitekturen, Übertragungsmedien und technischen Anforderungen. Ziel ist es, technische, finanzielle und praktische Aspekte der drei Systeme zu vergleichen, um das am besten geeignete System für die Nachrüstung zu identifizieren. Anhand eines Beispielprojektes wird ein ausgewähltes System in seiner Planung, Umsetzung und Evaluierung detailliert beschrieben. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Integration von Beleuchtung, Beschattung und Heizung sowie auf der Berücksichtigung von Nutzerfreundlichkeit und Kosten. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass leitungsgebundene Systeme wie KNX, Free@Home und LCN eine hohe Zuverlässigkeit und Flexibilität bieten, jedoch mit höheren Installationskosten verbunden sind. Funkbasierte Alternativen wie KNX RF oder Free@Home ermöglichen eine kostengünstigere und weniger aufwendige Nachrüstung, weisen jedoch Einschränkungen in Bezug auf Reichweite und mögliche Störeinflüsse auf. Die Arbeit schließt mit einer kritischen Bewertung der Systeme und gibt Handlungsempfehlungen für die Nachrüstung im Bestandsgebäude. Sie bietet damit eine fundierte Grundlage für Bauherren, Planer und Entscheidungsträger, die moderne Technologien in bestehende Wohnstrukturen integrieren wollen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung und Forschungsfragen.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit.....	2
2 Theoretischer Hintergrund	3
2.1 Definition Smart Home.....	3
2.2 Arten von Smart Home-Systemen.....	4
2.2.1 Zentrale Systeme	4
2.2.2 Dezentrale Steuerung.....	5
2.2.3 Hybride Systeme	6
2.3 Systemauswahl.....	8
2.4 Technische Voraussetzungen	9
2.4.1 Leitungsgebundene Systeme.....	11
2.4.2 Funkbasierte Systeme.....	12
2.5 Anwendungsszenarien	14
2.5.1 Beleuchtung.....	14
2.5.2 Beschattung und Sonnenschutz	15
2.5.3 Heizung.....	17
2.5.4 Komfort und Behaglichkeit	19
2.6 Aktueller Forschungsstand und Ableitung der Forschungsfrage.....	21
3 Hersteller von Smart-Home-Systemen.....	23
3.1 KNX.....	23
3.1.1 Definition.....	23
3.1.2 Übertragungstechnik	25
3.1.3 Anwendungsbereiche	29
3.1.4 Komponenten	30
3.2 Free@Home	33
3.2.1 Definition.....	33
3.2.2 Übertragungstechnik	33
3.2.3 Anwendungsbereiche	38
3.2.4 Komponenten	39

3.3	LCN	40
3.3.1	Definition	40
3.3.2	Übertragungstechnik	40
3.3.3	Anwendungsbereiche	43
3.3.4	Komponenten	44
4	Vergleich der Smart-Home-Systeme	46
4.1	Aufbau der Systemstruktur	46
4.2	Handling des Systems	48
4.3	Kosten	50
5	Projekt	52
5.1	Vorstellung	52
5.2	Bedarfsanalyse	53
5.3	Komponenten.....	56
5.4	Planung und Umsetzung	58
6	Fazit.....	63
6.1	Beantwortung der Forschungsfrage	63
6.2	Kritische Würdigung.....	65
6.3	Ausblick.....	67
	Literaturverzeichnis	VII
	Anhang.....	XII
	A) Geräteliste.....	XII
	B) Checkliste.....	XIV
	C) Grundrisse Obergeschoss	XVIII

In dieser Bachelorarbeit werden alle Geschlechter angesprochen. Der Einfachheit halber wird die maskuline Form verwendet.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zentrale Steuerung	4
Abbildung 2: Dezentrale Steuerung	6
Abbildung 3: Hybride Steuerung	7
Abbildung 4: KNX-Topologie	24
Abbildung 5: Aufbau Telegramm KNX TP	26
Abbildung 6: Aufbau Telegramm KNX RF	27
Abbildung 7: Aufbau Datenblock 1 KNX RF	28
Abbildung 8: Aufbau Datenblock 2 KNX RF	28
Abbildung 9: Schematischer Aufbau KNX TP Busteilnehmer	31
Abbildung 10: Free@Home-Linientopologie	34
Abbildung 11: Free@Home-Baumtopologie	34
Abbildung 12: Free@Home-Sterntopologie	34
Abbildung 13: Leitungslänge innerhalb einer Linie	35
Abbildung 14: Entfernung zwischen Spannungsversorgung und letztem Teilnehmer	35
Abbildung 15: Entfernung zwischen Teilnehmern	36
Abbildung 16: Kanalaufteilung im 2.4 GHz-Band	37
Abbildung 17: vierstufiges Quittierungs- und Meldewesen	41
Abbildung 18: Aufbau Telegramm LCN	42
Abbildung 19: Beispielschema für eine Telegrammübertragung	43
Abbildung 20: Wand 2 Schlafzimmer	61
Abbildung 21: Wand 3 Schlafzimmer	61
Abbildung 22: Grundriss Schlafzimmer	62
Abbildung 23: Grundriss Obergeschoss	XVIII
Abbildung 24: Grundriss Abstellraum mit Geräten	XIX
Abbildung 25: Grundriss Flur mit Geräten	XIX
Abbildung 26: Grundriss Wohnzimmer/Esszimmer/Küche mit Geräten	XX
Abbildung 27: Grundriss Arbeitszimmer mit Geräten	XX
Abbildung 28: Grundriss Badezimmer mit Geräten	XXI

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bereiche und Bestandteile technischer Gebäudeausrüstung	9
Tabelle 2: Dimmer Typen	14
Tabelle 3: KNX TP Leitungslängen	24
Tabelle 4: Bestandteile KNX Telegramme	26
Tabelle 5: Inhalt Erster Datenblock KNX RF	28
Tabelle 6: Inhalt Zweiter Datenblock KNX RF	29
Tabelle 7: Regeln für Installation von free@home Wireless-Geräten	37
Tabelle 8: Geräte Free@Home	39
Tabelle 9: Geräteübersicht Schlafzimmer	60
Tabelle 10: Geräte für die Nachrüstung	XIII
Tabelle 11: Funktionsumfang Smart Home	XVII

Abkürzungsverzeichnis

BCU	Bus Coupling System
BCU-Modul	Bus Coupling System-Modul
Bitkom e.V.	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.
BUS	Binary Unit System
BUS-Leitung	Binary Unit System-Leitung
DALI	Digital Addressable Lighting Interface, Digital Addressable Lighting Interface
DIN	Deutsches Institut für Normung
EIB	Europäischer Installationsbus
ETRV	Electronic Thermostate Radiator Valves
ETS	Engineering Tool Software
EVG	elektronisches Vorschaltgerät
ISO	International Standards Organization
LAN	Local Area Network
LED	Leuchtdiode
PELV	Protective Extra Low Voltage
RF	<i>Funk</i>
SELV	Safety Extra Low Voltage
TP	Twisted Pair
WLAN	Wireless Local Area Network

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Forschungsfragen

Die rasante Entwicklung digitaler Technologien hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass Smart-Home-Systeme zunehmend in Wohngebäuden eingesetzt werden. Sie ermöglichen nicht nur eine komfortable Steuerung von Beleuchtung, Heizung und anderen Haushaltsfunktionen, sondern tragen auch zur Energieeffizienz und Sicherheit bei (Pohlmann, 2021).

Auf dem Markt existiert eine Vielzahl an Anbietern und Technologien im Bereich der Smart-Home-Systeme, die sich durch unterschiedliche Eigenschaften, Einsatzbereiche und Anforderungen auszeichnen. Neben der technischen Machbarkeit spielen Faktoren wie Benutzerfreundlichkeit, Kosten und die langfristige Erweiterbarkeit der Systeme eine zentrale Rolle. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie ein geeignetes Smart-Home-System ausgewählt und erfolgreich in ein Bestandsgebäude integriert werden kann. Ausgehend von dieser Problemstellung wird folgende Forschungsfrage aufgestellt:

Wie können die Smart-Home-Systeme KNX, LCN bzw. Free@Home in einem Bestandsgebäude nachgerüstet werden? Dabei wird auf die Besonderheiten, Vor- und Nachteile näher eingegangen und die Umsetzung des Projektes anhand eines Systems vorgestellt.

Diese Arbeit widmet sich der Analyse der drei genannten Smart-Home-Systeme, um deren Eignung für die Nachrüstung in einem Bestandsgebäude zu bewerten. Ziel ist es, eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die Auswahl eines geeigneten Systems zu schaffen. Zudem wird die praktische Umsetzung eines ausgewählten Systems anhand eines konkreten Anwendungsbeispiels veranschaulicht.

1.2 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit gliedert sich in sechs Hauptkapitel. Nach der Einleitung, in der die Problemstellung, die Zielsetzung sowie die Forschungsfragen dargestellt werden, folgt im zweiten Kapitel der theoretische Hintergrund. In diesem Kapitel wird zunächst der Begriff „Smart Home“ definiert und auf die verschiedenen Systemtypen wie zentrale, dezentrale und hybride Ansätze eingegangen. Anschließend werden die technischen Voraussetzungen für leitungsgebundene und funkbasierte Systeme erörtert sowie typische Anwendungsszenarien wie Beleuchtung, Beschattung, Heizung und Komfort beschrieben. Das Kapitel schließt mit einer Darstellung des aktuellen Forschungsstandes ab. Im dritten Kapitel werden die drei zu analysierenden Smart-Home-Systeme KNX, Free@Home und LCN vorgestellt. Dabei werden für jedes System die Definition, die Übertragungstechnik, die Anwendungsbereiche sowie die wichtigsten Komponenten erläutert. Das vierte Kapitel widmet sich dem systematischen Vergleich dieser Smart-Home-Systeme, wobei Aspekte wie die Systemstruktur, Handhabung, Visualisierung und Kosten im Fokus stehen. Im fünften Kapitel geht der Autor auf die praktische Umsetzung des Projekts zur Nachrüstung eines Smart-Home-Systems in einem bestehenden Einfamilienhaus ein. Nach einer Bedarfsanalyse werden die eingesetzten Komponenten dargestellt und die einzelnen Schritte der Umsetzung erläutert. Abgeschlossen wird die Arbeit im sechsten Kapitel mit einem Fazit, das die Beantwortung der Forschungsfrage sowie eine kritische Reflexion der Ergebnisse beinhaltet. Zudem werden hier mögliche Ansätze für zukünftige Forschungen aufgezeigt.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Definition Smart Home

Der Begriff Smart Home bezeichnet ein modernes Wohnkonzept, das durch den Einsatz technologischer Innovationen den Komfort, die Sicherheit, die Energieeffizienz und die Lebensqualität in den eigenen vier Wänden steigert. Das Hauptziel besteht darin, vernetzte Geräte, Sensoren und intelligente Systeme zu integrieren, um den Wohnkomfort zu maximieren, indem die verschiedenen Bedürfnisse des Hauses und seiner Bewohner automatisiert und gesteuert werden. In Smart-Home-Systemen können verschiedene Funktionen wie Beleuchtung, Beschattung, Heizung, Klimatisierung, Sicherheitsfunktionen und Unterhaltungssysteme miteinander vernetzen werden. Für die Steuerung der Anlage gibt es verschiedene Möglichkeiten wie ein Smartphone, Tablet, Computer, spezielle Bedienelemente oder einen Schalter an der Wand. Mit dieser Steuerung können die Bewohner vorprogrammierte Funktionen bequem vor Ort oder von unterwegs steuern. So lassen sich beispielsweise Licht und Temperatur regeln oder Rollläden und Jalousien hoch- und herunterfahren. Dabei spielen Datenschutz und Sicherheit im Smart Home eine wichtige Rolle. Vernetzte Geräte sammeln häufig persönliche Informationen. Daher ist es wichtig, ein System zu wählen, das den Datenschutzrichtlinien entspricht und Sicherheitsmaßnahmen implementiert. Insgesamt integriert Smart Home moderne Technologien nahtlos in den Alltag, um den Wohnkomfort zu erhöhen, Energie effizienter zu nutzen und die Kontrolle über das Zuhause zu optimieren. Es bietet den Bewohnern die Möglichkeit, ihre Umgebung intelligent und effizient zu gestalten und nach Belieben anzupassen (Grün, 2022; Hohorst et al., 2024).

2.2 Arten von Smart Home-Systemen

2.2.1 Zentrale Systeme

In zentralen Smart-Home-Systemen erfolgen die Steuerung und Koordination der im System vernetzten Geräte durch eine Smart-Home-Zentrale. Diese Steuerzentrale dient als zentraler Knotenpunkt für das gesamte System und ermöglicht die Kommunikation zwischen den Sensoren und Aktoren (siehe Abbildung 1). Unter Sensoren in einem Smart-Home-System versteht man Geräte, die physikalische Größen wie Temperatur, Druck, Lichtstärke erfassen und als elektrische Signale der Systemzentrale zur Verfügung stellen. Ein Aktor nimmt die von der Steuerzentrale verarbeiteten Daten auf und wandelt die elektrischen Signale in mechanische Arbeit wie das Betätigen eines Schalters um. Der Vorteil ist, dass Sensoren und Aktoren keine oder nur eine geringe Intelligenz im Gerät aufweisen müssen. Unter Intelligenz technischer Geräte versteht man die Fähigkeit, Daten von anderen Geräten im Netzwerk über Protokolle zu empfangen und interaktiv oder selbstständig programmierte Funktionen auszuführen (Huang, 2017). Wird Intelligenz in Geräten integriert, so benötigt diese für ihre Aufgaben nur einfache Prozessoren mit geringer Rechenleistung. Dies senkt die Herstellungskosten der Komponenten, was sich wiederum positiv auf den Verkaufspreis auswirken kann. Da bei zentralen Systemen alle Funktionen des Gebäudes in einer Systemzentrale bzw. einem Server erfasst, verarbeitet und ausgegeben werden, kennt die Zentrale die von den Sensoren erfassten Daten und die jeweiligen Betriebszustände der Aktoren. Erfasste Daten können Öffnungszustände von Fenstern, Rollläden, Markisen und Garagentoren sein.

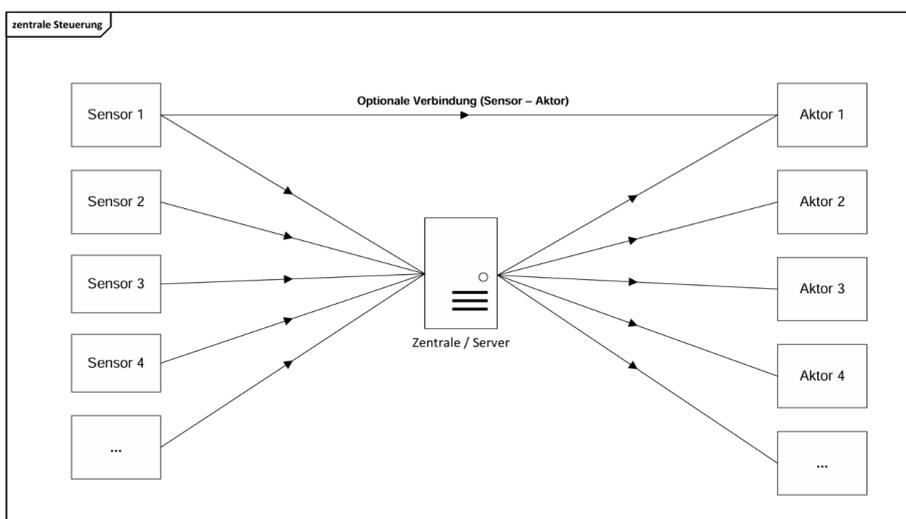


Abbildung 1: Zentrale Steuerung

(Quelle: Eigene Darstellung nach Fromm-Wittenberg, 2024, S. 57)

Der Programmieraufwand in zentralen Systemen ist im Gegensatz zu dezentralen und hybriden Systemen geringer, da vordefinierte Abläufe in der Zentrale gesammelt und ausgeführt werden. Nutzer können über eine im Gebäude oder Raum integrierte Bedienoberfläche Systeminformationen abrufen, Funktionen auslösen und anpassen. Es ist nicht notwendig, jeden einzelnen Sensor oder Aktor in der Anlage zu konfigurieren. Wird die Systemzentrale zusätzlich mit einem Netzwerkzugang ausgestattet, besteht die Möglichkeit, eine Cloudanbindung über das Internet bereitzustellen. Diese Cloudanbindung bietet dem Nutzer eine Fernwartung und den Zugriff auf Funktions- und Sicherheitsupdates. Die Abhängigkeit des Systems von der Zentrale bringt jedoch auch Nachteile mit sich. Fällt die Zentrale durch einen Defekt aus, kann das System auf keine Informationen mehr zugreifen und ist funktionslos. Um einem Ausfall entgegenzuwirken, besteht die Möglichkeit, Funksysteme direkt mit Sensoren oder Aktoren zu verbinden. Diese direkte Verbindung wird in der Fachsprache als Gruppierung bezeichnet und beispielsweise in den Systemstandards von Homematic oder Z-Wave genutzt.

Ein weiterer limitierender Faktor bei zentral gesteuerten Anlagen ist die Anzahl der im System zu hinterlegende Geräte bzw. Funktionen. Wird die maximale Anzahl der von der Zentrale unterstützten Geräte überschritten, ist eine spätere Erweiterung des Systems nicht mehr möglich. Die Anzahl der unterstützten Geräte variiert je nach System und dem damit verbundenen Systemstandard (Grün, 2022; Fromm-Wittenberg, 2024).

2.2.2 Dezentrale Steuerung

Dezentrale Smart-Home-Systeme erfordern im Gegensatz zu einer zentralen Steuerung eine reduzierte oder keine zentrale Steuerung. Bei dezentral gesteuerten Systemen kommunizieren die vernetzten Geräte direkt über die Binary Unit System-Leitung (BUS-Leitung) und das Bus Coupling System-Modul (BCU-Modul) im jeweiligen Gerät miteinander (siehe Abbildung 2). Ein Vorteil dezentraler Systeme ist ihre Robustheit. Da die Steuerungsintelligenz in den Geräten liegt, funktioniert das Gesamtsystem auch bei Ausfall einzelner Geräte weiter. Eine wesentliche Beeinträchtigung des Systems tritt erst dann ein, wenn mehrere essentielle Verbindungen ausfallen. Beeinträchtigungen sind z. B. der Ausfall der Spannungsversorgung oder der mechanische Defekt einer BUS-Leitung.

Dezentrale Systeme können in jedem Gebäudetyp installiert werden. Eine spätere Erweiterung oder der Austausch von Geräten in dezentralen Systemen ist ebenfalls einfach möglich, da nur das neu hinzugekommene oder ausgetauschte Gerät in die bestehende BUS-Leitung eingebunden und konfiguriert werden muss. So kann das System leicht auf dem

neuesten Stand gehalten werden. Bei dezentralen Systemen ist zudem die Intelligenz auf die Geräte verteilt. Das bedeutet, dass die eingebauten Sensoren und Aktoren über genügend eigene Rechenleistung verfügen, um Aufgaben ohne Hilfe der Systemzentrale bzw. des Servers zu bearbeiten. Die Geräte werden vom Hersteller bereits mit einer auf dem Gerät vorinstallierten Software ausgeliefert.

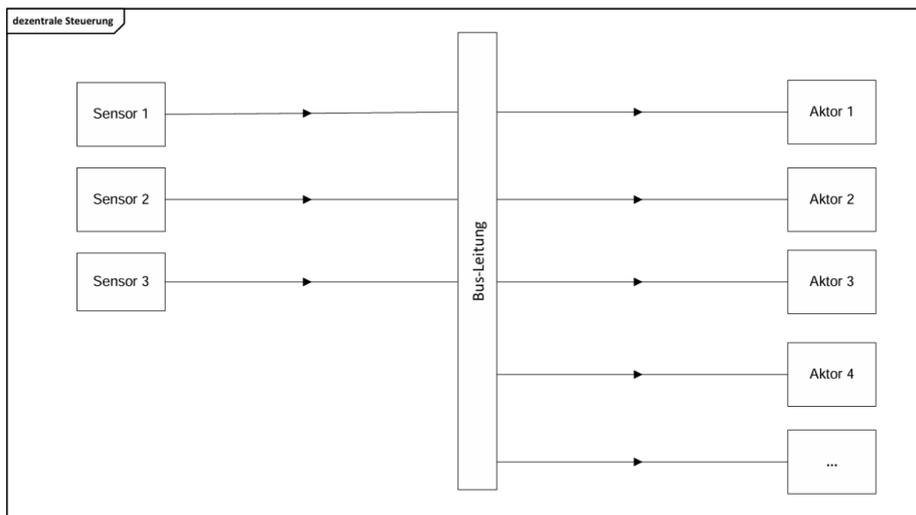


Abbildung 2: Dezentrale Steuerung

(Quelle: Eigene Darstellung nach Fromm-Wittenberg, 2024, S. 57)

Da Geräte in dezentralen Systemen mehr Intelligenz benötigen und nicht nur einen Status an die Zentrale senden, benötigen diese Geräte komplexere und teurere Komponenten. Aufgrund dieser Eigenschaft muss der Anwender bei dezentralen Systemen mit höheren Kosten rechnen. Beispiele für dezentrale Systeme sind Smart-Home-Systeme wie LCN oder KNX. Ein weiterer Nachteil für dezentrale Systeme ist die aufwendige Fehlersuche im Fehlerfall, da die Konfiguration des Gesamtsystems auf alle Geräte verteilt ist, was den Überblick erschwert. Um die Fehlersuche zu erleichtern, sollte die Konfiguration bei der Installation des Systems gut dokumentiert werden (Grün, 2022; Fromm-Wittenberg, 2024).

2.2.3 Hybride Systeme

Hybride Systeme vereinen die Eigenschaften von zentralen und dezentralen Systemen (siehe Abbildung 3). Beispielsweise ist es möglich, eine Smart-Home-Zentrale für die Steuerung aller Prozesse innerhalb der Anlage zu verwenden. Dabei ermöglicht die Form der Systeme sowohl eine weitreichende Steuerung als auch eine schnelle Reaktion auf lokal auftretende Ereignisse. Bei optimaler Planung und Umsetzung des Systems werden die Eigenschaften beider Systeme durch professionelle Installateure bestmöglich kombiniert.

Es besteht weiterhin die Möglichkeit, Hutschienenmodule für die Montage in Verteilerschränken oder Geräte mit Stromanschluss und LAN-Anschluss für die Anbindung an das Datennetz zu verwenden.

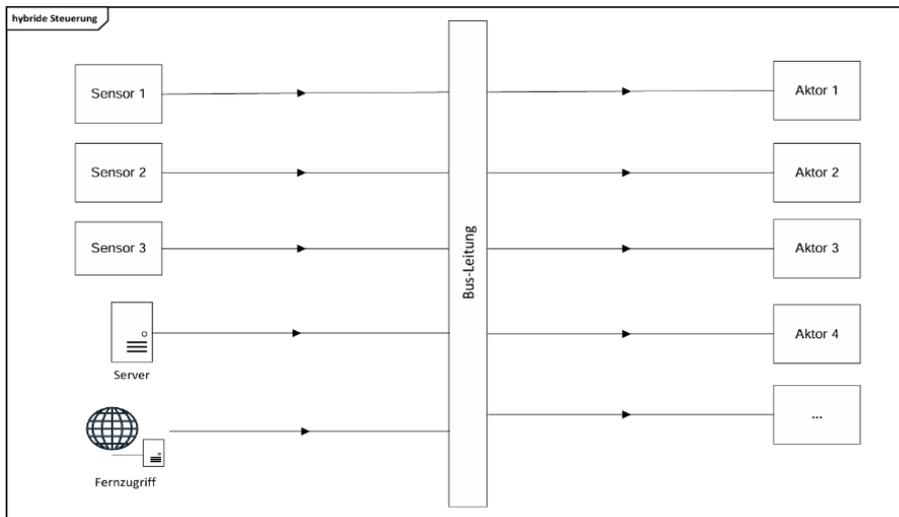


Abbildung 3: Hybride Steuerung

(Quelle: Eigene Darstellung nach Fromm-Wittenberg, 2024, S. 58)

Die Erweiterung über den LAN-Anschluss bietet Vorteile, da über den Netzwerkanschluss verschiedene Funktionen zur Verfügung gestellt werden können. So können z. B. Daten vom Server bzw. von der Zentrale aufbereitet und dem Anwender über eine Benutzeroberfläche visuell zur Verfügung gestellt werden. Dies ermöglicht dem Benutzer einen Fernzugriff auf die Anlage. Mit Hilfe des Fernzugriffs kann der Nutzer aus der Ferne auf die Gebäudeleittechnik zugreifen und Systembenachrichtigungen erhalten. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, nicht zeitkritische Anwendungen wie Wetterinformationen, Datenaufzeichnungen und rechenintensive Funktionen in die Cloud auszulagern. Diese Methode hat den Vorteil, dass Ressourcen gespart werden und keine leistungsstarken Komponenten in das Smart Home System integriert werden müssen (Grün, 2022; Fromm-Wittenberg, 2024).

2.3 Systemauswahl

Die Auswahl eines geeigneten Smart-Home-Systems durch den Nutzer wird von den individuellen Bedürfnissen, der Komplexität der jeweiligen Automatisierung und der Flexibilität beeinflusst. Ein System sollte benutzerfreundlich, zuverlässig, effizient und gleichzeitig sicher vor Veränderungen durch Unbefugte sein. Systeme sollten idealerweise mit einer Vielzahl von Geräten und Plattformen kompatibel sein, sodass verschiedene Smart-Home-Geräte und Technologien problemlos integriert werden können. Durch die Möglichkeit der Verwendung unterschiedlicher Hersteller und Protokolle wird die Auswahl an Geräten, die miteinander kombiniert werden können, vergrößert. In der Praxis erfüllen jedoch nur wenige Systeme diese Anforderungen.

Ein weiterer zentraler Punkt ist die Benutzerfreundlichkeit. Die Bedienung des Systems sollte intuitiv und einfach sein, sowohl über mobile Endgeräte und Apps als auch über Sprachassistenten. Eine einfache Einrichtung und Konfiguration der Geräte sowie eine leichte Zugänglichkeit für alle Familienmitglieder tragen wesentlich zur Benutzerfreundlichkeit bei. Ebenso wichtig ist eine zuverlässige Konnektivität. Eine stabile und unterbrechungsfreie Verbindung zwischen den Geräten ist für das reibungslose Funktionieren des gesamten Systems unerlässlich. Dies wird häufig durch eine separate Leitung erreicht, die ausschließlich dem Smart-Home-System zur Verfügung steht.

Sicherheit und Datenschutz dürfen bei einem guten Smart-Home-System nicht vernachlässigt werden. Hochwertige Verschlüsselungs- und Sicherheitsmaßnahmen sorgen dafür, dass persönliche Daten vor unbefugtem Zugriff und Diebstahl geschützt sind. Hersteller haben zudem die Möglichkeit, ihre Systeme durch Zertifikate, z. B. vom Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, als sicher zu kennzeichnen, was das Vertrauen in die Datensicherheit weiter stärkt. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Förderung der Energieeffizienz. Fortschrittliche Systeme ermöglichen es, den Energieverbrauch zu überwachen und effizient zu steuern. Auf diese Weise können die Nutzer durch intelligentes Gerätemanagement Energie sparen und gleichzeitig die Umweltbelastung verringern. Da sich die Technologien im Bereich Smart Home ständig weiterentwickeln, sind Firmware- und Funktionsupdates notwendig, um Optimierungen vorzunehmen. Spätere Funktionsanpassungen und Erweiterungen von Geräten oder Technologien stellen sicher, dass das System auch in Zukunft reibungslos funktioniert und den individuellen Bedürfnissen der Nutzer entspricht (Fromm-Wittenberg, 2024).

