



**