2.4 Technische Voraussetzungen

Smart-Home-Systeme können sowohl in bestehenden Wohn- und Gebäudestrukturen nachgerüstet als auch bei Neubauten oder größeren Renovierungen von vornherein eingeplant werden. Eine wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung von Smart Home ist eine gute gebäudetechnische Infrastruktur. Diese bildet die Grundlage für jede Art von Smart-Home-Systemen und stellt sicher, dass die benötigte Technik installiert und betrieben werden kann. Je nach Alter und technischem Zustand des Gebäudes kann ein Teil der Elektroinstallation bereits vorhanden sein. Dennoch sollte die technische Gebäudeinfrastruktur bei Neubauten oder Sanierungen sorgfältig berücksichtigt und gegebenenfalls modernisiert werden. Die technische Gebäudeausrüstung umfasst eine Vielzahl von Systemen, Komponenten und Einrichtungen, die für den reibungslosen Betrieb eines Gebäudes entscheidend sind. Sie trägt wesentlich zur Funktion, Sicherheit, Effizienz und Benutzerfreundlichkeit des Gebäudes bei. In Tabelle 1 sind die einzelnen Bereiche mit den zugehörigen Elementen der gebäudetechnischen Infrastruktur aufgeführt. Je nach Art und Nutzung des Gebäudes können sich die Elemente der Infrastruktur unterscheiden.

Bereich:	Bestandteile:
Elektroinstallation	Verkabelung, Schalter, Steckdosen, Beleuchtung, Sicherungssysteme, Verteilersysteme
Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HLK)	Heizungssystem, Lüftungssystem, Klimasystem
Sanitärtechnik	Wasserversorgung, Abwassersysteme, Regenwassernutzung, Toiletten, Waschbecken, Duschen
Brand- und Sicherheitstechnik	Rauchmelder, Brandmeldeanlagen, Sprinkleranlagen, Einbruchmeldesysteme, Zugangskontrollen, Videoüberwachung
Aufzugs- und Fördertechnik	Aufzüge, Rolltreppen
Kommunikationstechnik	Telefonanlagen, Datenverkabelung, drahtlose Netzwerke, Kommunikationsschnittstellen für Smart Home-Systeme
Gebäudeautomation	Beleuchtung, Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Sicherheit
Energiemanagement	Systeme zur Energieüberwachung / Optimierung von Energieverbrauch
Notstromversorgung	Back-up-Systeme (Generator / Batterie)
Audio-Video-Technik	Multiroom-Audiosysteme, Projektoren

Tabelle 1: Bereiche und Bestandteile technischer Gebäudeausrüstung

(Quelle: Eigene Darstellung nach Fromm-Wittenberg, 2024, S. 59, 60)

Ein wesentlicher Aspekt moderner Gebäudetechnik ist die Sektorkopplung, bei der verschiedene Bereiche miteinander kombiniert werden können. Normalerweise werden diese Bereiche, zu denen die in Tabelle 1 dargestellten Komponenten gehören, getrennt betrachtet. Durch die Sektorkopplung können Schnittstellen zwischen diesen Bereichen genutzt werden, was zu einer effizienteren und nachhaltigeren Ressourcennutzung führt.

Basis eines Smart-Home-Systems ist die elektrische Gebäudeinstallation. Diese ist notwendig, um die Geräte und Anlagen innerhalb des Gebäudes mit elektrischer Energie zu versorgen. Die Verkabelung der Anlage erfolgt in einer Baumstruktur und ist in der Richtlinie „VDE 0100“ festgelegt. Vom Hausanschluss, also der Einspeisung der elektrischen Energie in das Gebäude, werden Leitungen zur Hauptverteilung verlegt, die sich in der Regel im Zählerschrank befindet und den bzw. die elektrischen Zähler enthält. Vom Zählerschrank führen die Leitungen zu möglichen Unterverteilungen, die die Absicherung einzelner Stromkreise innerhalb einer Wohnung oder bestimmter Etagen eines Gebäudes übernehmen. Über diese Leitungen werden dann Schalter und Steckdosen versorgt. Dabei kommen Sicherungsautomaten und Schutzeinrichtungen, z. B. für den Blitzschutz zum Einsatz. Für die Planung und Ausführung dieser Arbeiten ist immer eine Elektrofachkraft oder ein Fachplaner zu beauftragen. Sowohl die Verkabelung als auch die elektrischen Komponenten, die in der Anlage installiert sind, müssen in regelmäßigen Abständen von einem Fachmann überprüft und gewartet werden. Insbesondere ältere Anlagen, die vor Jahrzehnten installiert wurden, müssen auf aktuelle Anforderungen wie Elektromobilität, Photovoltaik, elektrische Wärmeerzeugung und andere moderne elektrische Verbraucher überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Die Verkabelung kann wahlweise auf Kupfer- oder Glasfaserkabeln basieren. Das Hauptziel besteht darin, standardisierte, zuverlässige und gleichzeitig flexible Strukturen für die Datenübertragung zu schaffen, die den ständig wachsenden Anforderungen der modernen Datenkommunikation gerecht werden. Ein gut geplantes, durchdachtes und robustes Netzwerk ist entscheidend für die zukünftige Erweiterbarkeit und Leistungsfähigkeit des Systems (Fromm-Wittenberg, 2024).

2.4.1 Leitungsgebundene Systeme

Bei leitungsgebundenen Systemen erfolgt der Austausch von Informationen zwischen den Geräten über eine BUS-Leitung. Leitungsgebundene Systeme haben spezifische Vor- und Nachteile, die bei der Planung und Ausführung berücksichtigt werden müssen. Diese Systeme zeichnen sich durch ein hohes Maß an Zuverlässigkeit und Sicherheit aus und sind daher besonders für Anwendungen geeignet, bei denen diese Eigenschaften von entscheidender Bedeutung sind. Beispiele für solche Systeme sind BACnet, LCN, Free@Home und KNX, die eine robuste Unterputz- oder Aufputzverkabelung verwenden und meist auch eine Hybridlösung anbieten. In diesem Fall ist eine Kombination von leitungsgebundener und funkbasierter Kommunikation möglich. Der Vorteil liegt in der hohen Zuverlässigkeit und Stabilität der Kommunikation, da die Verkabelung im Vergleich zur drahtlosen Vernetzung weniger stör anfällig und ausfallsicher ist. Sie eignet sich vor allem in Umgebungen mit vielen Störquellen, wie z. B. dicht besiedelten Wohnanlagen oder Bürokomplexen. Ein weiterer Vorteil ist die Sicherheit. Leitungsgebundene Systeme sind schwerer zu manipulieren und bieten daher einen besseren Schutz vor Hackerangriffen und unberechtigten Zugriffen Dritter. Auch die geringe Verzögerungszeit dieser Systeme ist ein Vorteil, insbesondere wenn es um Echtzeitanwendungen wie Sicherheitslösungen oder Lichtsteuerungen geht.

Es müssen jedoch auch Nachteile berücksichtigt werden. Die Installation ist in der Regel komplizierter und mit höheren Kosten verbunden, insbesondere bei der Nachrüstung in bestehenden Gebäuden. Außerdem sind leitungsgebundene Systeme nicht so flexibel wie drahtlose Lösungen, bei denen neue Geräte leicht hinzugefügt oder die Raumgestaltung leicht geändert werden kann. Darüber hinaus kann die Verkabelung das Erscheinungsbild des Raumes beeinträchtigen. Diesen Nachteil kann ein hybrides System ausgleichen, das sowohl leitungsgebundene als auch drahtlose Komponenten unterstützt.

Ein drahtgebundenes Smart Home System zu planen und zu implementieren, erfordert mehrere Schritte. Zunächst sollte eine Bedarfsanalyse mit dem Kunden durchgeführt werden, um die gewünschten Anforderungen und Ziele an das Smart-Home-System zu definieren. Welche Funktionen und Geräte werden gewünscht? Wie viele Komponenten werden benötigt? Im Anschluss daran erfolgt die Auswahl der benötigten Komponenten. Es sollten Komponenten gewählt werden, die mit dem gewünschten System kompatibel sind und das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten unterstützen, indem sie mit einer Vielzahl von Herstellern und Protokollen kommunizieren können. Ein detaillierter Verlegungsplan ist ebenfalls unerlässlich. Dieser Plan legt fest, wo Kabel, Anschlüsse und Verbindungspunkte platziert werden müssen und sollte auch zukünftige Erweiterungs-

möglichkeiten berücksichtigen. Das System sollte von einem qualifizierten Elektriker oder Installateur installiert werden, der mit den örtlichen Gegebenheiten vertraut ist und die Verkabelung fachgerecht ausführt. Anschließend werden die Komponenten integriert und konfiguriert. Die Smart-Home-Komponenten werden an die Verkabelung angeschlossen und entsprechend den individuellen Bedürfnissen konfiguriert. Bei komplexeren Systemen ist es ratsam, geschulte Fachkräfte oder Systemintegratoren hinzuzuziehen, um eine reibungslose Kommunikation der Geräte untereinander zu gewährleisten.

Sicherheit und Schutz der Privatsphäre spielen auch nach der Installation eine wichtige Rolle und sind unbedingt zu beachten. Ein verkabeltes Smart-Home-System sollte vor unbefugtem Zugriff geschützt werden, z. B. durch sichere Passwörter, Beschränkung des Systemzugriffs auf autorisierte Personen und Sicherheitsupdates. Insgesamt sind verkabelte Smart-Home-Systeme ideal für Anwendungen, die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Langlebigkeit erfordern (Fromm-Wittenberg, 2024).

2.4.2 Funkbasierte Systeme

Funkbasierte Smart-Home-Systeme ermöglichen im Gegensatz zu leitungsgebundenen Systemen eine drahtlose Vernetzung von Geräten und eignen sich besonders für Nachrüstlösungen im Gebäudebestand. Sie nutzen häufig Funktechnologien wie WLAN oder Bluetooth, um eine flexible Kommunikation zwischen den Geräten ohne aufwendige Verkabelung zu gewährleisten. Die zentrale Steuereinheit fungiert als Hauptsteuergerät, das alle angeschlossenen Geräte koordiniert und Automatisierungen ermöglicht. Einige Systeme setzen auf eine Erweiterung durch Cloud-Dienste, sodass das System auch von unterwegs über das Internet gesteuert werden kann. Spezielle Apps dienen als Schnittstelle und bieten Funktionen wie das Auf- und Abfahren von Jalousien, das Erstellen individueller Lichtszenen und das Empfangen von Statusmeldungen. Darüber hinaus bietet eine typische Smart-Home-Installation beispielsweise Sensoren wie Bewegungsmelder, Tür- und Fensterkontakte sowie Temperaturfühler, die Daten aus der Umgebung erfassen und an die zentrale Steuerung übermitteln. Aktoren, darunter Schaltaktoren oder Thermostate, reagieren auf die von der Zentrale verarbeiteten Daten und führen daraufhin definierte Aktionen aus. Dies kann z. B. das Einschalten von Lichtquellen oder die Raumtemperaturregelung über Heizkörperthermostate sein.

Funkgestützte Smart-Home-Systeme weisen zahlreiche Vorzüge auf. Ein großer Vorteil ist die einfache Installation des Systems, da keine aufwendige Verkabelung notwendig ist. Das ist ideal für Bestandsimmobilien. Darüber hinaus sind die Systeme flexibel erweiterbar, da

neue Geräte und Sensoren hinzugefügt werden können und Abläufe definiert werden können, ohne dass zusätzliche Kabel verlegt werden müssen. Die Fernsteuerung per Smartphone oder Tablet ermöglicht es den Nutzern, ihr Zuhause jederzeit und von überall aus zu kontrollieren, was zusätzlichen Komfort und Sicherheit bietet. Smart-Home-Systeme ermöglichen zudem die Automatisierung verschiedener Heizungs-, Klima-, Sicherheits- und Beleuchtungsaufgaben, was zu Energieeinsparungen und mehr Wohnkomfort führen kann.

Neben den vielen Vorzügen haben funkbasierte Smart-Home-Systeme auch einige Nachteile. Anschaffungskosten für Geräte und Sensoren können höher sein als bei kabelgebundenen Systemen. Außerdem sind die Systeme in der Regel auf eine stabile Funk- oder Internetverbindung angewiesen, sodass Ausfälle die Funktion beeinträchtigen. Auch Kompatibilitätsprobleme können auftreten, da nicht alle Geräte und Hersteller die gleichen Standards verwenden. Funkgestützte Smart-Home-Systeme sind potenziell anfällig für Hackerangriffe, die die Privatsphäre der Nutzer gefährden können. Hier ist besonders auf geeignete Sicherheitsmaßnahmen zu achten (Fromm-Wittenberg, 2024).

2.5 Anwendungsszenarien

2.5.1 Beleuchtung

Eine der Hauptfunktionen im Komfortbereich der Gebäudeautomation ist die an Lebensstil und Bedürfnisse angepasste Lichtsteuerung. Insbesondere durch den vermehrten Einsatz von LED-Leuchtmitteln und den damit verbundenen Effekten wird die Steuerung über eine Hausautomationslösung sinnvoll. LED-Lampen verbrauchen im Durchschnitt etwa 80 bis 90 Prozent weniger Energie als herkömmliche Glühlampen. Ziel ist es, die Eigenschaften dieser Technologie zu nutzen, um den Komfort zu erhöhen. Dies gilt speziell für Lichteffekte und die Farbgestaltung der Beleuchtung. Das Schalten und Dimmen von Lichtquellen sind seit langem beliebt, um die Lichtverhältnisse optimal an die jeweilige Situation anzupassen. Daher ist gerade das Dimmen in der Gebäudeautomation eine weit verbreitete und häufig genutzte Eigenschaft, die vor allem in automatisierten Szenarien zum Einsatz kommt. Auf dem Markt sind heute verschiedene Arten von Dimmern erhältlich, die sich hinsichtlich ihrer Technologie und ihres Einsatzgebietes unterscheiden. Eine nähere Betrachtung der einzelnen Dimmer Typen hilft bei der Auswahl des geeigneten Typs für die jeweiligen Lichtquellen und Szenarien (siehe Tabelle 2).

Art des Dimmers	Beschreibung
Phasenanschnitt-Dimmer	<ul style="list-style-type: none"> - Für Glühlampen und Halogenlampen - Dimmt, indem er Anfang der Wechselstromwelle abschneidet
Phasenabschnitt-Dimmer	<ul style="list-style-type: none"> - Bei LED-Lampen und elektronischen Transformatoren - Ende der Wechselstromwelle vor Nulldurchgang abgeschaltet
Universal-Dimmer	<ul style="list-style-type: none"> - Für Glühlampen, LED-Lampen - Lampentyp automatisch erkannt und geeignete Technologie fürs Dimmen gewählt
0-10V-Dimmer	<ul style="list-style-type: none"> - In gewerblichen Anwendungen - Nutzt Gleichspannung von 0 bis 10 Volt
DALI-Dimmer	<ul style="list-style-type: none"> - DALI standardisiertes Protokoll für Lichtsteuerung - DALI-Dimmer ermöglichen digitale Steuerung und Kommunikation zwischen Leuchten und Dimmern
Funk-Dimmer	<ul style="list-style-type: none"> - Erhältlich als Phasenanschnitt- oder Phasenabschnitt-Dimmer - Ermöglichen drahtlose Steuerung über Fernbedienungen oder Smart Home-Systeme

Tabelle 2: Dimmer Typen

(Quelle: Eigene Darstellung nach Hohorst, 2024, S. 81)

Nicht alle Dimmer sind mit allen Leuchtmitteltypen kompatibel. Vor dem Kauf eines Dimmers sollte geprüft werden, ob er für die zu verwendenden Lampen geeignet ist. Dies ist besonders bei LED-Leuchtmitteln wichtig, da nicht alle auf dem Markt erhältlichen LEDs dimmbar sind. Für das Dimmen von LEDs wurden spezielle LED-Dimmer entwickelt, die die Helligkeit stufenlos regeln können. Es ist daher ratsam, die Herstellerangaben zu beachten, um eine optimale Leistung und Lebensdauer zu gewährleisten und den Dimmer nicht zu beschädigen. Bei der Umstellung auf LED-Leuchtmittel kann es notwendig sein, den vorhandenen Dimmer auszutauschen, da ältere Dimmer in der Regel nicht LED-kompatibel sind. Da ein Dimmer nicht immer die preiswerteste Lösung ist, sollte berücksichtigt werden, ob die Lichtquelle häufig gedimmt werden muss (Grün, 2022; Hohorst, 2024).

2.5.2 Beschattung und Sonnenschutz

In modernen, gut wärmegeprägten Häusern spielt die Nutzung der Sonnenenergie eine entscheidende Rolle. Beschattungs- und Sonnenschutzsysteme ermöglichen eine effiziente Steuerung der Sonneneinstrahlung und sind ein unverzichtbarer Bestandteil der Gebäudeautomation. Werden Beschattungs- und Sonnenschutzsysteme in einem Smart-Home-System mit einer vernetzten Heizungssteuerung kombiniert, besteht die Möglichkeit, die Innentemperatur des Gebäudes an vielen Tagen des Jahres auf einem Niveau zu halten, ohne eine konventionelle Heizung zu betreiben oder zu klimatisieren. Ein sehr gutes Beispiel ist das Passivhaus. Der Wärmeenergiebedarf dieses Gebäudes wird in der Regel nur durch die Steuerung und Dosierung der Solarenergie sowie durch energieeffiziente Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung gedeckt. Konventionelles Heizen oder Kühlen wird überflüssig.

Klassische Rollläden, die entweder fest in einem Rollladenkasten eingebaut, über den Fenstern montiert oder nachträglich außen am Fensterrahmen angebracht werden, sind die am häufigsten verwendeten Sonnenschutzsysteme in Wohngebäuden. Möchte der Nutzer die Rollläden elektrisch steuern, lässt sich dies durch den Einbau eines elektrischen Rohrmotors oder durch den Austausch des manuellen Gurtwicklers gegen eine motorisierte Variante problemlos in ein Smart-Home-System integrieren. Die Motoren sind entweder bereits vom Hersteller mit Smart-Home-Technologie ausgestattet oder können nachträglich durch den Umbau von elektrischen Schaltern zu Rollladen- oder Jalousieaktoren in das System integriert werden. Elektrische Rollläden verfügen über integrierte Endschalter, die den Systemzustand der Position in "ganz offen" und "ganz geschlossen" setzen. Neben den klassischen Rollläden gewinnen vor allem in Büro- und Wohngebäuden Jalousien an Bedeutung. Diese werden ebenfalls vor den Fenstern angebracht und können bei erhöhter

Sonneneinstrahlung automatisch heruntergefahren werden. Jalousien haben gegenüber Rollläden den großen Vorteil, dass der Nutzer den Winkel der Lamellen individuell einstellen kann und somit eine stufenlose Dosierung der Beschattung möglich ist. Eine intelligente Steuerung kann dabei die Helligkeit im Raum messen und die Jalousien variabel anpassen. Der Verstellbereich reicht von maximaler Verdunkelung bis zu maximaler Sonneneinstrahlung. Dabei sollten jedoch Regelverzögerungen in das System integriert werden, um Schäden, eine Überlastung der Antriebsmotoren und eine ständige Anpassung des Lamellenwinkels zu vermeiden.

Auch Markisen sind eine beliebte Sonnenschutzlösung, die vor allem im Außenbereich, z. B. auf Terrassen für angenehmen Schatten sorgen. Mit Hilfe eines Smart-Home-Systems kann die Markise je nach Lichtverhältnissen und Sonneneinstrahlung gesteuert werden. Neben dem Komfort bei der Bedienung spielt in diesem Zusammenhang auch die Sicherheit eine zentrale Rolle. So kann ein Smart-Home-System beispielsweise mit einem Windmesser gekoppelt werden, der plötzlich auftretende Windböen erkennt und die Markise rechtzeitig einfährt, um Schutz zu bieten. Viele Versicherungen verlangen inzwischen eine solche Windsicherung für teure Markisen. Alternativ kann das System auch Wetterdaten aus dem Internet abrufen und so vor aufkommendem Starkwind warnen, bevor dieser den Installationsort erreicht.

Für die automatische Steuerung von Beschattungssystemen werden in der Regel Lichtsensoren eingesetzt. Diese Sensoren erfassen die Intensität und den Einfallswinkel des Sonnenlichts sowohl im Raum als auch außerhalb des Gebäudes. Darüber hinaus empfiehlt es sich, die Raumtemperatur als zusätzliche Regelgröße in die Steuerung einzubeziehen, da die Temperatur unterschiedlich auf Sonneneinstrahlung und Verschattung reagiert. Zudem können Rollläden zeitgesteuert geöffnet und geschlossen werden, was insbesondere im Winter zur Einsparung von Heizenergie beiträgt. Der Sonnenschutz kann auch Teil komplexer Szenarien sein, etwa im Zusammenspiel mit Licht- und Multimediasystemen für eine entspannte Atmosphäre. Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die Anwesenheitssimulation zur Einbruchsprävention. Hierbei werden Rollläden teilweise geschlossen und die Beleuchtung automatisch gesteuert, um den Eindruck einer bewohnten Immobilie zu erwecken. Durch diese Kombination wird eine realistische Anwesenheit suggeriert, die potenzielle Einbrecher abschreckt und einen direkten Einblick in das Haus verhindert (Grün, 2022; Westermeier, 2024).

2.5.3 Heizung

Die effizienteste Art, eine Heizungsanlage mit Heizkörpern zu automatisieren, ist der Einsatz von elektronischen Heizthermostaten, auch Electronic Thermostate Radiator Valves (ETRV) genannt. Mit diesen Geräten kann jeder Heizkörper individuell nach einem vorher festgelegten Zeitplan gesteuert werden. Bei einfachen Modellen wird der Heizkörper mit einem ETRV ausgestattet, der auch eine Funktion zur Temperaturregelung bei schnellem Temperaturabfall, z. B. durch Öffnen eines Fensters bietet. Dabei wird die Solltemperatur für ca. 20 Minuten abgesenkt, um unnötige Energieverluste zu vermeiden und gleichzeitig Frostschäden vorzubeugen. In einer erweiterten Version sind ETRVs mit einem Funksystem ausgestattet, das die Interaktion mit Wandthermostaten und Tür-/Fensterkontakten ermöglicht. Ein Wandthermostat hat den Vorteil, dass die Raumtemperatur von einer zentralen Stelle aus geregelt werden kann und die Temperatur nicht direkt am Heizkörper gemessen werden muss. Außerdem können mehrere ETRVs an ein Wandthermostat angeschlossen werden, sodass Räume mit mehreren Heizkörpern und Fenstern einheitlich geregelt werden können.

Daher ist die Integration in ein Smart-Home-System die modernste Methode zur Steuerung einzelner Räume. Mit einer solchen Hausautomation lassen sich Anwendungen wie die zentrale Heizungssteuerung für das ganze Haus realisieren. Per Knopfdruck oder Zeitsteuerung kann das gesamte Haus hoch- oder heruntergeregelt werden, auch während der Abwesenheit der Bewohner. In diesem Fall übernimmt die Gebäudeautomation nicht nur die Steuerung von Licht und Jalousien, sondern sorgt auch dafür, dass die Räume während der Abwesenheit nicht unnötig geheizt werden. Zusätzlich erleichtert die Möglichkeit, Zeitprofile von einem konfigurierten Raum auf andere Räume zu übertragen, die Einrichtung des Systems erheblich. Die Installation eines solchen Heizungssteuerungssystems ist vergleichsweise einfach. ETRVs, Tür-/Fensterkontakte und Wandthermostate sind batteriebetrieben und benötigen keine Verkabelung. In der Regel können ETRVs vom Nutzer selbst installiert werden, wobei auf das passende Gewinde zu achten ist, für das üblicherweise Adapter erhältlich sind. Moderne Heizsysteme verhindern zudem, dass während der Installation Wasser austritt. Nach der Installation kalibriert sich die ETRV automatisch und ist sofort betriebsbereit (Geburek & Hohorst, 2024).

Eine weitere Option im Bereich der Haus- und Gebäudeautomation ist die Anbindung an eine Wärmepumpe. Über eine WLAN-Verbindung kann die Wärmepumpe mit dem Smart-Home-System vernetzt und bequem per Smartphone oder Tablet gesteuert werden. Dabei kommt ein Smart-Home-Hub als zentrale Steuereinheit innerhalb eines Systems zum

Einsatz, um verschiedene Geräte in der Anlage mit der Wärmepumpe zu vernetzen. Für die Kommunikation werden drahtlose Protokolle wie WLAN oder Bluetooth verwendet. Somit ist keine zusätzliche Verkabelung innerhalb des Gebäudes notwendig (Geburek & Hohorst, 2024).

Im Vergleich zu älteren Heizungsanlagen bieten moderne Heizsysteme einen automatischen Wechsel zwischen Heizen und Kühlen. Ermöglicht wird dies durch intelligente Temperatursensoren und Automatisierungslösungen im Smart-Home-System. Diese Sensoren erfassen den Wärme- bzw. Kühlbedarf und leiten die entsprechenden Daten an die Systemzentrale weiter, die dann anhand vordefinierter Szenarien die Temperaturregelung in den Räumen steuert. Eine gängige Methode der Temperaturregelung besteht darin, dass intelligente Thermostate die Raumtemperatur überwachen und je nach Schwellenwert automatisch zwischen Heizen und Kühlen umschalten. In Regionen mit gemäßigttem Klima wie Mittel- und Nordeuropa kann statt einer Klimaanlage auch gekühltes Wasser in der Fußbodenheizung zur effizienten Raumkühlung genutzt werden. Darüber hinaus können Wettervorhersagen in die Regelung einbezogen werden. So kann das System z. B. bei der Vorhersage eines heißen Tages automatisch die Kühlung oder die Umschaltung auf Kaltwasser in der Fußbodenheizung einleiten, während bei kaltem Wetter rechtzeitig die Heizung aktiviert wird. Auf diese Weise kann ein Auskühlen des Raumes und damit ein Anstieg des Energiebedarfs für das Wiederaufheizen des Raumes vermieden werden. Mit Hilfe von Bewegungssensoren erkennt das System auch, ob sich Personen im Raum befinden und schaltet die Heizung oder Kühlung entsprechend ein oder aus, um effizient zu arbeiten. Für Fußbodenheizungen ist diese Regelung allerdings weniger geeignet, da sie aufgrund ihrer hohen Trägheit langsamer reagieren (Geburek, 2024; Grün, 2022).

Energieeinsparung und Umweltfreundlichkeit spielen heutzutage auch für die Kunden eine zentrale Rolle. Unter Energieeinsparung wird die Reduzierung des Energieverbrauchs durch den Einsatz effizienterer Technologien und Verhaltensweisen verstanden. Im Haushalt gehören Heizen und Kühlen zu den energieintensivsten Prozessen. Durch eine optimierte Steuerung dieser Systeme kann ein großer Teil des Verbrauchs reduziert werden. Ein geringerer Energieverbrauch führt nicht nur zu Kosteneinsparungen, sondern verringert auch die Belastung durch nicht erneuerbare Energieträger wie Kohle und Öl. Im Bereich der Gebäudeautomation bietet die optimierte Programmierung von Heiz- und Kühlgeräten die Möglichkeit, den Energieverbrauch weiter zu senken und damit einen wertvollen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten. Auch die Nutzung erneuerbarer Energien, wie z. B. Solaranlagen trägt zur Energieeinsparung bei. Mit diesen Maßnahmen können Unternehmen und

Privatpersonen ihren ökologischen Fußabdruck verkleinern und gleichzeitig dem Klimawandel entgegenwirken (Geburek & Hohorst, 2024).

Schlussendlich ist der Einbau intelligenter Systeme, sei es für die Heizung, die Steuerung der Beschattung oder das Schalten von elektrischen Anlagen für den Kunden immer mit hohen Kosten verbunden. Entscheidet sich der Kunde für ein intelligentes und nachhaltiges System, kann er einen Teil der Kosten durch Fördermittel finanzieren. Fördermittel werden von der Europäischen Kommission, dem Bund oder den jeweiligen Bundesländern zur Verfügung gestellt und sollen den Einsatz energieeffizienter Systeme unterstützen. Im Rahmen dieser Programme werden dem Kunden zinsgünstige Kredite/Zuschüsse gewährt, die gegebenenfalls zurückgezahlt werden müssen. Dies ist besonders für Privatpersonen und kleinere Unternehmen interessant. Auch individuelle Zuschüsse für z. B. Solaranlagen, Wärmepumpen können helfen, die Kosten zu senken und die Kaufentscheidung zu erleichtern. Letztlich zeigt sich, dass Energieeinsparung, Umweltfreundlichkeit und gezielte Förderung eng miteinander verbunden sind und eine gezielte Förderung durch Subventionen die Kaufentscheidung für energieeffiziente Systeme maßgeblich beeinflussen kann (Twardy, 2024).

2.5.4 Komfort und Behaglichkeit

Komfort und Bequemlichkeit spielen im Bereich der Gebäudeautomation und Sicherheitstechnik eine große Rolle. Angeboten werden unter anderem Gegensprechanlagen, Kameraüberwachung des Gebäudes und Simulation der Anwesenheit der Bewohner bei Abwesenheit.

Herkömmliche Gegensprechanlagen übertragen in der Regel das Video-/Audiosignal bei Betätigung der Türklingel. Das Video-/Audiosignal wird von der Eingangseinheit zu einem Bedienterminal in der Wohneinheit übertragen und auf einem Bildschirm oder einer Gegensprechanlagenstation zur Verfügung gestellt. Eine Fernübertragung, z. B. auf mobile Endgeräte ist nicht möglich, was die Flexibilität dieser Systeme einschränkt. Moderne intelligente Türsprechanlagen bieten hier deutlich mehr Komfort. Sie erweitern herkömmliche Systeme, die Video- und Audiosignale sowohl auf das Smartphone des Nutzers als auch auf das Bedienpanel in der Wohnung übertragen. Für diese Funktion ist eine stabile Netzwerkverbindung, idealerweise mit Internetzugang, erforderlich. Um den Datenschutz zu gewährleisten, empfiehlt es sich, Systeme namhafter europäischer Hersteller zu wählen, die den strengen europäischen und deutschen Datenschutzstandards entsprechen.

Auch im Bereich der Kameraüberwachung bringt intelligente Technik mehr Komfort. Während herkömmliche analoge Kameras aufgrund der aufwendigen Verkabelung und der notwendigen Videoausrüstung eher selten eingesetzt wurden, hat sich mit der Einführung netzwerkfähiger IP-Kameras ein neuer Markt entwickelt. IP-Kameras sind nicht nur einfacher zu bedienen, sondern auch kostengünstiger und bereits für unter 100 € erhältlich. Sie ermöglichen die Übertragung des Videosignals direkt auf das Smartphone oder die Speicherung auf einem Netzwerkspeicher, was die Überwachung deutlich vereinfacht. Noch komfortabler sind Kamerasysteme, die zusätzlich über intelligente Funktionen verfügen. Diese können Bewegungen im Erfassungsbereich erkennen und unterscheiden, ob es sich um Menschen oder Tiere handelt. Einige Systeme sind auch in der Lage, Familienmitglieder von fremden Personen zu unterscheiden, was vor allem im Außenbereich von Vorteil ist. Im Innenbereich sind moderne Kameras oft mit akustischen Sensoren ausgestattet. Hier können ungewöhnliche Geräusche zur Aktivierung der Kamera und zur Auslösung einer Benachrichtigung über das Smartphone oder direkt zum Versenden eines Alarmbildes führen. (Grün, 2022; Hohorst, 2024).

Beim Einsatz von Kameratechnik ist jedoch stets zu beachten, dass der Datenschutz gewahrt bleibt. Insbesondere in Deutschland gibt es strenge Regelungen, die sicherstellen, dass nur das eigene Grundstück überwacht wird. Daueraufzeichnungen, die häufig in der Cloud des Herstellers gespeichert werden, unterliegen den gesetzlichen Regelungen des jeweiligen Bundeslandes. Zudem muss der Kunde sorgfältig abwägen, ob eine Kameraüberwachung in sensiblen Bereichen wie dem Innenraum wirklich notwendig ist. Moderne Innenraumkameras bieten aus Datenschutzgründen die Möglichkeit, das Objektiv mechanisch zu versenken, sodass keine Aufzeichnung erfolgt, wenn der Besitzer anwesend ist.

Ein weiteres Komfortmerkmal der Gebäudeautomation ist die Anwesenheitssimulation. Diese Funktion wird bei längerer Abwesenheit der Bewohner, z. B. während des Urlaubs, aktiviert und simuliert durch automatisches Öffnen und Schließen von Rollläden sowie Ein- und Ausschalten von Lichtquellen die Anwesenheit im Haus. Potenziellen Einbrechern wird so die Anwesenheit der Bewohner vorgetäuscht. Es ist empfehlenswert, diese Funktion so zu programmieren, dass sie nur bei Abwesenheit der Bewohner aktiv ist (Hohorst, 2024).

2.6 Aktueller Forschungsstand und Ableitung der Forschungsfrage

Die Studien Smart Home 2022 (Moltrecht & Schnaack, 2022) und Smart Home 2024 (Rohleder, 2024) des Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom e.V.) bietet einen umfassenden Einblick in den aktuellen Stand der Verbreitung und Nutzung von Smart-Home-Technologien der letzten Jahre in Deutschland. Mit einer Befragung von 1.315 Personen im Jahr 2022 und 1.193 Personen im Jahr 2024 liefern die Studien wertvolle Erkenntnisse darüber, welche Anwendungen besonders gefragt sind. Außerdem wird untersucht, welche Herausforderungen die Nutzer sehen und welche Trends den Markt prägen. Besonders hervorzuheben sind die steigende Akzeptanz von Smart-Home-Systemen, die Priorisierung von Komfort, Energieeffizienz und Sicherheit sowie die zentrale Rolle von Benutzerfreundlichkeit und Datenschutz.

Ein zentrales Ergebnis der Studien ist der deutliche Anstieg der Nutzung von Smart-Home-Anwendungen in den letzten sechs Jahren. Während im Jahr 2018 erst 26 Prozent der Befragten angaben, solche Technologien zu nutzen, stieg dieser Anteil von 2022 bis 2024 um weitere 3 Prozent auf 46 Prozent. Dabei zeigt sich, dass die Akzeptanz stark vom Alter abhängt. Die jüngeren Altersgruppen, insbesondere die 16- bis 29-Jährigen, nutzen 2024 Smart-Home-Anwendungen mit 60 Prozent am häufigsten. Aber auch in den Altersgruppen 30 bis 49 Jahre und 50 bis 64 Jahre steigt die Nutzung bis 2024 auf 54 Prozent. Auffällig ist, dass die älteste Altersgruppe der über 65-Jährigen mit 30 Prozent die geringste Nutzungsrate aufweist. Dies könnte auf Barrieren wie Kosten, Komplexität, mangelnde Bekanntheit und ggf. Infragestellung der Notwendigkeit zurückzuführen sein. Weiterhin wird aufgezeigt, welche Bereiche und Geräte besonders beliebt sind. Am häufigsten werden Anwendungen im Energiebereich wie intelligente Lampen und Leuchten (41 Prozent), Heizkörperthermostate (36 Prozent) und WLAN-Steckdosen (31 Prozent) genutzt. Sicherheitsanwendungen wie Videoüberwachung (21 Prozent) und intelligente Alarmanlagen (18 Prozent) folgen, während Geräte für Haus und Garten wie Staubsaugerroboter (26 Prozent) und Rasenmäroboter (18 Prozent) ebenfalls weit verbreitet sind. Diese Zahlen verdeutlichen, dass Komfort und Energieeffizienz die treibenden Faktoren für die Nutzung von Smart-Home-Technologien sind. Tatsächlich gaben 78 Prozent der Nutzer an, dass sie Smart-Home-Geräte nutzen, um ihren Alltag komfortabler zu gestalten, während 69 Prozent Energieeinsparungen und mehr Sicherheit anstreben. Trotz dieser positiven Entwicklungen weist Rohleder (2024) auch auf wesentliche Hindernisse hin, die einer weiteren Verbreitung von Smart-Home-Technologien im Wege stehen. 54 Prozent der Personen, die das System nicht nutzen, nennen die Angst vor Hackerangriffen als Hauptgrund, gefolgt von Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes (43 Prozent) und der Privatsphäre (36 Prozent). Diese

Herausforderungen machen deutlich, dass Sicherheit und Datenschutz entscheidende Kriterien bei der Auswahl eines Systems sind. Laut der Studie des Bitkom e.V. (Rohleder, 2024) sind für 96 Prozent der Nutzer Sicherheitszertifikate zum Schutz vor Hackerangriffen und für 87 Prozent der Datenschutz von Bedeutung. Gleichzeitig zeigt sich, dass 86 Prozent der Nutzer eine lange Update-Garantie des Herstellers für wichtig erachten. Die Perspektiven und Trends zeigen, dass Smart-Home-Technologien zunehmend auf künstliche Intelligenz (KI) setzen, um die Nutzererfahrung weiter zu verbessern. KI-basierte Anwendungen könnten nicht nur das Nutzerverhalten analysieren und Szenarien wie Licht- oder Heizungssteuerung automatisch anpassen. Auch im Bereich der Sicherheit, wie z. B. der Früherkennung von drohenden Wasserschäden, können neue Möglichkeiten geschaffen werden. Plug-and-Play-Lösungen sowie eine intuitive Bedienung könnten insbesondere älteren Nutzern den Zugang erleichtern und ein selbstbestimmtes Leben unterstützen (Rohleder, 2024).

Weitere Studien, die sich speziell mit der Nachrüstung von Smart-Home-Systemen befassen, liegen nicht vor. Die beiden Studien des Bitkom e.V. beleuchten zentrale Aspekte der Nutzung und Akzeptanz. Sie liefern jedoch keine detaillierten Erkenntnisse, um verschiedene Systeme, z. B. im Kontext einer Nachrüstung zu bewerten. Dies gilt insbesondere für die praktischen Herausforderungen, die mit der Installation und Integration solcher Systeme in bestehende bauliche Strukturen einhergehen. Hier knüpft die Arbeit an, indem sie die Lücke in der aktuellen Forschung adressiert.

FF: Wie können die Smart-Home-Systeme KNX, LCN bzw. Free@Home in einem Bestandsgebäude nachgerüstet werden? Dabei wird auf die Besonderheiten, Vor- und Nachteile näher eingegangen und die Umsetzung des Projektes anhand eines Systems vorgestellt.

Ziel ist es, die Nachrüstbarkeit der drei genannten Systeme unter realen Bedingungen zu analysieren und herauszuarbeiten, wie sie den Bedürfnissen der Nutzer gerecht werden können. Durch die praktische Umsetzung in einem Beispielprojekt soll zudem ein Beitrag zur Überwindung der in der Studie aufgezeigten Barrieren wie Kosten, Installation und Benutzerfreundlichkeit geleistet werden. Die Forschungsfrage zielt somit direkt darauf ab, die Lücke in der aktuellen Forschung zu schließen und eine praxisnahe Lösung aufzuzeigen.

3 Hersteller von Smart-Home-Systemen

3.1 KNX

3.1.1 Definition

KNX wurde im Mai 1999 durch den Zusammenschluss von drei Verbänden BatiBUS Club International (BCI), European Installation Bus Assoziation (EIBA) und European Home Systems Association (EHSA) gegründet. Vor dem Zusammenschluss waren die drei Verbände eigenständig und auf unterschiedliche Anwendungsbereiche spezialisiert. Der BCI-Verband konzentrierte sich auf die Integration von Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik und war in Frankreich sehr verbreitet. Die EIBA hat einen Installationsbus namens Europäischer Installationsbus (EIB) entwickelt. Dieser Verband hat sich auf Beleuchtung, Jalousien und andere Funktionen der Raumautomation spezialisiert. EHSA hingegen widmete sich den Haushaltsgeräten sowie der Audio- und Videotechnik und entstand aus einer EU-Gemeinschaftsentwicklung. Ziel dieses Zusammenschlusses war es, einen weltweit einheitlichen und offenen Standard für die Haus- und Gebäudesystemtechnik zu etablieren. Heute hat die KNX Association mehr als 400 Mitgliedsfirmen in 125 Ländern. Hersteller und Anwenderfirmen entwickeln Funktionen, produzieren und vertreiben KNX-kompatible Geräte.

Der KNX-Systemstandard zeichnet sich besonders durch seine Konnektivität aus. Darunter versteht man die Eigenschaft, dass Geräte verschiedener Hersteller aufgrund einheitlicher Codierungen und standardisierter Funktionsblöcke nahtlos miteinander kommunizieren können. Diese Eigenschaften werden durch strenge KNX-Zertifizierungen und ISO 9001-zertifizierte Qualitätsstandards sichergestellt. Das System bietet darüber hinaus eine einheitliche, herstellerunabhängige Engineering Tool Software (ETS), die zur Projektplanung, Konfiguration, Parametrierung und Inbetriebnahme eingesetzt wird. Darüber hinaus ist es möglich, eine Diagnose und Fehlersuche innerhalb des KNX-Systems durchzuführen. Vorgefertigte Anwendungen innerhalb des Systems, sogenannte Funktionsblöcke, standardisieren viele Funktionen und erleichtern so die Anwendung und Implementierung (Sokollik et al., 2017).

Die Topologie eines KNX-Systems basiert auf einer hierarchischen Struktur in Linien und Bereichen. Als Übertragungsmedium dient eine BUS-Leitung YCYM 2x2x0,8 für trockene Räume oder eine Leitung J-Y (St) Y 2x2x0,8 für trockene und feuchte Räume, die eine hohe Flexibilität und Betriebssicherheit gewährleistet.

Eine Linie innerhalb einer Anlage stellt die kleinste Installationseinheit dar und umfasst maximal vier Liniensegmente mit bis zu 64 Teilnehmern. Wie viele Teilnehmer jedoch tatsächlich in der Anlage betrieben werden können, hängt von der gewählten Spannungsversorgung ab. Innerhalb eines Liniensegmentes sind bestimmte Vorgaben bezüglich der Leitungslängen zu beachten (siehe Tabelle 3).

Festlegung	Länge
Gesamtlänge Liniensegment	Maximal 1000 m
Abstand zw. Teilnehmer und Spannungsversorgung	Maximal 350 m
Abstand zw. zwei Spannungsversorgungen	Herstellerangabe beachten
Abstand zw. zwei Teilnehmern	Maximal 700 m
Mit Linienverstärker erweiterbar	Maximal 1000 m

Tabelle 3: KNX TP Leitungslängen

(Quelle: Eigene Darstellung nach KNX Association cvba, 2013, S. 22)

Bereiche innerhalb des KNX-Systems setzen sich aus mehreren Linien zusammen, die über Linienkoppler an eine Hauptlinie angeschlossen werden können. Mit einer Kombination aus Bereichs- und Linienkopplern sowie Verstärkern können bis zu 15 Bereiche mit über 58.000 Teilnehmern in einer KNX-Anlage verbunden werden. Bei der Installation ist darauf zu achten, dass auf der Bereichs- und Hauptlinie keine Linienverstärker installiert werden. Darüber hinaus muss die maximale Anzahl der Teilnehmer auf der Hauptleitung um die Anzahl der installierten Linienkoppler reduziert werden (siehe Abbildung 4).

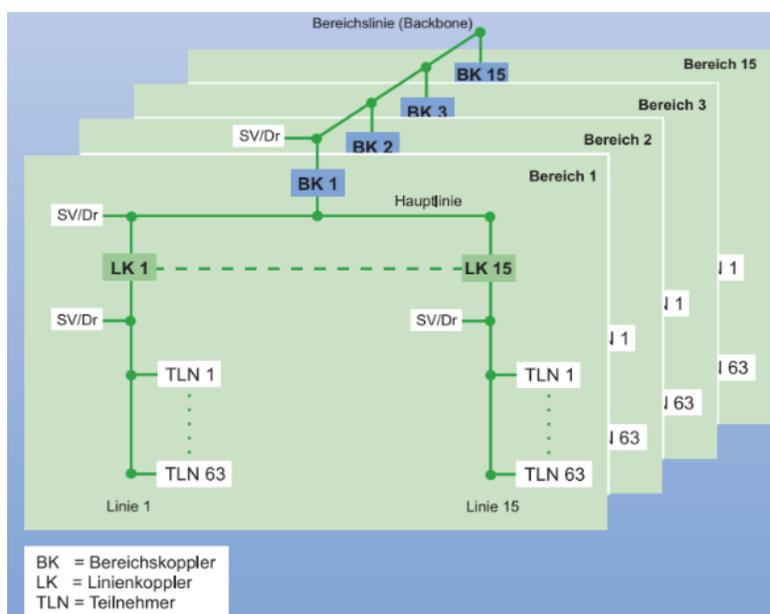


Abbildung 4: KNX-Topologie

(Quelle: KNX Association cvba, 2013, S. 24)

Wesentliche Vorteile ergeben sich aus der Segmentierung in Linien und Bereiche. Durch die konsequente Trennung der Anlagenabschnitte wird die Betriebssicherheit erhöht und eine lokale Begrenzung des Datenverkehrs ermöglicht. Dadurch wird die Leistungsfähigkeit und Wartbarkeit des Systems optimiert. Selbst bei Ausfall einzelner Linien bleibt das System in anderen Bereichen funktionsfähig (KNX Association cvba, 2013).

3.1.2 Übertragungstechnik

Bei KNX basiert die Übertragungstechnik auf verschiedenen Übertragungsmedien wie Twisted Pair (TP), Powerline (PL), Funk (RF), dem Internetprotokoll (IP) sowie auf unterschiedlichen Konfigurationsmodi (System Mode (S-Mode) und Easy Mode (E-Mode)). Aufgrund des begrenzten Umfangs werden im Folgenden nur die beiden wichtigsten Übertragungsmedien TP und RF näher betrachtet. Beide Ansätze weisen spezifische Vorteile auf, die sich für den Einsatz in unterschiedlichen Anwendungsfällen eignen.

TP als Übertragungsmedium ermöglicht einen robusten und störstärkeren Informationsaustausch zwischen den BUS-Teilnehmern. Die Topologie ist flexibel und erlaubt beliebige Verkabelungsmuster. Schaltbefehle oder Meldungen innerhalb des Systems werden als Telegramme übertragen, wobei die Übertragung auf der BUS-Leitung so ausgelegt ist, dass auf Abschlusswiderstände verzichtet werden kann. Informationen werden symmetrisch auf beiden Adern der Leitung übertragen, sodass Störungen, die beide Adern betreffen, keinen Einfluss auf die Signalübertragung haben. Dazu werten die Teilnehmergeräte die Spannungsdifferenz zwischen beiden Adern der BUS-Leitung aus. Da die Übertragungsgeschwindigkeit eines TP-Systems 9600 Bit/s beträgt, benötigt ein typisches Telegramm für Senden und Quittieren ca. 25 Millisekunden (KNX Association cvba, 2013).

Der Buszugriff innerhalb des Systems erfolgt standardisiert über ein dezentrales Verfahren mit der Bezeichnung Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA). CSMA prüft vor dem Senden, ob die BUS-Leitung verfügbar ist. Werden Telegramme von mehreren Teilnehmern gleichzeitig auf die BUS-Leitung gesendet, erkennt das Verfahren Kollisionen der Telegramme. Daraufhin wird das erneute Senden durch den betroffenen Busteilnehmer veranlasst. Zusätzlich ist ein Prioritätsmechanismus in dem Verfahren integriert, der z. B. Störmeldungen der Anlage bevorzugt über die Leitung sendet. Telegramme im TP-System setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen (siehe Abbildung 5). Die einzelnen Bestandteile werden in Tabelle 4 näher erläutert (KNX Association cvba, 2013).



Abbildung 5: Aufbau Telegramm KNX TP

(Quelle: KNX Association cvba, 2013, S. 26)

Bestandteile	Erklärung
Quelladresse	Physikalische Adresse des Absenders -> Bei Projektierung dem Busteilnehmer fest zugeordnet -> Für Inbetriebnahme und Servicefunktionen benötigt
Zieladresse	Für Einzel- oder Gruppenkommunikation -> Kommunikationspartner wird festgelegt -> Kommunikationspartner sind an Linie angeschlossen
Kontrolldaten	Keine Angabe
Sicherungsdaten	Keine Angabe
Nutzdaten	Werte: Ein/Aus, Helligkeit, Temperatur
Prüfinformationen	Zur Erkennung von Übertragungsfehlern

Tabelle 4: Bestandteile KNX Telegramme

(Quelle: Eigene Darstellung nach KNX Association cvba, 2013, S. 26, 27)

Mit der in Abbildung 5 dargestellten Struktur ist es möglich, ein Gerät mehreren vordefinierten Gruppen zuzuordnen und die Kommunikation flexibel zu gestalten. Gruppenadressen können innerhalb des KNX-Standards Werte von 0 bis 65535 annehmen. Um die Übersichtlichkeit der Gruppenadressen für den Installateur zu verbessern, werden diese auch als "Hauptgruppe/Untergruppe" oder "Hauptgruppe/Mittelgruppe/Untergruppe" dargestellt. Soll der jeweilige Teilnehmer nur eine bestimmte Funktion innerhalb der Anlage erfüllen, können die spezifischen Eigenschaften des Gerätes über Flags eingestellt werden. Unter Flags versteht man Einstellmöglichkeiten, mit denen das Verhalten von Geräten innerhalb des Systems festgelegt werden kann. Verhaltensweisen von Geräten sind z. B. das ausschließliche Lesen von Telegrammen oder das Senden und Empfangen von Telegrammen an andere Teilnehmer (KNX Association cvba, 2013).

Die Funkübertragung in KNX-Systemen bietet im Vergleich zur leitungsgebundenen Kommunikation maximale Flexibilität bei der Installation, da keine hierarchische Anordnung notwendig ist. Darüber hinaus können KNX-Systeme aus reinen Funknetzwerken oder aus einer Kombination von RF- und TP-Systemen bestehen. Um die Zusammenschaltung von

leitungsgebundenen und drahtlosen Übertragungsmedien zu ermöglichen, übersetzen Medienkoppler die Informationen zwischen den beiden Übertragungsmedien. Ein Vorteil der Geräte nach dem Funkstandard besteht darin, dass sie nahezu überall im Gebäude installiert werden können, solange die Reichweite der Funksignale ausreicht. Je nach baulichen Gegebenheiten, wie z. B. Wänden, Decken und Möbeln kann die Reichweite variieren. Für größere Entfernungen lässt sich die Reichweite durch den Einsatz von bis zu drei Repeatern erhöhen.

Grundlage für die Kommunikation im Funknetz ist die eindeutige Identifizierung der Geräte innerhalb der Anlage. Jeder Sender überträgt seine Seriennummer (im E-Modus) oder eine Hauptadresse (im S-Modus), wodurch sichergestellt wird, dass Telegramme nur von den vorgesehenen Geräten verarbeitet werden. Auf diese Weise kann eine Beeinflussung durch benachbarte Geräte vermieden werden. Telegramme im Funkstandard werden mittels Frequenzmodulation, einer Mittenfrequenz von 863,30 MHz und Übertragungsgeschwindigkeit von 16.384 Bit/s übertragen. Zur Synchronisation und Zuverlässigkeit der Leitungscodierung wird im Funkstandard zusätzlich das Manchester-Verfahren verwendet. Diese Codierung sorgt dafür, dass in der Mitte jedes Informationsbits ein Flankenwechsel stattfindet. Ein Flankenwechsel ist der Wechsel eines logischen Schaltzustandes von 0 nach 1 oder von 1 nach 0. Der Flankenwechsel ermöglicht eine einfache Synchronisation zwischen Sender und Empfänger, da die Schaltzustände kontinuierlich abgetastet werden. Telegramme innerhalb des KNX RF-Funkstandards (siehe Abbildung 6) werden in Datenblock 1 (siehe Abbildung 7) und Datenblock 2 (siehe Abbildung 8) unterteilt. In Tabelle 5 sind die Komponenten des Datenblocks 1 und in Tabelle 6 die Komponenten des Datenblocks 2 aufgeführt.

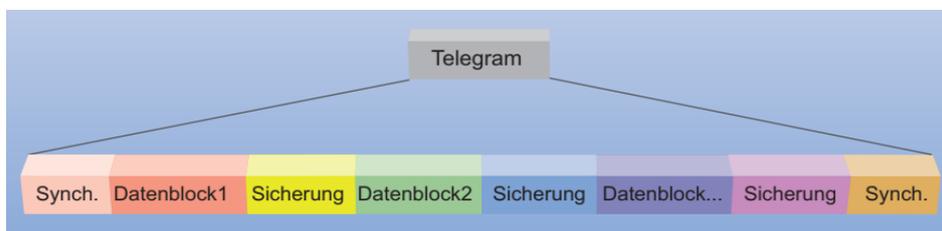


Abbildung 6: Aufbau Telegramm KNX RF
(Quelle: KNX Association cvba, 2013, S. 41)

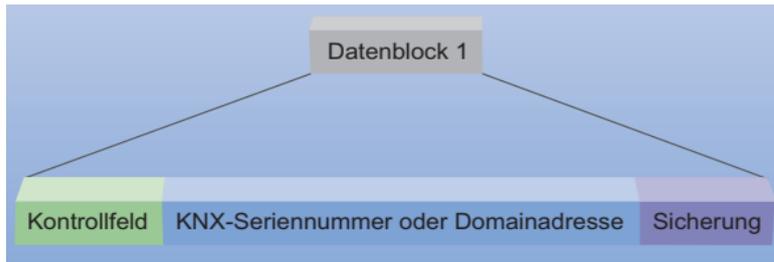


Abbildung 7: Aufbau Datenblock 1 KNX RF
(Quelle: KNX Association cvba, 2013, S. 42)

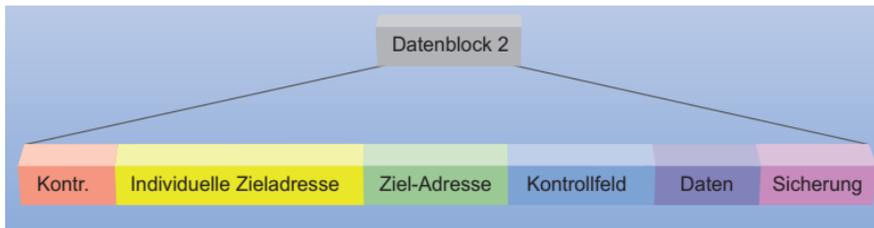


Abbildung 8: Aufbau Datenblock 2 KNX RF
(Quelle: KNX Association cvba, 2013, S. 43)

Komponente	Inhalt
Kontrollfeld	-> Telegrammlänge -> Art des Gerätes (uni- / bidirektionale Kommunikation) -> Übertragungsgüte (Empfangsleistung) -> Batteriestatus (nur bei batteriebetriebenen Geräten)
Seriennummer / Domainadresse	-> Seriennummer von Gerät (eindeutige Kennzeichnung von Gerät), bei Geräten im E-Mode -> Domainadresse von Gerät, Gerät im S-Mode, während Inbetriebnahme mit ETS im Gerät hinterlegt
Sicherung	Keine Angabe

Tabelle 5: Inhalt Erster Datenblock KNX RF

(Quelle: Eigene Darstellung nach KNX Association cvba, 2013, S. 42)

Komponente	Inhalt:
Kontrollbytes	Keine Angabe
Individuelle Zieladresse	-> Physikalische Adresse von Gerät -> Nur bei Programmierung von Geräten mit übergeordneten Koppeln, Controllern -> ETS wird benötigt
Zieladresse	-> Unterscheidet sich nach Funktion -> Physikalischer Zugriff (programmieren), Zieladresse individuelle Quelladresse -> Normaler Betrieb, Zieladresse beinhaltet Nummer von Kommunikationsobjekt des Gerätes -> E-Mode oder ETS vergeben Gruppenadresse bei S-Mode Geräten
Kontrollfeld	Keine Angabe
Daten	-> Beinhalten zu übertragenen Daten (Befehle, Meldungen, Messwerte usw.)
Sicherungsbytes	Keine Angabe

Tabelle 6: Inhalt Zweiter Datenblock KNX RF

(Quelle: Eigene Darstellung nach KNX Association cvba, 2013, S. 42,43)

3.1.3 Anwendungsbereiche

KNX wird für eine Vielzahl von Mess-, Steuer- und Regelfunktionen eingesetzt und ermöglicht die Automatisierung von Wohn- und Zweckgebäuden. Zu den Anwendungen zählen Beleuchtung, Sonnenschutz, Heizung und Klimatisierung sowie Signalanlagen, die allesamt für mehr Effizienz, Flexibilität und Komfort sorgen.

Im Bereich der Beleuchtung eröffnet KNX neue Möglichkeiten, die mit konventionellen Starkstrominstallationen nicht realisierbar sind. Während herkömmliche Installationen feste Strukturen aufweisen, die bei Nutzungsänderungen oft umfangreiche Anpassungen erfordern, ermöglicht KNX eine flexible Anpassung durch einfache Umprogrammierung. Aufwendige bauliche Eingriffe wie das Aufstemmen von Wänden oder das Neuverlegen von Kabeln entfallen. Die Steuerung kann sowohl im Innen- als auch im Außenbereich eingesetzt werden und umfasst das Schalten, Dimmen und die Erstellung individueller Lichtszenen. Einstellungen können vom Benutzer selbst vorgenommen werden, was zusätzliche Kosten spart. Eine typische Anwendung ist die Konstantlichtregelung, die durch die Steuerung des Kunstlichtanteils für gleichmäßige Ausleuchtung an den Arbeitsplätzen sorgt. Der

elektrische Anschluss der Leuchten erfolgt weiterhin über Starkstrom (230 V oder 400 V), wobei der KNX-Bus die Geräte, Taster und Sensoren miteinander vernetzt.

Für Sonnen- und Sichtschutzsysteme bietet KNX die Möglichkeit, Jalousien, Rollläden und Markisen sowohl vor Ort als auch aus der Ferne zu steuern. Dies kann einzeln in Gruppen oder vollautomatisch erfolgen, z. B. in Abhängigkeit von Zeit, Helligkeit oder Wetter. Die Ansteuerung der Antriebsmotoren erfolgt über Starkstrom und die Jalousie-/Rollladenaktoren über KNX-Busanbindung. Hierbei wird die spezifische Funktionalität über die Software ETS konfiguriert.

In der Heizungs- und Klimatechnik unterstützt KNX den effizienten und umweltschonenden Einsatz von Energie, ohne den Komfort der Bewohner wesentlich zu beeinträchtigen. Eine energieoptimierte Steuerung basiert auf der Vernetzung von Sensoren und Aktoren, wobei spezielle Regler die Heizungs- und Klimainformationen auswerten. Raumbezogene Temperaturregelung ist dafür ein typisches Beispiel. Um jederzeit eine ideale Raumtemperatur zu gewährleisten, nutzt die Regelung Temperaturprofile und Sensordaten. Da nur so viel Energie bereitgestellt wird, wie tatsächlich benötigt wird, wird der Energieverbrauch reduziert.

Mit KNX steht ein dezentrales Informationsübertragungssystem ohne zentrale Steuerung für Melde-, Steuer- und Überwachungssysteme zur Verfügung. Verschiedene Hard- und Softwarelösungen wie LCD-Displays und PC-Visualisierungen ermöglichen eine flexible Bedienung. KNX kann auch für Überwachungsaufgaben wie Einbruch-, Brand- oder Wassermeldealanlagen eingesetzt werden. Eine besondere Funktion ist die Anwesenheitssimulation, die durch Steuerung von Licht und Jalousien das Haus bewohnt erscheinen lässt. Zusätzlich bieten Paniktaster die Möglichkeit, die gesamte Innen- und Außenbeleuchtung zentral ein- und auszuschalten. Außerdem können Rauch-, Wasser- und Glasbruchmelder für spezielle Überwachungsaufgaben integriert werden. Es ist jedoch nicht möglich, mit KNX ein komplettes Alarmsystem zu realisieren (Sokollik et al., 2017).

3.1.4 Komponenten

Komponenten sind die Geräte eines KNX-Systems, die an das Bussystem angeschlossen werden. Sie übernehmen verschiedene Aufgaben, die für die Funktionalität und Steuerung des Systems wesentlich sind. Die wichtigsten Komponenten sind Sensoren, Aktoren und Dimmer. Alle Komponenten sind über die KNX-Busleitungen miteinander verbunden und kommunizieren herstellerunabhängig über das standardisierte KNX-Protokoll miteinander.

Dadurch können die Geräte individuell programmiert und flexibel in die Steuerung eingebunden werden. Ein KNX-Busteilnehmer ist unabhängig vom Übertragungsmedium so aufgebaut, dass er aus einer Kombination von bis zu drei Bauteilen besteht, die seine Funktionalität bestimmen. Bei Twisted Pair (TP) Busteilnehmern besteht der funktionsfähige Teilnehmer aus einem Busankoppler (BA), einem Anwendungsmodul (AM) und optional einer Anwenderschnittstelle (AST) (siehe Abbildung 9). Diese können je nach Bauform variieren. Bei Unterputzgeräten (UP) werden Busankoppler und Anwendungsmodul häufig über eine steckbare Schnittstelle verbunden, während sie bei Reiheneinbaugeräten oder Aufputzgeräten fest in ein Gehäuse integriert sind.

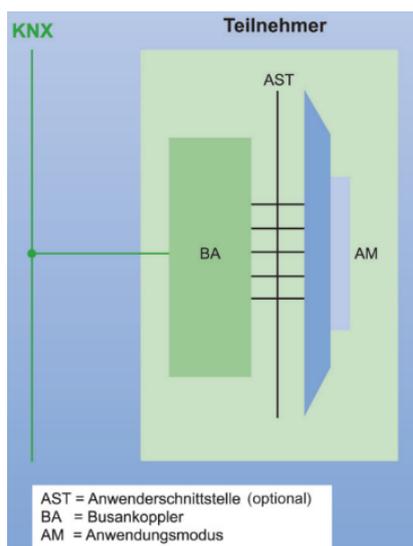


Abbildung 9: Schematischer Aufbau KNX TP Busteilnehmer

(Quelle: KNX Association cvba, 2013, S. 27)

Der Busankoppler übernimmt die zentrale Aufgabe der Datenübertragung. Er empfängt, speichert und sendet Daten über die Busleitung auf der Basis von physikalischen Adressen oder Gruppenadressen sowie den Parametern des Anwenderprogramms. Ein Mikroprozessor koordiniert die Funktionen des Busankopplers und gewährleistet den Erhalt der Daten auch bei Spannungsausfall oder Störungen. Bei Wiederkehr der Versorgungsspannung kehrt der Busteilnehmer in einen vorprogrammierten Zustand zurück. Die Funktionalität des Busteilnehmers wird durch das Applikationsmodul und die zugehörige Applikationssoftware definiert, die z. B. Sensoren wie Taster und Binäreingänge oder Aktoren wie Schalt- und Dimmaktoren enthalten kann (KNX Association cvba, 2013).

Funkbasierte KNX-Busteilnehmer weisen eine ähnliche Modularität auf, wobei hier die klassische Trennung zwischen Busankoppler, Anwendungsmodul und Software oft aufgehoben ist. Diese Geräte sind als Komplettlösungen erhältlich und können mit fest programmierter

(E-Mode) oder frei programmierbarer (S-Mode) Software ausgestattet sein. Funkgeräte sind in verschiedenen Bauformen erhältlich, darunter Unterputz-, Aufputz- und Einbaugeräte. Unterputzgeräte bestehen häufig aus Einsätzen, die Schalt-, Dimm- oder Jalousiefunktionen ermöglichen und deren Bedienung über aufgesteckte Taster erfolgt. Bei Funkkomponenten können diese Funktionen sowohl unidirektional, d. h. nur sendend (z. B. batteriebetriebene Sender wie Tür-/Fensterkontakte) als auch bidirektional, d. h. sowohl Telegramme sendend als auch empfangend ausgeführt sein. Repeater, ebenfalls bidirektionale Geräte, werden eingesetzt, um die Reichweite des Funksystems zu erhöhen.

Ergänzend zu den Geräten im Funksystem gibt es Medienkoppler, die eine Verbindung zwischen KNX-TP- und KNX-RF-Systemen herstellen. Anzeige- und Bediengeräte sowie Controller, die häufig mit Ethernet-Schnittstellen ausgestattet sind, können als Gateways fungieren und verschiedene Systeme einschließlich Funksysteme, integrieren. Darüber hinaus basiert die Spannungsversorgung eines KNX-Systems auf Schutzkleinspannung, englisch Safety Extra Low Voltage (SELV), mit maximal 29 Volt, was einen sicheren Betrieb gewährleistet. Das System ist strombegrenzt, kurzschlussfest und entspricht der Norm EN 50090. Die BUS-Leitung ist vom Stromnetz getrennt, sodass eine Berührung durch den Benutzer nicht möglich ist (KNX Association cvba, 2013).

3.2 Free@Home

3.2.1 Definition

Free@Home ist ein hybrides System von der Firma Busch-Jäger. Innerhalb des Systems wird eine Kombination aus zwei verschiedenen Verbindungsarten unterstützt. Geräte können drahtlos oder leitungsgebunden in das System integriert werden. Das System ermöglicht dem Nutzer die Steuerung und Automatisierung von Beleuchtung, Heizung, Klima, Beschattung und die Integration von Türkommunikationssystemen. Einzelne Systeme werden entweder über lokal installierte Bediengeräte oder aus der Ferne mithilfe von Smartphone- oder Tablet-Apps gesteuert. Hierbei erfolgt die Zuordnung der programmierten Funktionen ausschließlich über die hauseigene Software. Sollte zu einem späteren Zeitpunkt der Wunsch bestehen, bereits konfigurierte Funktionen zu ändern, ist dies jederzeit möglich (Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023).

3.2.2 Übertragungstechnik

Werden die Komponenten leitungsgebunden installiert, muss der Installateur einige Regeln beachten. Die Kommunikation im System erfolgt über eine BUS-Leitung, d. h. für jede Komponente des Systems ist ein Anschluss an den BUS erforderlich. Erst wenn alle Komponenten angeschlossen sind, können diese miteinander kommunizieren. Alle Geräte einschließlich des System Access Point sind als Teilnehmer des Systems zu verstehen. Eine Ausnahme bildet lediglich die Spannungsversorgung für die BUS-Leitung. Der System Access Point innerhalb der Anlage stellt die Steuerzentrale dar. Je nach Ausführung kann der Anwender bis zu 64 oder 150 Geräte in den BUS einbinden. Wird die Anzahl von 64 angeschlossenen Geräten überschritten, ist es notwendig, eine zweite Spannungsversorgung parallel an der BUS-Leitung anzuschließen. Nur so kann die Funktion des Systems gewährleistet werden.

Zur Kommunikation wird eine BUS-Leitung verwendet. Es darf nur ein für KNX zertifiziertes Buskabel (J-Y(ST)Y 2x2x0,8mm) verwendet werden. Welches Adernpaar (rot/schwarz oder gelb/blau) verwendet wird, bleibt dem Installateur überlassen. Wichtig ist jedoch, dass im gesamten System das gleiche Adernpaar genutzt wird. In der Regel wird für die Busverbindung das Adernpaar rot/schwarz verwendet. Die Verlegung der Leitung kann flexibel an die spezifische Elektroinstallation innerhalb des Gebäudes angepasst werden. Vorteilhaft ist die Verwendung unterschiedlicher Topologien bei der Verlegung. Dabei wird zwischen einer

Linienstruktur (siehe Abbildung 10), einer Baumstruktur (siehe Abbildung 11) und einer Sternstruktur (siehe Abbildung 12) unterschieden.

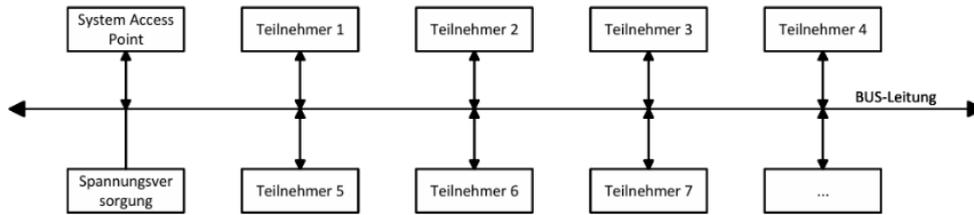


Abbildung 10: Free@Home-Linientopologie

(Quelle: Eigene Darstellung nach Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023, S. 11)

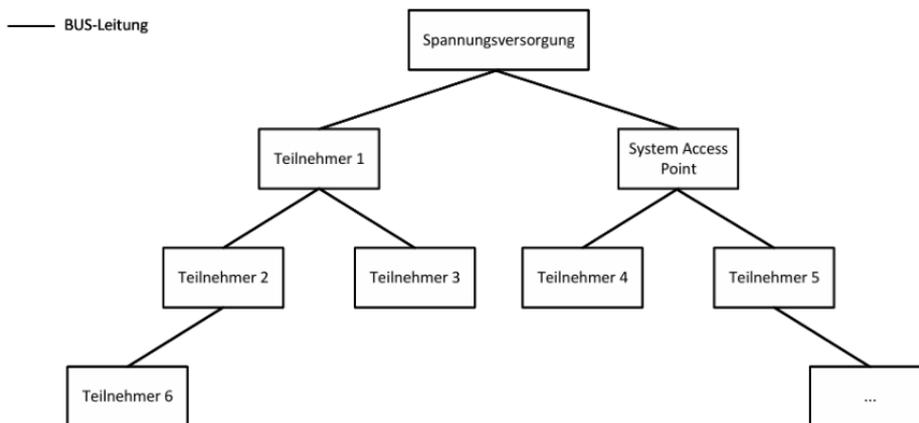


Abbildung 11: Free@Home-Baumtopologie

(Quelle: Eigene Darstellung nach Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023, S. 11)

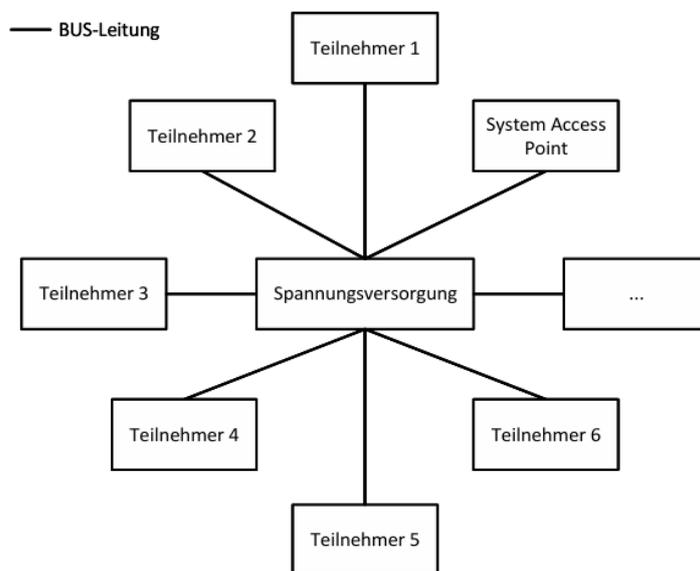


Abbildung 12: Free@Home-Sterntopologie

(Quelle: Eigene Darstellung nach Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023, S. 11)

Zu beachten ist, dass keine Ringtopologie im Gebäude installiert werden darf, keine Abschlusswiderstände am BUS erforderlich sind und Leitungslängen bzw. Abstände innerhalb der Gebäudeinfrastruktur zu berücksichtigen sind. BUS-Leitungen innerhalb eines Linien-segments dürfen die maximal zulässige Länge von 1000 m nicht überschreiten (siehe Abbildung 13). Weiterhin ist zu beachten, dass die Entfernung von der Spannungsquelle bis zum letzten Teilnehmer max. 350 m (siehe Abbildung 14) und zwischen den einzelnen Teilnehmern max. 700 m betragen darf (siehe Abbildung 15) (Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023).

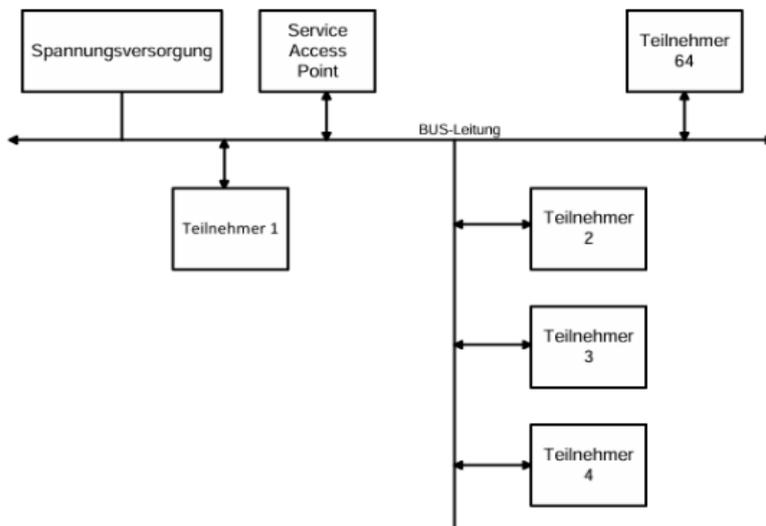


Abbildung 13: Leitungslänge innerhalb einer Linie

(Quelle: Eigene Darstellung nach Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023, S. 12)

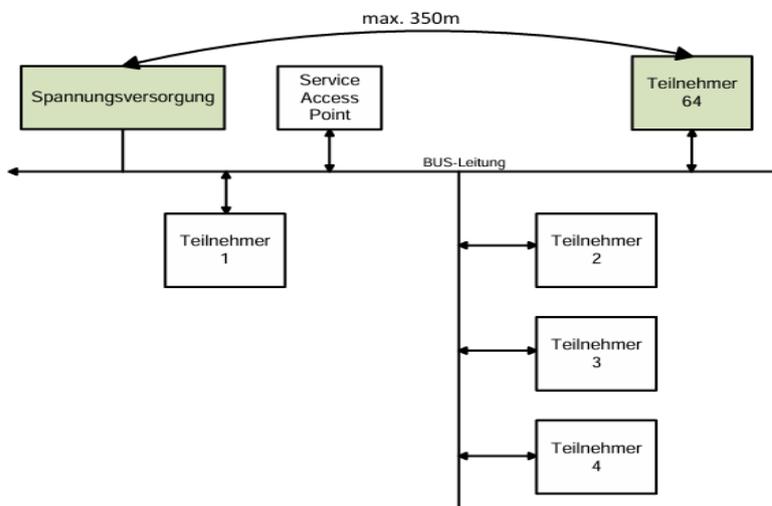


Abbildung 14: Entfernung zwischen Spannungsversorgung und letztem Teilnehmer

(Quelle: Eigene Darstellung nach Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023, S. 12)

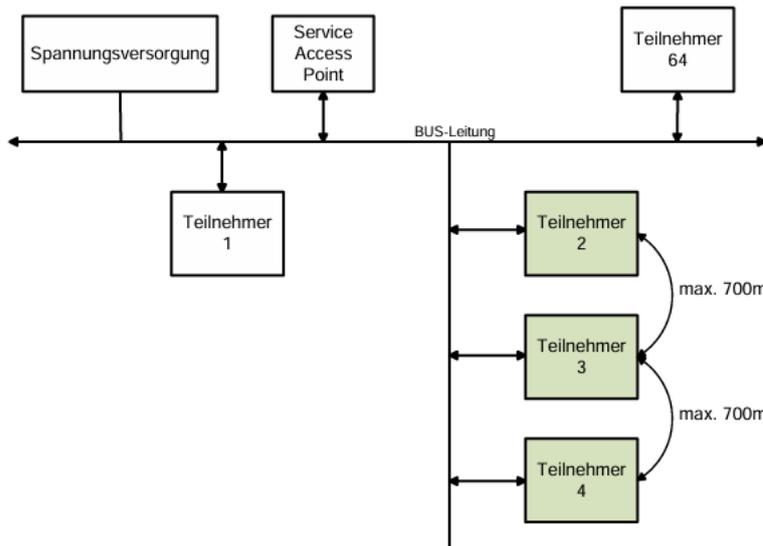


Abbildung 15: Entfernung zwischen Teilnehmern

(Quelle: Eigene Darstellung nach Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023, S. 12)

Entscheidet sich der Nutzer für den Einbau von drahtlosen Geräten in das System, läuft die gesamte Kommunikation der Teilnehmer über den Service Access Point. Wichtig für die Planung ist, dass Funkgeräte als dezentrale Geräte zur Unterputzmontage oder als Kombigeräte angeboten werden. Die Kombigeräte enthalten jeweils Sensor und Aktor in einem Gehäuse, unterstützen alle Funktionen des Systems und können leicht ausgetauscht oder nachgerüstet werden. Für die Installation ist keine separate Spannungsversorgung erforderlich, da die Versorgung der Komponenten über die Netzspannung von 230 V erfolgt. Batteriebetriebene Geräte verfügen im Gegensatz zu drahtlosen Geräten mit 230 V Netzanschluss über eine eigene Spannungsversorgung und werden nur über den Access Point miteinander vernetzt.

Die Free@Home-Wireless Variante nutzt für die drahtlose Kommunikation zwischen den Teilnehmern ein 2,4 GHz Band. Dieses Band wird auch von handelsüblichen WLAN-Routern verwendet, jedoch ist das Frequenzband von Free@Home nicht identisch. Um Störungen zu vermeiden, erstreckt sich der Funkkanal von 2.400 MHz bis 2.483 MHz. Zur sicheren Datenübertragung zwischen den Teilnehmern wird das Frequenzband in mehrere Kanäle aufgeteilt. Dabei stehen die Kanäle 1 bis 13 für WLAN und die Kanäle 11 bis 26 für die Free@Home-Übertragung zur Verfügung (siehe Abbildung 16).

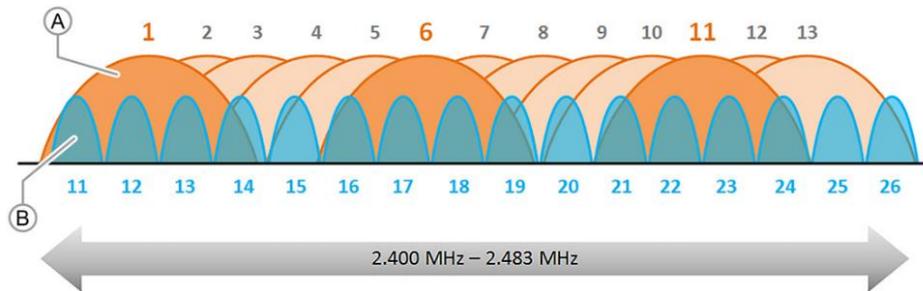


Abbildung 16: Kanalaufteilung im 2.4 GHz-Band
(Quelle: Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023, S. 18)

Innerhalb eines Gebäudes liegt die Reichweite der drahtlosen Geräte je nach baulichen Gegebenheiten zwischen 15 und 20 Metern. Eine allgemeingültige Aussage zur Reichweite kann vom Hersteller nicht angegeben werden, da z. B. Betonwände im Gegensatz zu Trockenbauwänden oder Holzdecken die Funksignale unterschiedlich dämpfen. In der Tabelle 7 sind die wichtigsten Regeln für die Installation von drahtlosen Geräten im Free@Home Standard aufgeführt.

Regeln zur Installation von drahtlosen Geräten:	
1.	Mindestens ein an 230V Stromnetz angeschlossenes Wireless-Gerät pro Raum, Etage, Treppenhaus zu installieren
2.	Zwischen zwei Geräten nicht mehr als eine Geschossdecke vorhanden
3.	Geräte nicht neben großen metallischen Objekten installieren

Tabelle 7: Regeln für Installation von free@home Wireless-Geräten
(Quelle: Eigene Darstellung nach Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023, S. 17)

Als Steuerzentrale für die drahtlosen Geräte können zwei verschiedene Access Points eingesetzt werden. Zum einen kann der System Access Point 6200 AP-101 mit maximal 64 unterstützten Funkteilnehmern bzw. TP-Teilnehmern installiert werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die neuere Version des Access Points mit der Bezeichnung 2.0 SAP/S. 13 zu installieren. Diese neue Version unterstützt max. 150 Teilnehmer. Bei der Anzahl der Teilnehmer handelt es sich um die maximale Anzahl der unterstützten Komponenten. Die Aufteilung der Teilnehmer in drahtlose und leitungsgebundene Geräte kann dabei frei gewählt werden. Bei Überschreitung der Teilnehmerzahl von 64 in der Version 2.0 SAP/S. 13 ist die Installation einer zusätzlichen zweiten Spannungsversorgung im System erforderlich.

Ein weiteres wesentliches Merkmal drahtloser Geräte ist die Kommunikation über ein Mesh-Netzwerk. In einem Mesh-Netzwerk tauscht jeder Teilnehmer mit jedem anderen Teilnehmer innerhalb des Netzwerks Daten aus. Der Austausch erfolgt entweder direkt mit dem Empfänger in Reichweite oder über mehrere Systemknoten. Unterstützt wird die Kommunikation im Free@Home-Standard durch das Routing-Verfahren. Dabei ermittelt der Service Access Point eigenständig den effizientesten Pfad für die Datenübertragung. In diesem Fall wird die Nachricht in Routing-Tabellen gespeichert und an alle Teilnehmer im Netz gesendet, die an das 230 V-Netz angeschlossen sind. Je nach Sender und Empfänger erfolgt der Transport über ausgewählte Knotenpunkte. Ausgenommen sind batteriegespeiste Geräte, da diese über keine Signalverstärkung verfügen. Um jederzeit auf Änderungen reagieren zu können, wird bei einer späteren Erweiterung des Systems mit neuen Funkkomponenten das Routineverfahren kontinuierlich fortgesetzt. Änderungen sind z. B. der Ausfall von Geräten, das Hinzufügen neuer Geräte oder auch bauliche Veränderungen mit Auswirkungen auf das System (Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023).

3.2.3 Anwendungsbereiche

Die Firma Busch-Jäger hat ihr Smart-Home-System für verschiedene Anwendungsbereiche entwickelt. Unabhängig davon, ob Kunden einen Neubau, eine Sanierung oder Renovierung planen oder einfach ihr bestehendes Gebäude smart ausbauen möchten. Für jede Situation gibt es eine passende Lösung. Generell werden alle Möglichkeiten eines Smart-Home-Systems angeboten. Das System hat jedoch eine Einschränkung. Da es über eine eigenständige Software zur Bedienung und Parametrierung verfügt, kann es nur mit Free@Home-Geräten verwendet werden. Eine Kombination mit Geräten anderer Hersteller ist nicht möglich.

Anwendungsbereiche sind die Steuerung von Beleuchtung, Rollläden/Jalousien, Heizung/Klima, intelligenten Haushaltsgeräten, Türkommunikationsanlagen, die Bereitstellung einer Präsenzfunktion und die Vernetzung von Sicherheitstechnik wie Rauchmelder, Fensterkontakte und Panikfunktion (Busch-Jaeger Elektro GmbH, 2024).

3.2.4 Komponenten

Das Free@Home-System besteht aus verschiedenen Komponenten (siehe Tabelle 8). Es ist zu beachten, dass je nach Ausführung des System Access Points bis zu 64 bzw. 150 Teilnehmer in das System integriert werden können.

Systemgeräte:	Sensoren:	Aktoren:
System Access Point	Bedienelemente	Schaltaktoren
Spannungsversorgung	Panels	Dimmaktoren
Externe Antenne	Binäreingänge	Jalousieaktoren
USB-Schnittstelle	Raumtemperaturregler (RTR)	Heizungsaktoren
	Bewegungsmelder	Fan Coil-Aktoren
	Wetterstation	Heizkörperthermostate
	Fenstermelder	DALI-Gateway
	Universalmelder	Split Unit Gateway

Tabelle 8: Geräte Free@Home

(Quelle: Busch-Jaeger Elektro GmbH, 2023, S. 7)

Sensoren und Aktoren gibt es als Unterputz- und als Reiheneinbaugeräte für den Verteilerkasten. Die Anbindung der Teilnehmer an das System kann drahtlos oder leitungsgebunden erfolgen und ist je nach Anwendung in beliebiger Kombination möglich.

Mehrere Nutzer können zeitgleich über die webbasierte Benutzeroberfläche des Access Points auf das System zugreifen und dieses sowohl über einen Computer als auch über mobile Endgeräte mit der Free@Home-App steuern. Allerdings kann es, abhängig vom Umfang der vorgenommenen Änderungen zu Verzögerungen im System kommen, da diese mehr Zeit für die Umsetzung benötigen. Daher wird empfohlen, die Benutzeroberfläche nicht von mehr als vier Personen gleichzeitig zu bedienen (Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023).

3.3 LCN

3.3.1 Definition

LCN ist ein Smart-Home-System der Firma Issendorff KG, das sich durch seinen modularen Aufbau auszeichnet und für unterschiedlichste Gebäudetypen eignet. Das System bietet eine außergewöhnlich hohe Übertragungsleistung und Zuverlässigkeit sowie einen umfangreichen Funktionskatalog. So lassen sich nahezu alle Funktionen innerhalb eines Gebäudes automatisieren. Zudem ist das System jederzeit flexibel erweiterbar und kann so an die individuellen Bedürfnisse der Nutzer angepasst werden. Besonders vorteilhaft ist die einfache Installation des Systems. Änderungen an der bestehenden Elektroinstallation sind nicht erforderlich, da LCN lediglich eine freie Ader in der vorhandenen Verkabelung nutzt. Dies reduziert den Aufwand und die Kosten erheblich.

Basis des Systems sind kleine Multifunktionsrechner zur Erfassung von Schalter- und Taster signalen. Über die integrierten Ausgänge der Module können verschiedene elektrische Verbraucher wie z. B. Beleuchtung, Ventile oder Motoren angesteuert werden. Alle Module sind über eine zentrale Leitung in der Elektroinstallation verbunden und kommunizieren über diese Leitung, um Informationen und Steuerbefehle auszutauschen. Die Module sind besonders effizient, da sie eigenständig arbeiten und weder eine separate Stromversorgung noch eine spezielle Verkabelung erfordern. Jedes Modul verfügt über mehrere Anschlüsse. Dazu gehören zwei Schaltausgänge sowie zwei bis drei unabhängige Anschlüsse für externe Hardware. Auf diese Weise können mit wenigen Modulen und einem Minimum an Verkabelung eine Vielzahl von Funktionen ausgeführt werden. Darüber hinaus verfügen alle LCN-Module über zusätzliche Sensoren, Aktoren, Timer, Regler und Rechenfunktionen, sodass automatische Steuerungen direkt vor Ort in der Anlage realisiert werden können (Issendorff KG, 2025).

3.3.2 Übertragungstechnik

Die Übertragungstechnik des LCN basiert auf einer flexiblen und leistungsfähigen BUS-Verbindung. Bereits zwei Module sind in der Lage, ohne zusätzliche Hilfsmittel ein funktionsfähiges BUS-System zu bilden, das modular erweitert werden kann. Module können sowohl einzeln, z. B. als fernbedienbarer Doppeldimmer oder zur Zutrittskontrolle als auch in großen, komplexen Anlagen eingesetzt werden. Um eine zuverlässige Rückmeldung

über den Status der Befehle zu erhalten, verwendet das System ein vierstufiges Quittierungs- und Meldesystem (siehe Abbildung 17).

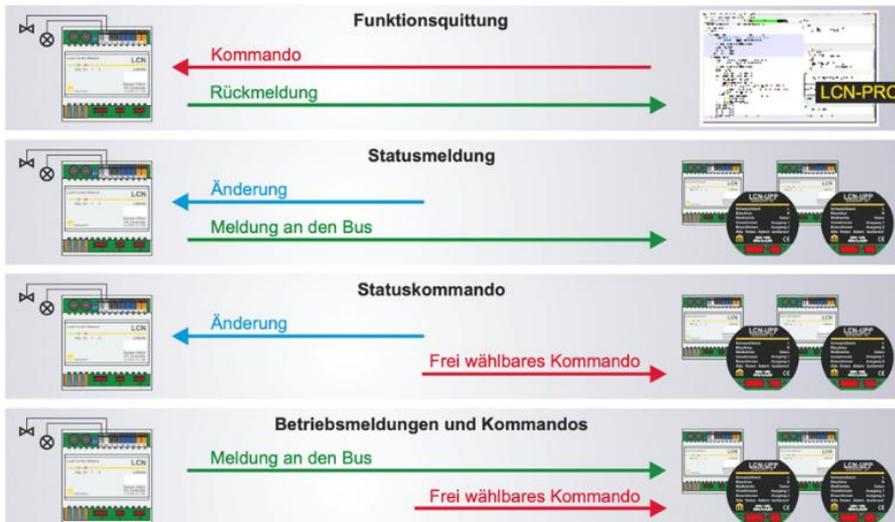


Abbildung 17: vierstufiges Quittierungs- und Meldewesen
(Quelle: Issendorf KG, 2025, S. 11)

Bei der Kommunikation zwischen Modulen ist die Quittierung einer Funktion nicht nur eine Empfangsbestätigung, sondern auch eine Bestätigung der korrekten Befehlsausführung. Statusmeldungen werden bei jeder Wertänderung an einen Eingang oder Ausgang gesendet. Damit steht der gesetzte Status dem gesamten Datenbusnetzwerk zur Verfügung. So können auf einfache Weise Übersichtsanzeigen oder PC-Anzeigeelemente konfiguriert werden, die Echtzeitinformationen über die gesamte Anlage liefern. LCN-Tableaus bieten Unterstützung für insgesamt vier Zustände (Ein, Aus, Flackern, Blinken) und ermöglichen normgerechte Meldungen für Erst- und Letztwerte. Eine hierarchische Befehlsabarbeitung ist ebenfalls möglich. Das LCN-System bietet darüber hinaus die Möglichkeit, mit dem Statusbefehl komplexe Ablaufsteuerungen zu realisieren. An den integrierten Ausgängen der Module können Befehle hinterlegt werden, die automatisch gesendet werden, sobald an einem Ausgang ein Schalt- oder Dimmvorgang stattfindet. Werden diese Befehle im Anschluss mit Timern und Tasterbefehlen kombiniert, können so komplexe Ablaufsteuerungen parametrisiert werden. Während der Kommunikation unterstützen Betriebsmeldungen den Installateur bei der Überprüfung des Systems. Sie informieren über Probleme wie Übertemperatur, Überlast oder Installationsfehler, um kritische Zustände zu vermeiden.

Jedes LCN-Modul benötigt zur Adressierung im System eine eindeutige Adresse, die über die Software LCN-Pro vergeben wird. Diese Teilnehmeradresse liegt im Bereich von 5 bis 254. Zusätzlich können Gruppenadressen vergeben werden, um mehrere Teilnehmer mit einem Telegramm anzusprechen, wobei bis zu 250 Gruppennummern pro LCN-Bussegment möglich sind. Zudem kann ein Modul maximal 12 Gruppen angehören. Die Module sind in der Lage, Informationen untereinander auszutauschen, wodurch ein intelligentes Netzwerk geschaffen wird. Mit steigender Anzahl der Module steigt auch die Leistungsfähigkeit des Netzwerkes.

Telegramme des LCN-Systems sind in ihrer Struktur flexibel und variieren in ihrer Länge (siehe Abbildung 18). Ein mehrstufiges Verfahren zur Vermeidung von Kollisionen stellt zusätzlich sicher, dass auch bei einer hohen Buslast die volle Kapazität des Systems genutzt werden kann.

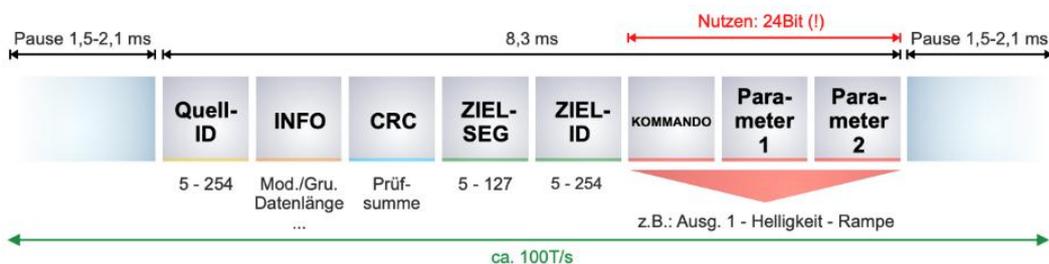


Abbildung 18: Aufbau Telegramm LCN
(Quelle: Issendorf KG, 2025, S. 21)

Übertragungstelegramme enthalten eine Vielzahl von Informationen, wie z. B. die geforderte Helligkeit einer Leuchte und die Schnelligkeit, mit der dieser Wert erzielt werden soll (siehe Abbildung 19). Da die Zeitsteuerungen nicht im Aktor vorprogrammiert sind, enthalten alle Telegramme die notwendigen Zeitinformationen. So kann jeder Aktor mehrere Zeitsteuerungen ausführen und ist in der Lage, unterschiedliche Befehle zu senden. Über die Software LCN-Pro können die Busfunktionen direkt beobachtet und dokumentiert werden, wobei die Telegramme im Klartext angezeigt werden.

Der Datentransfer erfolgt im LCN-Standard mit einer Geschwindigkeit von bis zu 100 Telegrammen pro Sekunde, was einer Datenübertragungsrate von 9600 Baud entspricht. In größeren Anlagen kann diese Geschwindigkeit durch Segmentbusse auf bis zu 5 MBd erhöht werden. Das mehrstufige Verfahren zur Kollisionsvermeidung sorgt auch hier für eine effiziente Nutzung der Buskapazität.

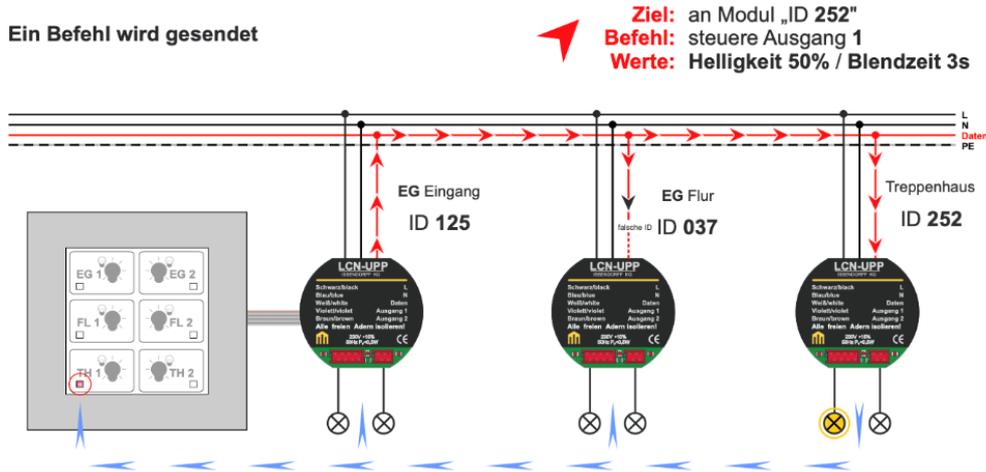


Abbildung 19: Beispielschema für eine Telegrammübertragung

(Quelle: Issendorf KG, 2025, S. 20)

Im Gegensatz zu anderen Systemen wie KNX und Free@Home kann die Datenleitung im Gebäude flexibel ohne Topologievorgaben verdrahtet werden. Die Gesamtlänge eines Bus-segments ist auf 1 km begrenzt. Mit Glasfaserkabeln sind Entfernungen bis zu 40 km möglich. Durch den Einsatz von Repeatern und Lichtwellenkopplern kann die Reichweite des Systems auf bis zu 600 km erweitert werden (Issendorf KG, 2025).

3.3.3 Anwendungsbereiche

LCN-Systeme bieten vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, die eine umfassende Automatisierung und Steuerung von Gebäuden ermöglichen. So können Gebäude komfortabel per Fernbedienung, Präsenzmelder oder App gesteuert werden. Eine wichtige Funktion ist die wettergesteuerte Hausautomation, bei der das System automatisch Sonnen- und Regenschutzmaßnahmen steuert. Darüber hinaus können individuelle Lichtszenen gespeichert und auf Knopfdruck abgerufen werden. So können mehrere Funktionen gleichzeitig ausgelöst werden, z. B. das Dimmen der Beleuchtung oder das Herunterfahren der Jalousien. Nutzer können die Beleuchtung tageslichtabhängig steuern, sodass das Kunstlicht im Raum immer an die aktuellen Lichtverhältnisse angepasst wird. Informationen wie die Innen- und Außentemperatur, die Luftqualität, der Energieertrag von Photovoltaikanlagen oder der Status der Alarmanlage werden komfortabel über Taster, eine Visualisierung oder eine App angezeigt. Insbesondere bei der Heizungssteuerung zeigt sich der Nutzen des Systems, da es eine verbrauchsoptimierte Regelung der Heizung unterstützt und so zu mehr Energieeffizienz beiträgt. Eine weitere Möglichkeit zur Energieeinsparung ist das automatische Abschalten von Endgeräten.

Für die Sicherheit in LCN-Anlagen sorgt die Funktion der Anwesenheitskontrolle mit Präsenzmeldern. Soll die Sicherheit in Gebäudeteilen erhöht werden, kann LCN mit einer personalisierten Zutrittskontrolle unter anderem über Transponder, Fingerprintsensoren oder Fernbedienungen dafür sorgen, dass nur berechtigte Personen Zutritt erhalten.

Insgesamt bieten LCN-Systeme durch ihre vielfältigen Funktionen und Einsatzmöglichkeiten eine effiziente und benutzerfreundliche Lösung für die intelligente Gebäudeautomation (Issendorf KG, o. D.).

3.3.4 Komponenten

Systemkomponenten des LCN-Systems gliedern sich in eine Vielzahl von Modulen und Erweiterungen, die eine flexible und leistungsfähige Gebäudeautomation ermöglichen. Die Basis des LCN-Systems bilden die Busmodule. Durch integrierte Mikroprozessoren können sie Sensoren abfragen, Aktoren ansteuern und mit anderen Busteilnehmern interagieren. Jedes Busmodul hat eigene Ausgänge und Anschlüsse für externe Sensoren wie Taster, Melder, Fühler sowie Erweiterungsmodule wie Relaisbausteine oder elektronische Vorschaltgeräte (EVG). Diese Module sind für verschiedene Spannungsbereiche (230 V, 110 V, 24 V) ausgelegt und gegen Netzspannungen und Impulse bis 4kV geschützt. Ein zusätzlicher Überspannungsschutz ist daher nicht erforderlich. Sie sind sowohl in einer Unterputz- als auch in einer Hutschienenversion erhältlich und können einfach in Unterputzdosen oder hinter Tastern und Steckdosen montiert werden. Ein wesentlicher Unterschied zu anderen Bussystemen ist, dass die LCN-Module standardmäßig mit Sensor- und Aktoranschlüssen ausgestattet sind. Zudem bleiben alle Einstellungen auch bei Spannungsausfall erhalten, da sie permanent im Konfigurationsspeicher abgelegt sind. Mit Hilfe der Software LCN-PRO ist es möglich, den aktuellen Zustand aller Module auszulesen und zu analysieren. Die Parametrierung des Systems erfolgt ebenfalls über LCN-PRO. Darüber hinaus bietet LCN-PRO kostenlose Updates und ermöglicht die Verwaltung beliebig vieler Projekte. Einzelne Projekte und Modelle können zur Wiederverwendung per Drag & Drop im Datenpool gespeichert werden. LCN-PRO erkennt die Versionen der Baugruppen und vermeidet so Fehler. Es gibt zwei Betriebsarten. Im Offline-Betrieb ist eine Vorkonfiguration des Systems am PC und eine Übertragung der Parametrierung zu einem späteren Zeitpunkt möglich. Beim Online-Betrieb kann die aktuelle Konfiguration direkt ausgelesen und geändert werden. Um zu verhindern, dass nicht autorisierte Personen auf die Module zugreifen, können diese passwortgeschützt werden.

Für die Kopplung des LCN-Systems mit einem PC oder anderen Geräten steht das Gerät LCN-PKU mit direktem USB-Anschluss zur Verfügung. Über das offene Kommunikationsprotokoll LCN-PCHK können Fremdsysteme in das LCN-System eingebunden werden, z. B. über eine Ethernet-Verbindung. Damit sind Fernparametrierung und Gebäudeüberwachung über das Internet möglich. Darüber hinaus ist das System mit anderen Bussystemen wie BacNet und ModBus kompatibel, was eine umfassende Integration in bestehende Infrastrukturen ermöglicht.

Das Visualisierungssystem LCN-GVS ermöglicht die Steuerung und Verwaltung von beliebig vielen LCN-Anlagen und Gebäuden über einen browserbasierten Zugriff. Mit einem PC oder Smartphone kann weltweit auf die Gebäudeinfrastruktur zugegriffen werden. Eine umfassende Benutzerkontensteuerung ermöglicht die Vergabe von Zugriffsrechten auf einzelne Gebäudeteile. Der Zugang erfolgt über gesicherte, verschlüsselte Verbindungen. Dazu stehen verschiedene Zugangskontrollverfahren wie Transponder, Fingerabdrucksensoren oder Codeschlösser zur Verfügung. Zugriffsversuche werden protokolliert und können ausgewertet werden. LCN-GVS bietet darüber hinaus eine grafische Oberfläche, über die Informationen zu Sensoren und Zuständen angezeigt und verschiedene Funktionen wie das Öffnen einer Tür oder das Aktivieren von Szenen gesteuert werden können.

Weitere Geräte des Systems, wie die Schalt- und Dimmmodule LCN-UUP oder LCN-SH, verfügen über dimmbare 230 V-Ausgänge und können verschiedene Funktionen wie Dimmen, Schalten oder die Ansteuerung von Motoren übernehmen. Das Modul LCN-HU besitzt zusätzlich vier 0-10 V DC-Ausgänge, die zur Ansteuerung von EVG oder Digital Addressable Lighting Interface-Anwendung (DALI) genutzt werden können. Sensor-Module eignen sich als kostengünstige Alternative, wenn keine 230 V-Ausgänge benötigt werden. Sie verfügen über simulierte Ausgänge, die die gleiche Funktionalität wie elektronische Ausgänge bieten, jedoch ohne die Notwendigkeit, physikalische Lasten zu schalten. Kunden können für ihre Projekte aus einem breiten Angebot an Bedienelementen wählen. Dazu gehören beispielsweise Taster in verschiedenen Ausführungen mit bis zu 12 Sensortasten, IR-Fernbedienungen und Transponderlösungen. Die Taster verfügen über LED-Anzeigen und vielfältige Steuerungsmöglichkeiten. Für spätere Erweiterungen bietet LCN dem Kunden mehrere Anschlüsse an den Busmodulen. T-Anschlüsse dienen zur Abfrage von Sensortastern und können über Adapter erweitert werden. I-Anschlüsse ermöglichen den parallelen Anschluss von Sensoren wie Temperaturfühlern oder Transponderempfängern. P-Anschlüsse ermöglichen den Anschluss von Relais und binären Sensoren an Hutschienenmodulen (Issendorf KG, 2025).

4 Vergleich der Smart-Home-Systeme

4.1 Aufbau der Systemstruktur

Der Systemaufbau ist ein entscheidender Faktor bei der Planung und Umsetzung von Smart-Home-Systemen, da die Topologie, die Anzahl der unterstützten Teilnehmer und die Anforderungen an die Leitungsverlegung je nach System stark variieren können. Die drei untersuchten Systeme KNX, Free@Home und LCN weisen dabei spezifische Unterschiede auf, die bei der Nachrüstung in Bestandsgebäuden zu berücksichtigen sind.

KNX unterstützt eine hierarchische Linien- und Bereichstopologie, die eine hohe Flexibilität und Skalierbarkeit bietet. Eine einzelne Linie kann bis zu 64 Teilnehmer umfassen, die Erweiterung über maximal 15 Bereichslinien ermöglicht theoretisch mehr als 58.000 Teilnehmer. Um die korrekte Funktion zu gewährleisten, muss in jedem Liniensegment eine Spannungsversorgung installiert werden. Im Gegensatz dazu arbeitet Free@Home ebenfalls mit Linienstrukturen, erlaubt aber keine Bereichseinteilung. Ein System Access Point dient hier als zentrale Steuereinheit und ist im System verpflichtend. Abhängig vom Access Point können bis zu 150 Teilnehmer in ein System eingebunden werden. Das LCN-System unterscheidet sich grundlegend von den beiden anderen Systemen, da es keine separate BUS-Leitung benötigt. Stattdessen wird eine freie Ader der vorhandenen Elektroinstallation als Datenleitung genutzt. Mit einer maximalen Anzahl von 250 Geräten pro Liniensegment und der Möglichkeit, bis zu 120 Liniensegmente miteinander zu vernetzen, bietet LCN einen modularen und erweiterbaren Aufbau. Auch die Reichweite der Systeme variiert. KNX und Free@Home erlauben eine maximale Busleitungslänge von 1000 Metern pro Linie, wobei die Leitungsführung als Linie, Stern oder Baum möglich ist. Ringstrukturen sind bei beiden Systemen nicht erlaubt. LCN hingegen hat keine festen Vorgaben für die Leitungsverlegung und unterstützt durch den möglichen Einsatz von Lichtwellenleitern Reichweiten von bis zu 600 Kilometern, was für besonders große Anlagen von Vorteil ist. Für drahtlose Komponenten bieten KNX und Free@Home zusätzliche Möglichkeiten. KNX benötigt für die Integration von Funkkomponenten einen RF-Medienkoppler. Im Gegensatz dazu bindet Free@Home drahtlose Geräte direkt über den Access Point ein, unter der Voraussetzung, dass in jedem Raum mindestens ein netzbetriebenes Gerät vorhanden ist. LCN hingegen unterstützt keine drahtlosen Geräte, was die Flexibilität bei der Installation einschränkt. Die Wahl der Systemstruktur hängt stark von den Projektanforderungen und den baulichen Gegebenheiten des Gebäudes ab. KNX überzeugt durch seine Flexibilität und Erweiterbarkeit mit einer Vielzahl von Geräten, die den KNX-Standard unterstützen, erfordert aber eine

sorgfältige Planung der Busleitungen und der Spannungsversorgung. Free@Home bietet eine benutzerfreundliche Alternative, ist aber durch die Begrenzung der Teilnehmer pro Access Point und die ausschließliche Unterstützung herstellerspezifischer Geräte eingeschränkt. Eine Erweiterung mit KNX-Geräten ist daher nicht möglich. Diese Eigenschaft schränkt den Einsatz in größeren Projekten ein. LCN reduziert den Installationsaufwand durch die Nutzung vorhandener Elektroinstallationen, ist jedoch durch den Verzicht auf drahtlose Geräte und die geringere Skalierbarkeit eingeschränkt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die drei betrachteten Systeme unterschiedliche Stärken und Schwächen aufweisen. Während KNX für komplexe Projekte mit hohen Skalierungsanforderungen geeignet ist, stellt Free@Home eine einfache und intuitive Lösung für mittelgroße Anlagen dar. LCN wiederum eignet sich besonders für Projekte, bei denen bestehende Elektroinstallationen genutzt werden können. Die Auswahl des geeigneten Systems sollte daher immer in Abhängigkeit von den spezifischen Projektanforderungen erfolgen (KNX Association cvba, 2013; Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023; Issendorf KG, 2025).

4.2 Handling des Systems

Alle drei Systeme bieten unterschiedliche Ansätze und Eigenschaften in der Bedienung, die ihre jeweiligen Vor- und Nachteile mit sich bringen. KNX ermöglicht eine komfortable Bedienung über Ein- oder Zweifachtaster und Bedienpanels. Durch Medienkoppler können die Geräte drahtlos vernetzt werden und die intuitive Bedienung ähnelt herkömmlichen Schaltern, was die Umstellung erleichtert. Die Konfiguration des Systems ist jedoch komplex und erfordert in der Regel einen Installateur sowie zusätzliche Software wie die ETS und ein Gateway-Modul. Free@Home bietet ebenfalls eine intuitive Bedienung mit Tastern, die handelsüblichen Schaltern ähneln. Das System ermöglicht eine einfache Steuerung über Bedienpanels, die an die Bedienung eines Tablet-PCs erinnern. Eine Konfiguration ist im Vergleich zu KNX wesentlich einfacher, da sie über die Herstellersoftware des Access Points erfolgen kann. Änderungen und Erweiterungen des Systems können bequem per App vorgenommen werden. LCN zeichnet sich durch eine Vielzahl von Bedienmöglichkeiten aus, darunter Taster, Mehrfachtaster, Bedienpanels und mobile Endgeräte. LCN unterstützt jedoch keine Funkmodule. Die Bedienung erfolgt intuitiv z. B. über Taster mit selbsterklärenden Symbolen, eine direkte Bedienmöglichkeit über ein reines Touchpanel fehlt jedoch. Zur Änderung der Konfiguration ist ein Installateur sowie die Software des Herstellers erforderlich.

Für alle drei Systeme erfolgt eine zentrale Steuerung über Module oder einen Access Point. Automatisierungsoptionen wie Zeitsteuerung, witterungsabhängige Steuerung und die Nutzung von Sensoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftqualität) sind ebenfalls bei allen drei Systemen verfügbar. Sowohl KNX als auch Free@Home bieten ähnliche Funktionen wie z. B. die Steuerung von Beschattung, Heizung und externen Aktoren (z. B. Garagentorantrieb). Free@Home ermöglicht zusätzlich die Integration von Rauchmeldern und Türkommunikationssystemen. Mit LCN lassen sich vielfältige Sicherheitsfunktionen wie Zutrittskontrolle und Panikfunktionen umsetzen. Auch das Speichern und Abrufen von Lichtszenen ist mit LCN möglich. Die Anzeige von Statusinformationen über LEDs an den Tastsensoren ist bei allen Systemen realisierbar. KNX und Free@Home bieten zusätzlich eine visuelle Darstellung auf Bedienpanels oder Apps, ergänzt durch Warn- und Fehlermeldungen. LCN integriert Wetterdaten und ermöglicht ebenfalls die Ausgabe von Informationen über Taster oder Apps, wobei die Visualisierung im Vergleich etwas eingeschränkter ist.

Insgesamt zeigt der Vergleich, dass die Systeme jeweils spezifische Stärken und Schwächen in der Handhabung aufweisen. Wie in Kapitel 4.1 hängt auch hier die Systemwahl von den genannten Nutzeranforderungen ab. Während KNX durch seinen Funktionsumfang

überzeugt, punktet Free@Home mit seiner Benutzerfreundlichkeit. LCN bietet ein breites Spektrum an Steuerungsmöglichkeiten, allerdings mit Einschränkungen bei der drahtlosen Vernetzung (KNX Association cvba, 2013; Busch-Jäger Elektro GmbH, 2023; Issendorf KG, 2025).

4.3 Kosten

Ein wichtiger Aspekt bei der Entscheidung für ein geeignetes Smart-Home-System sind die Kosten. Zur Bewertung der Umsetzungsmöglichkeiten wurden die Gesamtkosten der drei untersuchten Systeme auf Basis der erforderlichen Komponenten und der aktuellen Preise ermittelt und miteinander verglichen (siehe Tabelle 9, Anhang A). Die Preise wurden aus den Online-Shops der Voltus GmbH (2024) und Issendorff KG (o. D.) bezogen, um eine realistische Einschätzung zu gewährleisten. Grundlage für die Kostenanalyse sind die spezifischen Anforderungen des Kunden und die für das Projekt vorgesehenen Komponenten, die im Rahmen der Bedarfsanalyse (Kapitel 5.2) näher untersucht werden. Die Gesamtkosten der Systeme beinhalten die Preise für Spannungsversorgungen, Steuergeräte, Sensoren, Aktoren, Taster, Netzwerktechnik und spezielle Erweiterungsmodule.

Für Free@Home ergeben sich Gesamtkosten von 8.705,88 €, während die Kosten für KNX mit 6.898,42 € etwas niedriger ausfallen. LCN hat mit insgesamt 5.834,93 € die geringsten Kosten. Beim Free@Home-System ist jedoch zu beachten, dass die Gesamtkosten im Vergleich zu den anderen Systemen bereits zusätzliche Komponenten wie Türkommunikationsanlage und vernetzte Rauchmelder enthalten, die vom Kunden gewünscht werden (siehe Kapitel 5.2). Da KNX und LCN keine herstellereigenen Türkommunikationsanlagen anbieten bzw. keine einfache Nachrüstung garantieren können, wurden diese nicht in die Kostenaufstellung mit einbezogen. Werden die Türkommunikationsanlage und die vernetzten Rauchmelder bei dem Free@Home-System nicht nachgerüstet, ergeben sich Gesamtkosten in Höhe von 7.388,49 €. Diese Unterschiede, die sich in den Gesamtkosten widerspiegeln, sind auf verschiedene Faktoren zurückzuführen, wie z. B. die Art der benötigten Komponenten, die Anzahl der Geräte und die Preisgestaltung der Hersteller.

LCN ist durch die Nutzung der vorhandenen Elektroinstallation kostengünstiger und benötigt weniger Geräte, was die Gesamtkosten deutlich reduziert. Neben den reinen Anschaffungskosten spielen auch langfristige Aspekte eine Rolle. KNX und Free@Home bieten durch ihre modulare Erweiterbarkeit ein hohes Maß an Zukunftssicherheit. LCN hingegen ist aufgrund der fehlenden Unterstützung drahtloser Geräte und der eingeschränkten Skalierbarkeit weniger flexibel. Generell zeigt die Kostenanalyse, dass die Wahl des Systems stark von den individuellen Anforderungen und dem verfügbaren Budget abhängt. KNX eignet sich für Projekte mit hohen Anforderungen an Flexibilität und Funktionalität, während Free@Home und LCN eine praktikable Alternative für kostenbewusste Projekte darstellen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Free@Home-System eine besonders geeignete Lösung für die private Nutzung darstellt. Der Hersteller bietet vielfältige und individuelle

Anpassungsmöglichkeiten, die eine hohe Flexibilität für die Nutzer gewährleisten. Besonders hervorzuheben ist die intuitive Bedienbarkeit, die es dem Kunden ermöglicht, Änderungen an der Anlage selbstständig über eine benutzerfreundliche App vorzunehmen. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, einen Installateur oder Techniker für die Installation oder nachträgliche Funktionsanpassungen zu beauftragen, was Zeit und Kosten spart. Auch wenn die Anschaffungskosten des Systems im Vergleich zu anderen Lösungen höher sein können, wird dieser finanzielle Mehraufwand durch die geringen Folgekosten und den geringeren Aufwand bei der weiteren Nutzung ausgeglichen. Somit bietet das Free@Home-System eine optimale Kombination aus Benutzerfreundlichkeit, Flexibilität und langfristiger Kosteneffizienz, die es insbesondere für Privathaushalte attraktiv macht.

5 Projekt

5.1 Vorstellung

Bei dem in dieser Arbeit untersuchten Projekt handelt es sich um die Planung und theoretische Umsetzung der Nachrüstung eines Smart-Home-Systems in einem bestehenden Bestandsgebäude. Das als Beispielobjekt dienende Gebäude wurde im Jahr 1970 in massiver Bauweise errichtet und später durch den Anbau eines Obergeschosses erweitert. Mit einer Gesamtwohnfläche von 187,06 m² verteilt sich die Nutzung auf zwei Geschosse, das Erdgeschoss mit 97,99 m² und das Obergeschoss mit 89,07 m². Beide Etagen verfügen über getrennte Hausinstallationen, was eine unabhängige Nutzung ermöglicht. Die Wände des Gebäudes bestehen aus massivem Mauerwerk, was einerseits für eine gute Dämmung sorgt, andererseits aber Herausforderungen bei der Verlegung von Kabeln und der Signalreichweite von Funktechnologien darstellt. Auch die vorhandene Elektroinstallation entspricht nicht den heutigen Standards und bietet keine Möglichkeiten zur Integration moderner Smart-Home-Technologien. Dies macht eine umfassende Modernisierung notwendig, die neben der Erneuerung der Elektroinstallation auch die Verlegung zusätzlicher Datenleitungen sowie die Installation smarter Komponenten umfasst. Die Modernisierung der Elektroinstallation ist aufgrund des begrenzten Arbeitsumfangs nicht Gegenstand der Betrachtung. Im Fokus dieser Arbeit steht lediglich die Planung eines intelligenten und energieeffizienten Wohnraums am Beispiel des Obergeschosses im vorliegenden Bestandsgebäude. Dabei sollen Licht, Heizung, Jalousien und weitere Haushaltsfunktionen zentral steuerbar und individuell anpassbar sein. Außerdem wird bei der Planung die langfristige Erweiterbarkeit des Systems berücksichtigt, um zukünftige technische Entwicklungen einbeziehen zu können. Der Entwurf bezieht weiterhin die Bedürfnisse der Anwohner ein, wie z. B. benutzerfreundliche Bedienung und erhöhte Sicherheit durch intelligente Überwachungssysteme. Eine detaillierte Projektplanung stellt eine wesentliche Grundlage für eine mögliche spätere Realisierung dar und wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit detailliert erläutert.

5.2 Bedarfsanalyse

Die Nachrüstung eines Smart-Home-Systems erfordert eine individuelle und detaillierte Planung, die gezielt auf die spezifischen Anforderungen des Kunden abgestimmt ist. Eine fachgerechte und gewerkeübergreifende Planung spielt dabei eine zentrale Rolle, da sie alle weiteren Prozesse von der Projektierung über die Inbetriebnahme bis hin zur Prüfung und Dokumentation erheblich beschleunigen kann. Dadurch werden nicht nur Zeit und Kosten eingespart, sondern auch mögliche Missverständnisse während der Projektumsetzung vermieden.

Der erste Schritt in der Projektplanung besteht darin, die individuellen Bedürfnisse des Kunden zu ermitteln. Diese Bedürfnisse bilden die Grundlage für die Festlegung der daraus resultierenden Anforderungen, die sorgfältig spezifiziert und schriftlich festgehalten werden sollten. Dies kann formlos oder mit Hilfe von Checklisten erfolgen. Besonders wichtig ist die Berücksichtigung der unterschiedlichen Anforderungen, die sich aus der jeweiligen Nutzung des Gebäudes ergeben. So können sich die Anforderungen und Prioritäten bei einem Wohnbauprojekt deutlich von denen eines Zweckbaus unterscheiden. Durch eine sorgfältige Erhebung und Dokumentation dieser Anforderungen wird sichergestellt, dass das geplante Smart-Home-System optimal auf die spezifischen Gegebenheiten und Wünsche des Kunden abgestimmt ist. Anschließend wird auf Basis der erhobenen Anforderungen ein Lastenheft erstellt, das als zentrales Dokument für die weitere Planung dient (KNX Association cvba, 2013).

In einem Vorgespräch mit dem Kunden wurden die spezifischen Wünsche für die Nachrüstung eines Smart-Home-Systems herausgearbeitet. Tabelle 10 (siehe Anhang B) stellt die Kundenwünsche übersichtlich nach Bereichen geordnet dar. Daraus ergeben sich folgende Anforderungen des Auftraggebers. Im Bereich „Beleuchtung“ möchte der Kunde im Flur, Schlafzimmer, Arbeitszimmer, Esszimmer sowie in der Küche normale, nicht dimmbare Leuchten schalten und im Wohnzimmer und Bad dimmbare Leuchten einsetzen. Zusätzlich wünscht sich der Kunde die Möglichkeit, Lichtszenen im Wohnzimmer zu speichern und abzurufen. Eine automatische Steuerung in Abhängigkeit von Bewegung oder Umgebungshelligkeit, die Möglichkeit zum Schalten von Wandsteckdosen sowie die Messung des Energieverbrauchs von Geräten haben keine hohe Priorität. Daher werden diese Funktionen in der Anlage nicht realisiert. Bei der Heizungs- und Klimasteuerung wünscht der Kunde eine Automatisierung der Fußbodenheizung sowie Raumthermostate an den Wänden in Flur, Bad, Schlafzimmer, Arbeitszimmer und Wohn-/Esszimmer/Küche. Zusätzlich soll das System erkennen, ob die Fenster im Obergeschoss geöffnet sind und diese Information in die

Regelung einbeziehen. Ein weiterer Kundenwunsch besteht darin, bei schlechter Luftqualität gewarnt zu werden und zu erfahren, wenn ein Fehler in der Anlage auftritt. Nicht gewünscht und im System nicht umgesetzt sind Funktionen wie Heizen und Kühlen bei Abwesenheit, Steuerung der Klima- und Lüftungsanlage, Raumklima-Fernbedienung sowie die Einbindung einer Photovoltaikanlage. Der Bereich Sonnenschutz und Beschattung hat bei den Kunden einen eher geringen Stellenwert. Hier besteht lediglich der Wunsch nach Automatisierung von Rollläden. Eine automatische Steuerung in Abhängigkeit vom Lichteinfall soll die Automatisierung ergänzen. Weiterhin soll auch ein Wetterschutz integriert werden. Unschlüssig zeigte sich der Kunde bei der Integration eines Aussperrschutzes bei geöffneter Balkontür, daher wird dies bei der Planung erst einmal nicht berücksichtigt. Nicht gewünscht wird der Einbau von automatischen Gurtwicklern sowie die Integration des Sonnenschutzes in die Steuerung der Klimaanlage. Die Umsetzung der Automatisierung im Bereich Komfort und Behaglichkeit ist im Vergleich zu den bereits genannten Bereichen sehr umfangreich. Eine Türkamera mit Gegensprechanlage soll in das System integriert werden. Eine Offline-Funktion des Systems hat dabei für den Kunden eine hohe Priorität. Um die Sicherheit im Obergeschoss zu gewährleisten, möchte der Kunde einen Paniktaster im Flur und im Schlafzimmer installieren. Darüber hinaus ist ein automatisches Öffnen der Rollläden im gesamten Gebäude im Brandfall sowie die Integration einer Anwesenheitssimulation erwünscht. Über eine mögliche Integration von videoüberwachten Bereichen im Flur und Wohnzimmer äußerte sich der Kunde unentschlossen. Daher wird auch hier auf eine Umsetzung verzichtet. Für die Bedienung der Anlage hat sich der Kunde für den Einbau von Wandtastern mit Display im Bad, Schlafzimmer, Arbeitszimmer, Wohn-/Esszimmer und Küche entschieden. Im Flur soll zusätzlich ein Bedienpanel mit integrierter Touchbedienung installiert werden. Um die Steuerung der Anlage auch von einem Smartphone aus vornehmen zu können, wünscht sich der Kunde eine entsprechende Umsetzung innerhalb des Systems. Allerdings sind auch einige begleitende Komponenten für die Umsetzung des Kundenwunsches notwendig. Dazu gehören ein leistungsfähiges Heimnetzwerk mit Internetanbindung, der Einsatz batteriebetriebener Geräte wie Rauchmelder oder Fensterkontakte sowie die exklusive Nutzung von Funktionen ohne zusätzliche Kosten. Im Hinblick auf eine spätere Veränderung der Anlage durch den Kunden ist eine einfache Programmierung des Systems von Bedeutung. Sollte es dennoch einmal zu Problemen kommen, so wünscht sich der Kunde einen direkten Ansprechpartner und einen Kundensupport.

Basierend auf den Kundenanforderungen und der Analyse der Vor- und Nachteile der Systeme in Kapitel 4 wird das System Free@Home der Firma Busch-Jaeger für die Nachrüstung des Bestandsgebäudes ausgewählt. Dieses System erfüllt die Anforderungen eines Privathaushaltes besonders gut, da es einen großen Funktionsumfang bietet und durch

seine einfache und intuitive Programmierung sowohl für den Fachmann als auch für den Endnutzer leicht zu bedienen ist. Auch die spezifischen Anforderungen des Projekts waren ausschlaggebend für die Wahl von Free@Home. Sowohl die Integration einer Türkommunikationsanlage als auch die einfache Vernetzung von Rauchmeldern sind zentrale Wünsche des Kunden, die von Free@Home voll unterstützt werden. Die Alternativen KNX und LCN bieten diese Funktionen nicht in vergleichbarer Form. Andernfalls sind zusätzliche, kostenintensive Komponenten und eine aufwendigere Installation erforderlich, was sie für dieses Projekt weniger geeignet macht. Ein weiterer Vorteil von Free@Home ist die Möglichkeit, sowohl leitungsgebundene als auch drahtlose Geräte in das System zu integrieren. Dies ist besonders relevant, da einige Komponenten wie Fensterkontakte und Rauchmelder drahtlos eingebunden werden müssen. Darüber hinaus ermöglicht die App-basierte Steuerung eine flexible Anpassung und Bedienung des Systems ohne zusätzliche Fachkräfte, was langfristig Zeit und Kosten spart. Insgesamt überzeugt das Free@Home-System durch seine Benutzerfreundlichkeit, die umfangreiche Funktionalität und die perfekte Erfüllung der Kundenanforderungen, was es zur optimalen Wahl für die Nachrüstung in diesem Bestandsgebäude macht.

5.3 Komponenten

Eine Auswahl der zu verwendenden Sensoren und Aktoren erfolgt mit Blick auf eine flexible und leicht zugängliche Platzierung, sei es im Verteilereinbau, in Unterputz-, Aufputz- oder Zwischendeckenmontage. Es wird darauf geachtet, die Leitungswege kurz zu halten und den Verkabelungsaufwand zu minimieren. Dezentrale Verteilungen erweisen sich oft als vorteilhaft, da sie zukünftige Erweiterungen erleichtern. Im Verteiler werden die Geräte auf einer Hutschiene montiert und die BUS-Leitungen können wahlweise über Anschlussklemmen oder eine Datenschiene integriert werden. Wichtig ist die Trennung der Kleinspannungen (Safety Extra Low Voltage (SELV) oder Protective Extra Low Voltage (PELV)) vom KNX-System. Die Größe des Verteilers wird so gewählt, dass genügend Platz für zukünftige Erweiterungen vorhanden ist. Geräte mit hoher Wärmeentwicklung werden im oberen Bereich des Verteilers angeordnet, um die Luftzirkulation zu optimieren. Für eine bessere Übersichtlichkeit erfolgt im Anschluss eine getrennte Anordnung von Busgeräten und konventionellen Stromgeräten.

Abhängig von den Anforderungen werden die Geräte auf Putz, in abgehängten Decken oder in Unterputzdosen montiert. Bei Zwischendeckeninstallationen wird eine ausreichende Belüftung sichergestellt, um Wärmestau zu vermeiden. Für Unterputzinstallationen kommen standardisierte Dosen gemäß DIN VDE 0606-1 oder DIN 49073-1 zum Einsatz. Innerhalb des Gebäudes wird die Leitungsführung häufig gemeinsam mit Starkstromleitungen ausgeführt. Dabei sind die Vorgaben der DIN 18015-3 zu beachten. Abhängig von der Gebäudestruktur kann die Verkabelung decken- oder fußbodenorientiert ausgeführt werden. BUS-Leitungen werden entweder sternförmig oder in Linie geführt, wobei Haupt- und Unterverteiler stets in das Busnetz integriert werden. Größere Gebäudebereiche oder Stockwerke werden üblicherweise sternförmig mit dem Hauptverteiler verbunden, der als zentraler Knotenpunkt für alle Netzwerke fungiert. Für die drahtlose Übertragung können auch Funklösungen zum Einsatz kommen, deren Reichweite jedoch durch bauliche Gegebenheiten wie Wände, Möbel oder Decken eingeschränkt ist. Diese Einflüsse dämpfen das Signal und erfordern eine sorgfältige Auswahl der Montageorte. Wenn die Reichweite nicht ausreicht, können Repeater eingesetzt werden, um die Signalübertragung zu unterstützen (KNX Association cvba, 2013).

Basierend auf den Anforderungen aus Kapitel 5.2 wurde eine detaillierte Planung erstellt, die in Tabelle 9 (siehe Anhang A) die benötigten Geräte den Räumen im Obergeschoss zuordnet. Diese Tabelle gibt einen Überblick über die für das Smart-Home-System vorgesehenen Komponenten in den einzelnen Räumen. Dabei wurden sowohl die Anzahl als

auch der spezifische Einsatzzweck der Geräte berücksichtigt. Die aufgeführten Kosten wurden bereits im Kapitel 4.3 betrachtet. Eine Aufteilung der einzelnen Geräte erfolgte nach einem im Vorfeld von dem Installateur festgelegtem Schema. Der Abstellraum mit dem Verteilerschrank und dem Heizungsverteiler dient als zentraler Knotenpunkt im System. Alle Hauptkomponenten der Elektroinstallation sowie des Smart-Home-Systems sind im Verteilerschrank untergebracht. Hauptkomponenten des Smart-Home-Systems sind unter anderem die Spannungsversorgung, die Aktoren sowie der System Access Point. Das System entspricht somit einem hybriden System, welches als Sterntopologie aufgebaut wird.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Sicherheit. Aufgrund der Vorgabe werden in jedem Raum Rauchmelder sowie an Fenstern drahtlose batteriebetriebene Fensterkontakte installiert. Lediglich im Badezimmer wird kein Rauchmelder angebracht. Wie in der Bedarfsanalyse (Kapitel 5.2) dargestellt, wünscht der Kunde die Installation von Paniktastern. Somit erfolgt die fachgerechte Umsetzung mit Hilfe eines 1fach Tastsensors. Ebenfalls soll für eine komfortable Steuerung von Beleuchtung, Rollläden und Heizung in den Räumen: Badezimmer, Schlafzimmer, Arbeitszimmer sowie im Wohnzimmer ein 6fach bzw. 10fach Wandtaster verbaut werden. Im Flur ist anstelle eines Wandtasters ein 10-Zoll-Touchpanel vorgesehen. Dieses bietet die Möglichkeit, alle Informationen des Systems abzurufen und zu steuern und dient als Inneneinheit für die Türkamera/Gegensprechanlage. Die dazugehörige Außeneinheit wird an der Gartentür im Außenbereich installiert. Um Wetterdaten für Regelungen innerhalb des Systems berücksichtigen zu können, wird eine Wetterstation im Außenbereich in das System integriert. Diese Wetterstation ermöglicht es z. B. bei auftretendem Unwetter Rollläden rechtzeitig zu schließen bzw. dem Bewohner über geöffnete Fenster im Obergeschoss zu informieren. Im Wohnzimmer wurde ein besonderes Augenmerk auf die Beleuchtungssteuerung gelegt, da dieser Raum als zentraler Aufenthaltsbereich dient. Hier sind dimmbare Lichtquellen vorgesehen, welche die Möglichkeit bieten, in konfigurierte Szenen eingebunden zu werden.

5.4 Planung und Umsetzung

Nach der detaillierten Bedarfsanalyse (Kapitel 5.2) und der Auswahl sowie Zuordnung der benötigten Komponenten (Kapitel 5.3) wird in diesem Abschnitt die geplante Umsetzung beschrieben. Dabei wird erläutert, wie die Installation und Vernetzung der Geräte sowie die anschließende Inbetriebnahme des Smart-Home-Systems durchgeführt werden könnte. Die Umsetzung erfolgt als theoretisches Modell und berücksichtigt mögliche Herausforderungen und Besonderheiten, die bei der praktischen Ausführung auftreten könnten.

Mit der Prüfung der baulichen und technischen Voraussetzungen des Obergeschosses beginnt die Planung der Installation. Hierbei wird insbesondere der bauliche Zustand der Wände und der Geschossdecke begutachtet, um sicherzustellen, dass die erforderlichen Leitungen sicher verlegt und die Geräte entsprechend montiert werden können. Bei der Modernisierung der vorhandenen Elektroinstallation werden die geltenden VDE-Bestimmungen, technischen Verordnungen und Betriebssicherheitsvorschriften berücksichtigt (KNX Association cvba, 2013). Die Planung sieht vor, dass der vorhandene Elektroverteilerschrank erweitert und ein Heizungsverteilerschrank eingebaut wird, da die vorhandenen Heizkörper durch eine Fußbodenheizung ersetzt werden. Für die Verlegung der Leitungen, bestehend aus KNX-BUS-Leitungen, Netzkabeln und Stromleitungen, wird ein Verlegeplan erstellt. Die Leitungen werden bodenorientiert in Leerrohren zusammen mit den Heizungsrohren der Fußbodenheizung verlegt. Dabei wird eine Sterntopologie vorgesehen, bei der der Abstellraum mit dem Verteilerschrank als zentraler Sternpunkt dient. Eine Besonderheit bei der Leitungsverlegung ist die Einhaltung der Normen zur Trennung von BUS- und Starkstromleitungen. Sie können entweder mit einem Mindestabstand von 4 mm oder durch Isolationsmaßnahmen wie Trennsteg oder Isolierschläuche umgesetzt werden. Nach der Verlegung der Leitungen mit Hilfe von Isolierschläuchen wird der Boden mit einer Schicht Betonestrich überzogen (KNX Association cvba, 2013). Die Netzwerkinfrastruktur wird zentral über einen Netzwerkschrank auf dem Dachboden organisiert. In diesem Schrank befindet sich ein Netzwerkschalter, über den alle Netzwerkdosen in den Zimmern mit dem Heimnetzwerk verbunden sind. Eine Ausnahme bildet das Badezimmer, in dem keine Netzwerkdose vorgesehen ist. Der Verteilerschrank erhält ebenfalls eine direkte Netzwerkverbindung, die den Service Access Point an das Heimnetzwerk anbindet. Auf diese Weise kann das System vom Kunden einfach eingerichtet und verwaltet werden.

Vor der Installation der Geräte erfolgt eine detaillierte Prüfung der herstellerspezifischen Vorgaben. Dabei werden Aspekte wie der geeignete Montageort, die Einhaltung von Abständen und die Verkabelung der Geräte berücksichtigt. Diese Vorbereitung ist

entscheidend, um eine fehlerfreie Funktion der Komponenten zu gewährleisten. Um den individuellen Anforderungen des Kunden gerecht zu werden, wird die Installation der Geräteraumspezifisch geplant. Aufgrund des Umfangs dieser Arbeit wird die Installation der Smart-Home-Komponenten am Beispiel des Schlafzimmers detailliert beschrieben. Die Pläne für die Installation der Geräte in Flur, Küche, Esszimmer, Wohnzimmer, Arbeitszimmer und Bad sind im Anhang C unter den jeweiligen Abbildungen zu finden.

Die Umsetzung beginnt im Abstellraum, da dieser als zentraler Knotenpunkt und Schnittstelle zu allen Räumen im Obergeschoss dient. Im Abstellraum (siehe Anhang C, Abbildung 24) werden zwei getrennte Verteilerschränke installiert, um die Elektroinstallation von den Smart-Home-Komponenten zu trennen. Der erste Schaltschrank enthält die klassischen Elektrokomponenten wie Stromzähler, Fehlerstromschutzschalter und Sicherungen. In dem zweiten Schrank sind die Systemkomponenten des Smart-Home-Systems untergebracht. Dazu gehören unter anderem Dimm- und Schaltaktoren, der Service Access Point und die Steuerzentrale für die Türkommunikation. Zur individuellen Steuerung der Heizkreise in den Räumen wird der neu installierte Heizungsverteilerschrank mit einem Heizungsaktor und Stellantrieben ausgestattet. Ein zentrales 10-Zoll-Touchpanel, das als Hauptsteuerung für das gesamte System dient und auch die Türkommunikation ermöglicht, wird im Flur installiert (siehe Anhang C, Abbildung 25). Vervollständigt wird die Türkommunikation durch eine Außenstation an der Haustür. Für die Beleuchtungssteuerung und die Panikfunktion erhält der Flur zusätzlich zwei 1fach Taster. Der größte Bereich des Obergeschosses, bestehend aus Wohnzimmer, Esszimmer und Küche (siehe Anhang C, Abbildung 26), erfordert eine umfangreiche Ausstattung. Hier wird ein 10fach-Wandtaster zur Steuerung der verschiedenen Beleuchtungsgruppen installiert. Drei bereits verbaute motorisierte Velux-Rollläden für die Dachfenster sowie weitere Rollladenmotoren für die Balkontür und die Fenster werden eingebunden. Um die Automatisierung des Systems zu unterstützen, wird eine Wetterstation mit BUS-Anschluss oberhalb am Hausgiebel angebracht. Diese erfasst Wetterdaten, die für Funktionen wie die Beschattungssteuerung genutzt werden können. Zur Sicherheit werden zwei Rauchmelder und sechs Fensterkontakte installiert. Im Arbeitszimmer (siehe Anhang C, Abbildung 27) werden ein 6fach Wandtaster sowie zwei Rollladenmotoren und Fensterkontakte montiert. Ein Rauchmelder ergänzt die Sicherheitsausstattung des Raumes. Neben der Tür des Badezimmers (siehe Anhang C, Abbildung 28) wird ein 6fach-Wandtaster installiert, der den Heizkreis, die Beleuchtung und die Rollläden steuert. Zusätzlich werden ein Fensterkontakt und ein Rollladenmotor integriert.

Das Schlafzimmer erhält eine ähnliche Ausstattung wie die zuvor beschriebenen Räume. Eine Übersicht aller für diesen Raum erforderlichen Geräte mit Anzahl, Bezeichnung und Funktion ist in Tabelle 9 dargestellt. Die Verkabelung erfolgt nach dem zuvor erstellten Verlegeplan für die Elektroinstallation. Dabei wird die BUS-Leitung sowie die 230 V Zuleitung für den Rollladenmotor im Bereich der Tür in den Raum geführt (siehe Abbildung 20 und 21). In den Wänden 2 und 3 erfolgt die Verlegung der Leitungen durch Unterputzverlegung mittels Leerrohre. Dadurch wird eine optimale Integration der Geräte gewährleistet und die baulichen Gegebenheiten berücksichtigt. Abbildung 20 veranschaulicht die Position des 6fach-Wandtasters und des 1fach-Tasters. Der 1fach-Taster wird als Unterputzgerät neben dem Bett montiert und dient in diesem Zimmer als Paniktaster. In Abbildung 21 sind der Rollladenmotor im Rollladenkasten sowie dessen 230 V Zuleitung zu sehen. Ergänzend dazu verdeutlicht Abbildung 22 die Position der Deckenleuchten und des Rauchmelders. Für die Installation des Rauchmelders an der Decke und des Fensterkontaktes am Fensterflügel ist keine Leitungsverlegung erforderlich, da beide Geräte über eine Batterie mit Spannung versorgt werden.

Anzahl	Gerät	Funktion
1	Wandtaster 6fach mit Raumtemperaturregler (SBC-F-6.0.11-84)	- Aktor (Schalter) für Beleuchtung, Heizung, Rollladen - Sensor für Luftqualität, Luftfeuchte
1	Rollladenmotor (3T45-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	- Rollladenantrieb
1	Rauchmelder (6833/01-84)	- Warnen vor Brandrauch
1	Fensterkontakt (6222/2AP-64-WL)	- Sensor für Öffnungszustand des Fensters
2	1fach Tastsensor (6211/1.1)	- Schalten der Panikfunktion

Tabelle 9: Geräteübersicht Schlafzimmer

(Quelle: Eigene Darstellung)

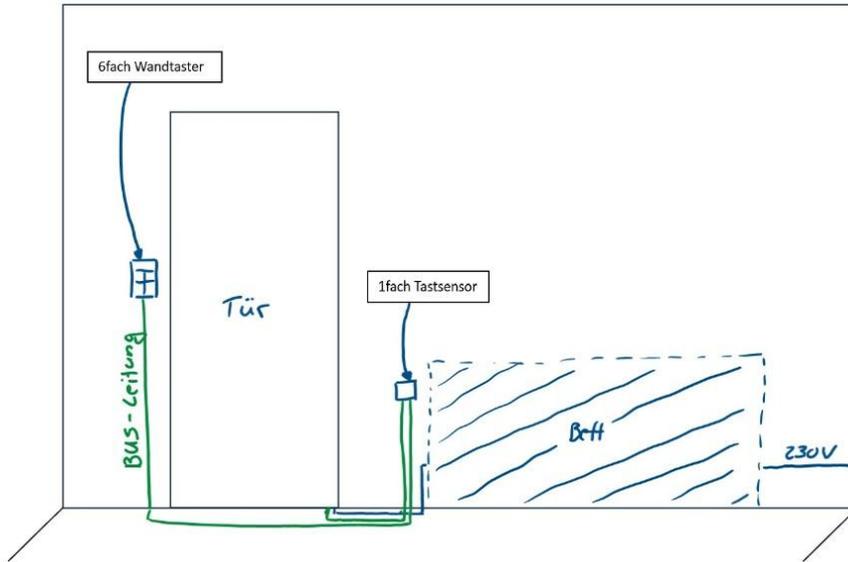


Abbildung 20: Wand 2 Schlafzimmer
(Quelle: Eigene Darstellung)

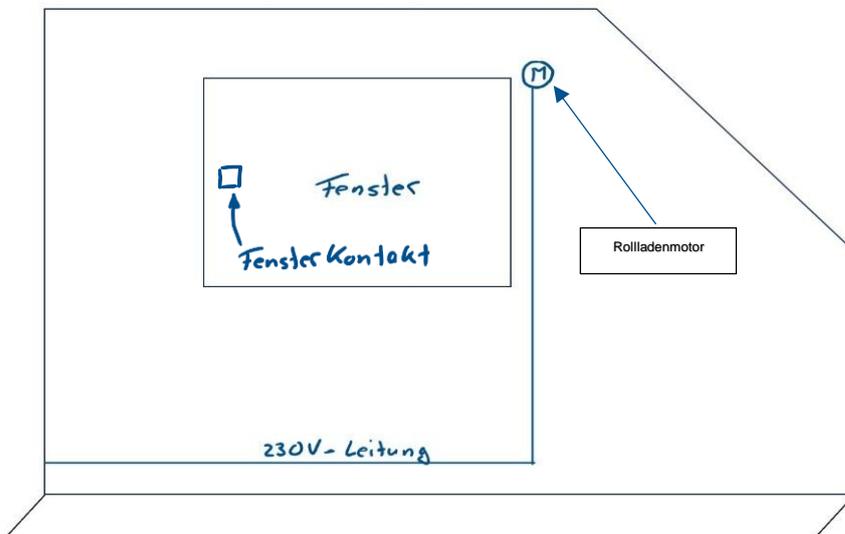


Abbildung 21: Wand 3 Schlafzimmer
(Quelle: Eigene Darstellung)

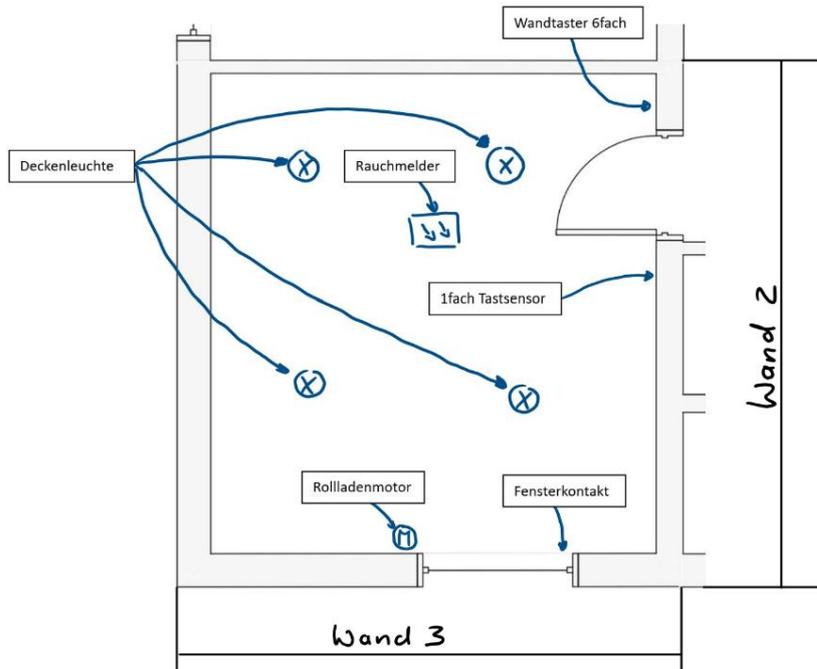


Abbildung 22: Grundriss Schlafzimmer
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die geplante Inbetriebnahme der Anlage erfolgt über den Service Access Point im Verteilerschrank. Dieser ermöglicht die intuitive Einrichtung aller Geräte und Funktionen über ein Smartphone, Tablet oder PC. Der Service Access Point bietet zudem die Möglichkeit, neue Geräte problemlos zu integrieren oder Funktionen anzupassen. Für die Einbindung der drahtlosen Komponenten wie Fensterkontakte und Rauchmelder wird ein USB-Alarmstick verwendet, der die drahtlose Kommunikation ermöglicht.

Während der theoretischen Planung wurden mögliche Herausforderungen berücksichtigt. Aufgrund der Vielzahl von Leuchtengruppen könnte die Beleuchtungssteuerung im Wohnbereich eine komplexe Parametrierung erfordern. Ähnliches gilt für die Heizungssteuerung im kombinierten Wohn-, Ess- und Küchenbereich, der aus mehreren Heizkreisen besteht. Durch die ausschließliche Verwendung von motorisierten Rollläden ist die Beschattungssteuerung sehr gut realisierbar. Abschließend wird die gesamte Anlage dokumentiert und alle relevanten Informationen dem Kunden zur Verfügung gestellt. Mit der geplanten Umsetzung werden alle Anforderungen erfüllt und eine solide Basis für die Nachrüstung eines Smart-Home-Systems in einem bestehenden Gebäude geschaffen. Für die gesamte Nachrüstung mit dem Smart-Home-System des Herstellers Busch-Jäger mit allen vom Kunden gewünschten Anforderungen würden sich Gesamtkosten in Höhe von 8.705,88 € ergeben. Im nächsten Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und eine abschließende Bewertung vorgenommen.

6 Fazit

6.1 Beantwortung der Forschungsfrage

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Forschungsfrage, wie die Smart-Home-Systeme KNX, LCN und Free@Home in einem Bestandsgebäude nachgerüstet werden können. Dabei wurde auf die Besonderheiten, Vor- und Nachteile näher eingegangen und die Umsetzung des Projektes anhand eines Systems vorgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nachrüstung von Smart-Home-Technologien in Bestandsgebäuden grundsätzlich technisch machbar ist, jedoch stark von den individuellen Gegebenheiten abhängt.

KNX erweist sich besonders geeignet für gewerblich oder industriell genutzte Gebäude, in denen eine umfassende kabelgebundene Installation möglich ist. Das System umfasst eine breite Auswahl von Geräten unterschiedlicher Hersteller, wodurch die Kosten eher im höheren Bereich liegen. Allerdings bietet dieses System dadurch auch eine hohe Flexibilität und Zukunftssicherheit. Free@Home hingegen ermöglicht eine einfachere und kundenindividuelle Umsetzung, insbesondere wenn funkbasierte Lösungen gefragt sind. Dieses System wird vor allem für Privatkunden angeboten, da das System nur maximal 150 Geräte miteinander verbinden kann. Die Inbetriebnahme oder Anpassung von Funktionen kann über eine App gesteuert werden. Alle Geräte kommen direkt vom Hersteller, wodurch die Auswahl geringer, die Komplexität jedoch niedriger ist. Alle Funktionen können vom Nutzer selbst umgesetzt werden, sodass kein Installateur oder Techniker benötigt wird. LCN konnte durch seine einfache Handhabung und seinen modularen Aufbau überzeugen, eignet sich aber eher für Projekte mit begrenzten Anforderungen. Der Hersteller bietet nur eine begrenzte Anzahl von Geräten an, die kostengünstiger sind, aber nicht alle Funktionen abdecken. Nach Abwägung der Anforderungen sowie der Vor- und Nachteile wurde das System Free@Home für die Nachrüstung des Bestandsgebäudes ausgewählt und die Umsetzung an diesem Beispiel konzipiert.

Die praktische Umsetzung der Nachrüstung im untersuchten Bestandsgebäude hat gezeigt, wie wichtig eine detaillierte Planung und die Abstimmung auf die individuellen Anforderungen der Nutzer sind. Durch die Kombination von kabelgebundenen und funkbasierten Lösungen konnte eine vollständige Integration von Funktionen wie Beleuchtung, Heizung, Sicherheit und Beschattung realisiert werden. Herausforderungen wie die Parametrierung mehrerer Heizkreise und die Einbindung zahlreicher Leuchtengruppen im Wohnbereich

wurden durch flexible Planung und gezielte Anpassungen gelöst. Zusammenfassend konnte die Forschungsfrage im Laufe der Arbeit beantwortet werden (Kapitel 5), indem aufgezeigt wurde, dass die Nachrüstung eines Smart-Home-Systems in einem Bestandsgebäude nicht nur technisch möglich, sondern auch an unterschiedliche Nutzungsanforderungen anpassbar ist. Die Ergebnisse dieser Arbeit bieten eine fundierte Grundlage für die Planung und Umsetzung zukünftiger Nachrüstungsprojekte.

6.2 Kritische Würdigung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Nachrüstung eines Smart-Home-Systems in einem Bestandsgebäude unter Berücksichtigung individueller Kundenanforderungen erfolgreich realisiert werden kann. Die theoretischen Analysen und die praktische Umsetzung verdeutlichen, dass Systeme wie KNX, LCN und Free@Home flexibel an unterschiedliche Bedürfnisse angepasst werden können. Gleichzeitig konnten praxisnahe Lösungen für typische Herausforderungen bei der Nachrüstung aufgezeigt werden, die als wertvolle Grundlage für zukünftige Projekte dienen. Im Laufe des Projekts traten jedoch auch Herausforderungen auf, die die Umsetzung komplexer gestalteten als erwartet. Insbesondere die Integration der Heizungssteuerung in einen kombinierten Wohnbereich mit mehreren Heizkreisen erforderte einen erhöhten Planungsaufwand. Ebenso zeigte sich bei der Parametrierung der Beleuchtungssteuerung in einem großen Raum, dass detaillierte Anpassungen notwendig waren, um die spezifischen Anforderungen des Kunden vollständig zu erfüllen. Trotz dieser Herausforderungen konnten durch flexible Planung und gezielte Nachjustierung zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden.

Ein kritischer Punkt ist die eingeschränkte Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Projekte. Die Arbeit konzentrierte sich auf die Nachrüstung eines ausgewählten Smart-Home-Systems in einem spezifischen Gebäude mit besonderen baulichen Gegebenheiten, weshalb eine direkte Anwendung auf andere Szenarien nur bedingt möglich ist. Insbesondere unterschiedliche technische Anforderungen, Budgetrahmen oder Gebäudetypen können die Anwendbarkeit einschränken. Positiv hervorzuheben sind die klare Strukturierung des Projektes, die systematische Bedarfsanalyse und die detaillierte Planung der Komponenten. Diese Vorgehensweise ermöglichte es, alle Anforderungen des Kunden in die Umsetzung einfließen zu lassen und eine voll funktionsfähige Smart-Home-Installation zu planen. Dennoch wäre es sinnvoll gewesen, alternative Technologien wie z. B. reine Funklösungen näher zu betrachten, um die Ergebnisse weiter zu differenzieren. Auch die langfristige Erweiterbarkeit des Systems könnte in zukünftigen Projekten intensiver untersucht werden, da diese eine entscheidende Rolle für die Nachhaltigkeit und Flexibilität spielt.

Bedingt durch die Thematik der Arbeit stand zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit nur eine begrenzte Menge an Fachliteratur zur Verfügung, was die Ausarbeitung erschwerte. Eine Anpassung der Gliederung bzw. eine Kürzung des theoretischen Teils hätte möglicherweise dazu beigetragen, noch auf die Elektroinstallation und Leitungsverlegung einzugehen, die nun aufgrund des Umfangs nicht mehr berücksichtigt werden konnte.

Insgesamt zeigt die Arbeit, dass eine durchdachte Planung und eine schrittweise Umsetzung wesentliche Erfolgsfaktoren für die Nachrüstung eines Smart-Home-Systems sind. Die gewonnenen Erkenntnisse bieten eine wertvolle Grundlage für ähnliche Projekte, sollten aber immer an die spezifischen Anforderungen und Rahmenbedingungen angepasst werden. Gleichzeitig verdeutlichen die Ergebnisse die Relevanz individueller Planungsprozesse. Sie zeigen, dass die drei vorgestellten Systeme unterschiedliche Stärken haben, die je nach Anforderung genutzt werden können.

6.3 Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die Nachrüstung eines Smart-Home-Systems in einem Bestandsgebäude technisch realisierbar ist und flexibel auf die individuellen Anforderungen der Kunden eingegangen werden kann. Für die Zukunft zeichnen sich zahlreiche Perspektiven in der Entwicklung des Smart Home ab. Ein wesentlicher Aspekt ist die fortschreitende Integration neuer Technologien. So könnten z. B. künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen eine intelligenterere und autonomere Steuerung von Smart-Home-Systemen ermöglichen. Damit könnten Systeme künftig nicht nur auf Befehle des Nutzers reagieren, sondern durch Datenanalyse und Mustererkennung eigenständig Entscheidungen treffen. Auf diese Weise könnte z. B. der Energieverbrauch optimiert oder die Sicherheit erhöht werden. Darüber hinaus könnte die Erweiterbarkeit des installierten Systems in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Die Möglichkeit, das Smart-Home-System um neue Komponenten oder Funktionen wie intelligente Energiespeicher und Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge zu erweitern, bietet spannende Perspektiven. Eine solche Entwicklung könnte insbesondere die Nachhaltigkeit und Energieeffizienz weiter steigern.

Abschließend zeigt die Arbeit, dass der Bereich der Smart-Home-Nachrüstung weiterhin großes Potenzial für technische und wissenschaftliche Fortschritte bietet. Für zukünftige Projekte stellt sich die Frage, wie Smart-Home-Systeme noch besser an verschiedene Gebäudetypen angepasst werden können. Während sich die vorliegende Arbeit auf ein Einfamilienhaus konzentrierte, könnten weitere Studien untersuchen, wie ähnliche Systeme in Mehrfamilienhäusern, Bürogebäuden oder denkmalgeschützten Gebäuden realisiert werden können. Hierbei könnten auch kostengünstigere Alternativen oder rein funkbasierte Lösungen näher beleuchtet werden. Forschungen könnten sich insbesondere auf die Verbesserung der Kompatibilität zwischen unterschiedlichen Herstellern und Systemen, die Reduzierung von Kosten oder die Entwicklung noch benutzerfreundlicherer Schnittstellen konzentrieren. Die Ergebnisse dieser Arbeit bilden eine solide Grundlage, um diese Themen weiterzuverfolgen und die Nachrüstung von Smart-Home-Technologien weiter zu optimieren.

Literaturverzeichnis

- Busch-Jaeger Elektro GmbH. (2024). *Haussteuerung Busch-free @home*. (Busch-Jaeger Elektro GmbH) Abgerufen am 05.11.2024 von <https://www.busch-jaeger.de/systeme/busch-freeathome>
- Busch-Jäger Elektro GmbH. (05.01.2023). Systemhandbuch Busch-free@home. Lüdenscheid, Nordrhein-Westfalen, Deutschland. Abgerufen am 05.11.2024
- Fromm-Wittenberg, M. (2024). Dezentrale Systeme. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, & M. Westermeier, *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 57). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 04.10.2024
- Fromm-Wittenberg, M. (2024). Funkbasierte Systeme. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 68-69). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 06.10.2024
- Fromm-Wittenberg, M. (2024). Hybride Systeme oder Mixformen. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, & M. Westermeier, *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 58). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 04.10.2024
- Fromm-Wittenberg, M. (2024). Leitungsgebundene Systeme. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 66-68). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 05.10.2024
- Fromm-Wittenberg, M. (2024). Systemauswahl. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 65-66). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 05.10.2024
- Fromm-Wittenberg, M. (2024). Technische Voraussetzungen für ein Smart Home. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 59-65). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 05.10.2024
- Fromm-Wittenberg, M. (2024). Zentrale Systeme. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 56-57). Freiburg: Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 02.10.2024

- Geburek, F. (2024). Automatisierter Wechselbetrieb zwischen Heizen und Kühlen. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 212-213). Freiburg: Haufe-Lexware GmbH & Co KG. Abgerufen am 04.11.2024
- Geburek, F., & Hohorst, A. (2024). Energieeinsparung und Umweltfreundlichkeit. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 215-217). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 04.11.2024
- Geburek, F., & Hohorst, A. (2024). Steuerung oder Verbindung von Smart Homes zur Wärmepumpe. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 210-211). Haufe-Lexware GmbH & Co KG. Abgerufen am 04.11.2024
- Geburek, F., & Hohorst, M. (2024). Thermostate und Temperaturregelung. In M. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Hohorst (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 206-208). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 04.11.2024
- Grün, F. O. (2022). BESCHATTUNG: SICHT UND SONNENSCHUTZ. In F. O. Grün, *HANDBUCH SMART HOME Planung - Technik - Kosten - Sicherheit* (S. 77-79). Stiftung Warentest, Berlin. Abgerufen am 27.12.2024
- Grün, F. O. (2022). Die Steuerung: Zentral oder Dezentral? In F. O. Grün, & B. Stiftung Warentest (Hrsg.), *Handbuch Smart Home Planung - Technik - Kosten - Sicherheit* (S. 26-29). Abgerufen am 10.10.2024
- Grün, F. O. (2022). KLIMA: RICHTIG HEIZEN, KÜHLEN, LÜFTEN. In F. O. Grün, *HANDBUCH SMART HOME Planung - Technik - Kosten - Sicherheit* (S. 80-89). Stiftung Warentest, Berlin. Abgerufen am 27.12.2024
- Grün, F. O. (2022). LICHT MEHR ALS NUR BELEUCHTUNG. In F. O. Grün, *HANDBUCH SMART HOME Planung - Technik - Kosten - Sicherheit* (S. 62-71). Stiftung Warentest, Berlin. Abgerufen am 27.12.2024
- Grün, F. O. (2022). Sender und Empfänger. In F. O. Grün, *Handbuch Smart Home Planung - Technik - Kosten - Sicherheit* (S. 22-26). Stiftung Warentest, Berlin. Abgerufen am 10.10.2024
- Grün, F. O. (2022). VIDEOÜBERWACHUNG: VOLL IM BILD. In F. O. Grün, *HANDBUCH SMART HOME Planung - Technik - Kosten - Sicherheit* (S. 111-117). Stiftung Warentest, Berlin. Abgerufen am 27.12.2024

- Hohorst, A. (2024). Beleuchtung. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, & M. Westermeier, *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 80-87). Haufe-lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 06.10.2024
- Hohorst, A. (2024). Komfort und Behaglichkeit. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 77-79). Freiburg: Haufe-Lexware GmbH & Co, KG. Abgerufen am 25.11.2024
- Hohorst, A., Westermeier, M., & Spangenberg, P. P. (2024). Einführung in die Smart Home-Technologien. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 21-23). Freiburg: Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 02.10.2024
- Huang, Y. (17.08.2017). *MOKO SMART*. Abgerufen am 10.12.2024 von <https://www.mokosmart.com/de/what-is-a-smart-device/#:~:text=Definition%20von%20Smart%20Devices,etwas%20interaktiv%20und%20autonom%20arbeiten.>
- Issendorf KG. (2025). Systembeschreibung, Der High-End Installationsbus. Sarstedt, Niedersachsen, Deutschland. Abgerufen am 15.11.2024 von <https://www.lcn.eu/service/dokumentation/>
- Issendorf KG. (o. D.). Zuhause neu erleben, Professionelle Gebäudeautomation für Ihr Smart Home made in Germany. Sarstedt, Niedersachsen, Deutschland. Abgerufen am 19.11.2024 von <https://www.lcn.eu/service/dokumentation/>
- Issendorff KG. (o. D.). *Produkte*. Abgerufen am 30.12.2024 von <https://webshop.lcn.eu/>
- KNX Association cvba. (2013). Aufbau der Busteilnehmer. In K. A. cvba, *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK GRUNDLAGEN* (S. 30-32). KNX Association cvba. Abgerufen am 02.12.2024
- KNX Association cvba. (2013). Aufbau der Busteilnehmer. In K. A. cvba, *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK GRUNDLAGEN* (S. 45). KNX Association cvba. Abgerufen am 02.12.2024
- KNX Association cvba. (2013). Buszugriff. In *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK Grundlagen* (S. 28-29). KNX Association cvba. Abgerufen am 01.12.2024
- KNX Association cvba. (2013). Funk als Übertragungsmedium. In K. A. cvba, *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK GRUNDLAGEN* (S. 74). KNX Association cvba. Abgerufen am 08.12.2024

- KNX Association cvba. (2013). *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK GRUNDLAGEN*. KNX Association cvba. Abgerufen am 05.11.2024
- KNX Association cvba. (2013). Planung, Projektierung und Inbetriebnahme. In K. A. cvba, *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK GRUNDLAGEN* (S. 63-89). KNX Association cvba. Abgerufen am 08.12.2024
- KNX Association cvba. (2013). Projektierung. In K. A. cvba, *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK GRUNDLAGEN* (S. 63-66). KNX Association cvba. Abgerufen am 08.12.2024
- KNX Association cvba. (2013). Telegrammaufbau und Adressierung. In *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK Grundlagen* (S. 29-30). KNX Association cvba. Abgerufen am 01.12.2024
- KNX Association cvba. (2013). Topologie. In *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK Grundlagen* (S. 24-27). KNX Association cvba. Abgerufen am 01.12.2024
- KNX Association cvba. (2013). Übertragungstechnik. In *HANDBUCH HAUS-UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK Grundlagen* (S. 28). KNX Association cvba. Abgerufen am 01.12.2024
- KNX Associaton cvba. (2013). Planung. In K. A. cvba, *HANDBUCH HAUS- UND GEBÄUDESYSTEMTECHNIK GRUNDLAGEN* (S. 62). KNX Association cvba. Abgerufen am 08.12.2024
- Moltrecht, K., & Schnaack, G. (09.2022). Das intelligente Zuhause: Smart Home 2022 - Ein Bitkom-Studienbericht. (Bitkom e.V, Hrsg., K. Moltrecht, & G. Schnaack, Redakteure) Abgerufen am 06.01.2025 von https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-09/220912_Bitkom_Smart_Home_Chartbericht_2022_final.pdf
- Pohlmann, N. (21.02.2021). Chancen und Risiken von Smart Home. *Datenschutz und Datensicherheit - DuD*, 45(2), 95-101.
- Rohleder, D. (22.08.2024). Smart Home 2024. (Bitkom e. V., Hrsg.) Berlin, Deutschland. Abgerufen am 27.12.2024 von <https://www.bitkom.org/sites/main/files/2024-08/240822-Bitkom-Charts-Smart-Home-2024.pdf>
- Sokollik, F., Helm, P., & Seela, F. (2017). Der Standard KNX. In F. Sokollik, P. Helm, & R. Seela, *KNX für die Gebäudesystemtechnik in Wohn- und Zwecksbau* (S. 28-32). VDE VERLAG GMBH. Abgerufen am 01.12.2024

- Sokollik, F., Helm, P., & Seela, R. (2017). Anwendungsbereiche. In F. Sokollik, P. Helm, & R. Seela, *KNX für Gebäudesystemtechnik in Wohn- und Zweckbau* (S. 19-26). VDE Verlag GMBH. Abgerufen am 02.12.2024
- Statistisches Bundesamt. (o. D.). *Was ist der Mikrozensus?* (S. Bundesamt, Herausgeber) Abgerufen am 27.12.2024 von <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/Methoden/mikrozensus.html#445710>
- Twardy, M. (2024). Fördermittel und Smart Home. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, & M. Westermeier, *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 219-226). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 04.11.2024
- Voltus GmbH. (2024). *Voltus – Onlineshop für Elektromaterial, Schalterprogramme und Smart Home Systeme*. Abgerufen am 30.12.2024 von <https://www.voltus.de/>
- Westermeier, M. (2024). Beschattung / Sonnenschutz. In A. Hohorst, C. Jacob, S. Kukovec, M. Westermeier, & M. Westermeier (Hrsg.), *Smart Homes Technologie - Gestaltung - Umsetzung - Trends* (S. 88-90). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Abgerufen am 03.11.2024

Anhang

A) Geräteliste

Raum	Free@Home, Quelle: www.vollus.de [30.12.2024]			KNX, Quelle: www.vollus.de [30.12.2024]			LCN, Quelle: www.webshop.lcn.eu [30.12.2024]		
	Gerät	Anzahl	Stückpreis	Gerät	Anzahl	Stückpreis	Gerät	Anzahl	Stückpreis
Abstellraum mit Verteilerschrank und Heizungsverteilerschrank	Spannungsversorgung (6201/640.1)	2	236,36 €	Busspannungsversorgung (MDT-STV-0640.02)	1	164,22 €	Rekalsmodul (LCN-R6H)	2	172,55 €
	System Access Point 2.0 (SAP/S.13)	1	389,14 €	Schallaktor 16A 12fach (MDT-AKS-1216.03)	1	253,47 €	4-Kanaldimmer (LCN-HL4+)	2	173,20 €
	USB-Stick zur Integration von Funkgeräten (SAP/A.2.11)	1	64,66 €	Dimmaktor 4fach (MDT-AKD-0401.02)	1	280,84 €	Heizungsaktor (LCN-A4H)	3	89,50 €
	Schallaktor 16A 12fach (SA-M-12.16.2.12)	1	326,16 €	Dimmaktor 2fach (MDT-AKD-0201.02)	1	214,20 €	einfaches Realis (LCN-R1U)	1	38,60 €
	Dimmaktor 6fach 210W (DAM.6.210.2.11)	1	495,76 €	Heizungsaktor 8fach (MDT-AKH-0800.03)	2	133,88 €	Heizungs-Stellantrieb (ABB-TSA/K230.2)	8	33,36 €
	Heizungsaktor 12fach (6254/0.12)	1	309,26 €	Jalousieaktor 8fach 230V (MDT-JAL-0810M.02)	1	283,22 €			
	Jalousieaktor 8fach (BA-M-8.230.1.11)	1	328,46 €	Heizungs-Stellantrieb (ABB-TSA/K230.2)	8	33,36 €			
	Busch Jäger Systemzentrale Welcome (83301)	1	170,38 €	Visualisierungserver (GIRA 209600)	1	825,12 €			
	Rauchmelder (683301-84)	1	37,46 €	1fach Tastsensor (6221/1.0)	1	47,49 €			
	1fach Tastsensor (6211/1.1)	1	78,42 €	KNX-RF Medienkoppler (GIRA.511000)	1	210,14 €			
	Heizungs-Stellantrieb (ABB-TSA/K230.2)	8	33,36 €	KNX USB Interface (MDT-SCN-USB-R02)	1	131,01 €			
	10 Zoll Touchpanel Smart Touch (ST/U10.1.11-825)	1	923,37 €	10 Zoll Touchpanel Smart Touch (ST/U10.1.11-825)	1	923,37 €	Glas-Infomodul (LCN-GTS10DW)	1	432,01 €
	1fach Tastsensor (6211/1.1)	1	78,42 €	1fach Tastsensor (6221/1.0)	1	47,49 €	einfaches Realis (LCN-R1U)	1	38,60 €
	Rauchmelder (683301-84)	1	37,46 €	1fach Tastsensor (6221/1.0)	1	47,49 €			
	1fach Tastsensor (6211/1.1)	1	78,42 €						
Badezimmer	Wandtaster 6fach mit Raumtemperaturregler (SEC-F.6.0.11-84)	1	308,47 €	Wandtaster 6fach mit Raumtemperaturregler (SBC/6.0.11-84)	1	308,47 €	Glas-Infomodul (LCN-GTS10DW)	1	432,01 €
	Rollladenmotor (3145-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	49,90 €	Rollladenmotor (3145-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	49,90 €	Universal Rollladen/Jalousie-Modul (LCN-UMR)	1	152,90 €
	Fensterkontakt (6222/ZAP-64-WL)	1	61,55 €	Fensterkontakt (HAGER TRC301E)	1	72,61 €	Rollladenmotor (3145-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	49,90 €
	Wandtaster 6fach mit Raumtemperaturregler (SEC-F.6.0.11-84)	1	308,47 €	Wandtaster 6fach mit Raumtemperaturregler (SBC/6.0.11-84)	1	308,47 €	Glas-Infomodul (LCN-GTS10DW)	1	432,01 €
	Rollladenmotor (3145-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	49,90 €	Rollladenmotor (3145-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	49,90 €	Universal Rollladen/Jalousie-Modul (LCN-UMR)	1	152,90 €
Schlafzimmer	Rauchmelder (683301-84)	1	37,46 €	1fach Tastsensor (6221/1.0)	1	47,49 €	Rollladenmotor (3145-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	49,90 €
	Fensterkontakt (6222/ZAP-64-WL)	1	61,55 €	Fensterkontakt (HAGER TRC301E)	1	72,61 €			
	1fach Tastsensor (6211/1.1)	2	78,42 €	1fach Tastsensor (6221/1.0)	1	47,49 €			

Vergleichende Analyse zur Nachrüstung eines Smart-Home-Systems

Raum	Free@Home, Quelle: www.voitus.de [30.12.2024]			KNX, Quelle: www.voitus.de [30.12.2024]			LCN, Quelle: www.webshop.lcn.eu [30.12.2024]		
	Gerät	Anzahl	Stückpreis	Gerät	Anzahl	Stückpreis	Gerät	Anzahl	Stückpreis
Arbeitszimmer	Wandtaster 6fach mit Raumtemperaturregler (SBC-F-6.0.11-84)	1	308,47 €	Wandtaster 6fach mit Raumtemperaturregler (SBC/6.0.11-84)	1	308,47 €	Glas-Infomodul (LCN-GTS1/ODW)	1	432,01 €
	Rollladenmotor (3T45-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	2	49,90 €	Rollladenmotor (3T45-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	49,90 €	Universal Rollladen/Jalousie-Modul (LCN-UMR)	1	152,90 €
	Fensterkontakt (6222/2AP-64-WL)	2	61,55 €	Fensterkontakt (HAGER TRC301B)	2	72,61 €	Rollladenmotor (3T45-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	2	99,80 €
	Rauchmelder (6833/01-84)	1	37,46 €						
	Wandtaster 10fach mit Raumtemperaturregler (SBC-F-10.0.11-84)	1	368,23 €	Wandtaster 10fach (SBC-F-10.0.11-84)	1	368,23 €	Glas-Infomodul (LCN-GTS1/ODW)	1	432,01 €
	1fach Tastsensor (6211/1.1)	1	78,42 €	1fach Tastsensor (6221/1.0)	1	78,42 €	Universal Rollladen/Jalousie-Modul (LCN-UMR)	3	458,70 €
	1fach Tastsensor (6211/1.1)	1	78,42 €	1fach Tastsensor (6221/1.0)	1	78,42 €	einfaches Realis (LCN-R1U)	1	38,60 €
	Rauchmelder (6833/01-84)	2	37,46 €	Fensterkontakt (HAGER TRC301B)	6	74,92 €	Rollladenmotor (3T45-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	49,90 €
	Fensterkontakt (6222/2AP-64-WL)	6	61,55 €	Rollladenmotor (3T45-40B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	56,90 €	Rollladenmotor (3T45-40B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	56,90 €
	Rollladenmotor (3T45-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	2	49,90 €	Rollladenmotor (3T45-20B SW60) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	99,80 €	einfaches Realis (LCN-R1U)	1	38,60 €
Wohnzimmer / Esszimmer / Küche	Rollladenmotor (3T45-40B SW60, Balkontür) Quelle: Rollladenmotor24.de (30.12.24)	1	56,90 €						
	Außenstation Video Welcome (A2138/1P1-S-03)	1	1.147,01 €	Wetterstation Standard (MDT SCN-WS3HW.01)	1	292,01 €	Wetterstation (LCN-WIH)	1	1.069,80 €
	Wetterstation (6228, Standard)	1	547,94 €						
Außenbereich	Busleitung (500m, Trommel)	1	225,00 €	Busleitung (500m, Trommel)	1	225,00 €			
	Gesamtkosten des Systems:		8.705,88 €	Gesamtkosten des Systems:		6.898,42 €	Gesamtkosten des Systems:		5.834,93 €

Tabelle 10: Geräte für die Nachrüstung
(Quelle: Eigene Darstellung)

B) Checkliste

Prioritäten:	Hoch	Mittel	Niedrig	Raumbezeichnung (Anzahl)
Beleuchtung				
Normale, unvernetzte Leuchten schalten	X			Flur (1)
				Badezimmer (1)
				Schlafzimmer (1)
				Arbeitszimmer (2)
				Esszimmer (1)
				Küche (1)
<u>Leuchtmittel dimmen / Farbe ändern</u>	X			Badezimmer (1)
				Wohnzimmer (2)
Automatisch Licht bei Bewegung schalten			X	
Beleuchtung nach Raumhelligkeit steuern			X	
Lichtszenen speichern / abrufen		X		Wohnzimmer (1)
Wandsteckdosen schalten			X	
Energieverbrauch der Geräte messen			X	
Heizung & Klima				
Smartes Thermostat am Heizkörper	X			Flur (1)
				Badezimmer (1)
				Schlafzimmer (1)
				Wohnzimmer/Esszimmer/Küche (3)
Raumthermostat an der Wand	X			Flur (1)
				Badezimmer (1)
				Schlafzimmer (1)
				Wohnzimmer/Esszimmer/Küche (1)
Heizen oder Kühlen nur bei Anwesenheit			X	
Offene Fenster erken- nen	X			Badezimmer (1)
				Schlafzimmer (1)
				Arbeitszimmer (2)
				Wohnzimmer (6)

Prioritäten:	Hoch	Mittel	Niedrig	Raumbezeichnung (Anzahl)
Störungen automatisch erkennen / melden	X			
Warnung bei schlechter Luftqualität	X			
Klima- oder Lüftungsanlage regeln			X	
Regelung von Raumklima aus der Ferne			X	
Integration einer Photovoltaikanlage			X	
Sonnenschutz & Beschattung				
Automatisierung von Rollläden mit Motoren	X			Badezimmer (1) Schlafzimmer (1) Arbeitszimmer (2) Wohnzimmer/Esszimmer/Küche (6)
Automatische Beschattung abhängig von Lichteinfall	X			
Unwetterschutz	X			
Vorhandene Gurtwickler automatisieren			X	
Aussperrschutz bei geöffneter <u>Balkon</u> -/ Terrassentür		X		Wohnzimmer (1)
Integration der Beschattung in der Klimaanlage			X	
Komfort & Behaglichkeit				
Elektronisches Schloss an der Eingangstür			X	
Elektronischer Türöffner im Mehrfamilienhaus			X	
Automatisches Öffnen bei Annäherung mit Smartphone			X	

Vergleichende Analyse zur Nachrüstung eines Smart-Home-Systems

Prioritäten:	Hoch	Mittel	Niedrig	Raumbezeichnung (Anzahl)
Elektronische Zutrittsberechtigung für Dritte			X	
Türkamera / Gegensprechanlage	X			Eingangstür / Flur (1)
Fernbedienung des Türöffners			X	
Paniktaster installieren	X			Schlafzimmer (1) Flur (1)
Im Brandfall Rollläden von selbst öffnen	X			
Videoüberwachte Bereiche in Gebäude		X		Flur (1) Wohnzimmer (1) Arbeitszimmer (1)
Fernzugriff auf Überwachungsvideo			X	
Anwesenheitssimulation	X			
Offline-Funktion des Smart-Home-Systems	X			
Musikwiedergabe innerhalb von Gebäude			X	
Bedienung & Visualisierung				
Wandtaster ohne Display			X	
Wandtaster mit Display	X			Badezimmer (1) Schlafzimmer (1) Arbeitszimmer (1) Wohnzimmer/Esszimmer/Küche (1)
Bedienpanel mit Touchscreen	X			Flur (1)
App für das Smartphone oder Tablet	X			
Steuerung über Sprachassistenten			X	
Sonstiges				
Bewässerungssteuerung im Garten			X	

Prioritäten:	Hoch	Mittel	Niedrig	Raumbezeichnung (Anzahl)
Schnelles IP-Netzwerk zur Datenübertragung	X			
Batteriebetriebene Geräte notwendig: Fensterkontakt, Rauchmelder	X			Badezimmer (2) Schlafzimmer (2) Arbeitszimmer (1) Flur (1) Wohnzimmer/Esszimmer/Küche (8)
Ohne Abgebühren oder laufende Kosten	X			
Programmierung ohne fremde Hilfe	X			
Offene Plattform für Einbindung alternativer Anbieter			X	
Umfangreiche Dokumentation des Systems	X			
Ansprechpartner bei Problemen	X			

Tabelle 11: Funktionsumfang Smart Home

(Quelle: Eigene Darstellung nach Grün, 2022, S. 177 f.)

C) Grundrisse Obergeschoss

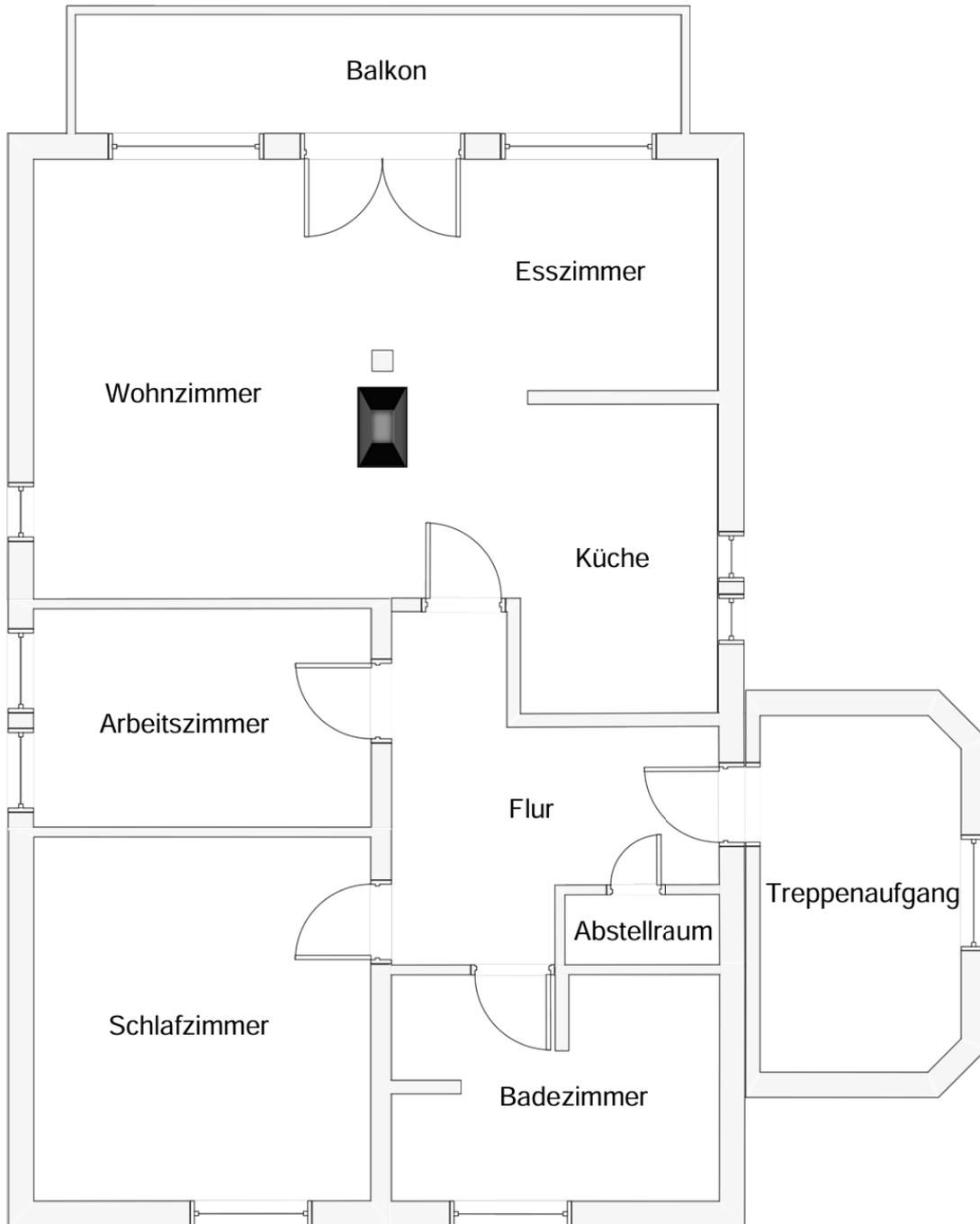


Abbildung 23: Grundriss Obergeschoss

(Quelle: Eigene Darstellung)

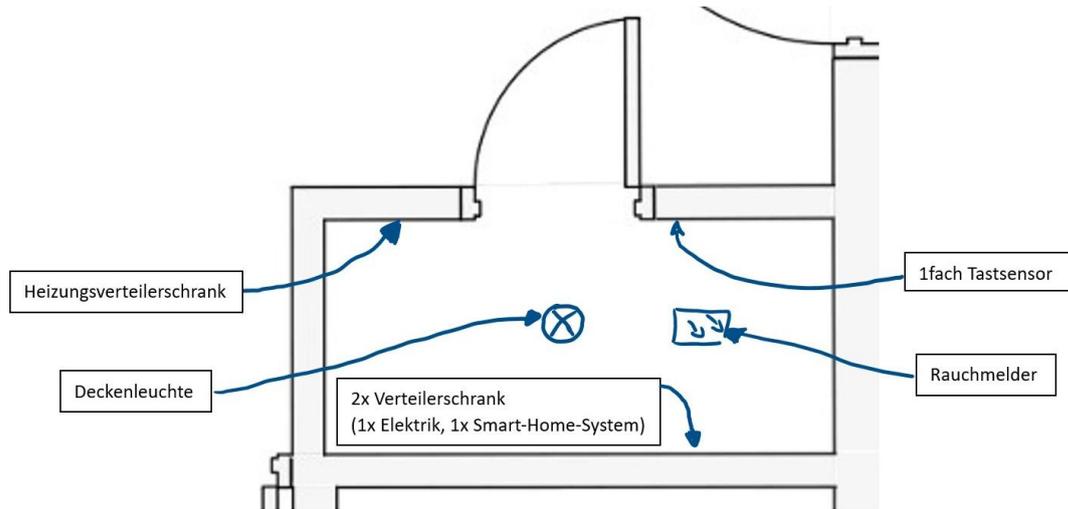


Abbildung 24: Grundriss Abstellraum mit Geräten
(Quelle: Eigene Darstellung)

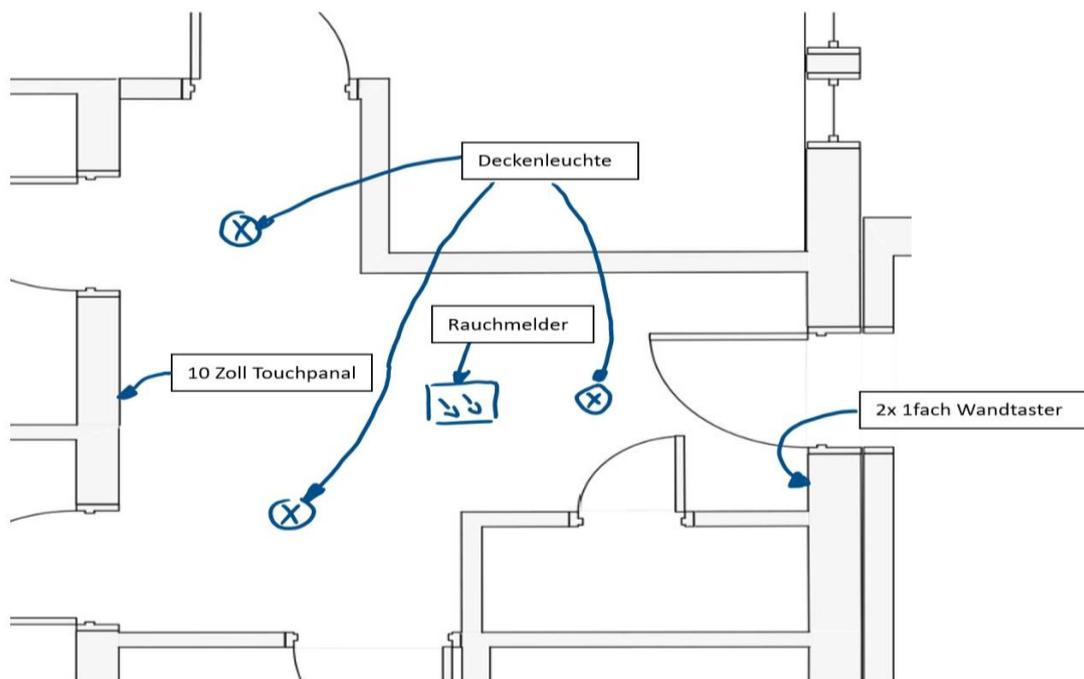


Abbildung 25: Grundriss Flur mit Geräten
(Quelle: Eigene Darstellung)

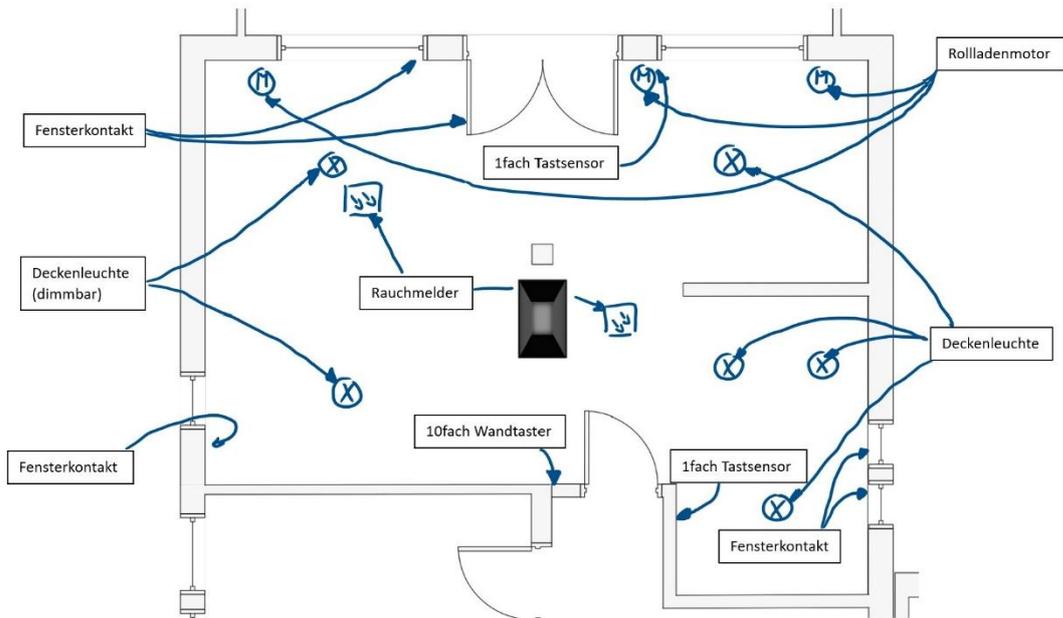


Abbildung 26: Grundriss Wohnzimmer/Esszimmer/Küche mit Geräten
(Quelle: Eigene Darstellung)

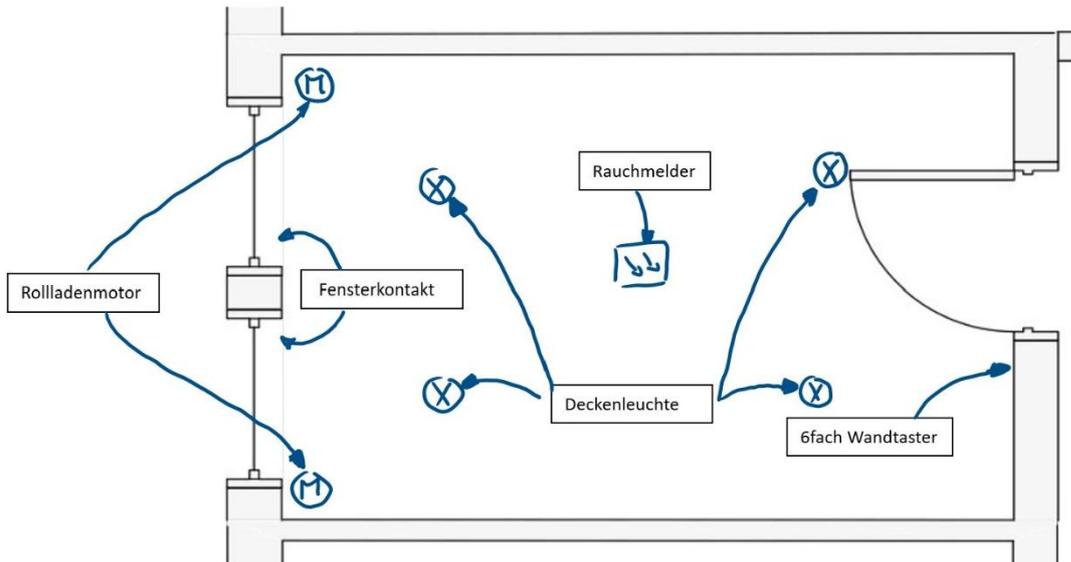


Abbildung 27: Grundriss Arbeitszimmer mit Geräten
(Quelle: Eigene Darstellung)

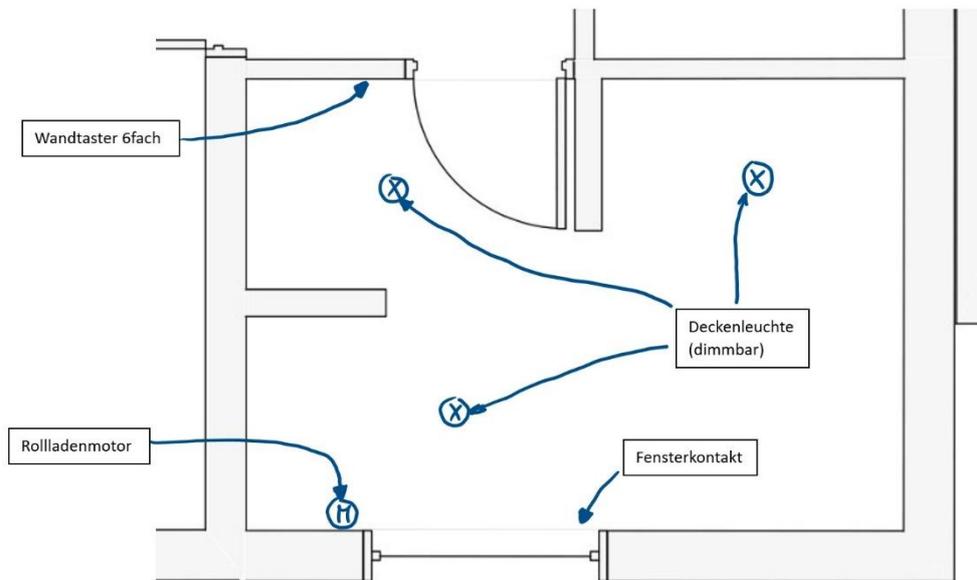


Abbildung 28: Grundriss Badezimmer mit Geräten

(Quelle: Eigene Darstellung)

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema:

Vergleichende Analyse der Nachrüstbarkeit von Smart-Home-Systemen: Eine Fallstudie an einem ausgewählten Beispiel zur Integration von drei möglichen Smart-Home-Systemen in ein bestehendes Einfamilienhaus und deren praktische Umsetzung.

Selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet und die den verwendeten Quellen und Hilfsmittel wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Schkeuditz, 13.01.2025

(Ort, Datum)

(Eigenhändige Unterschrift)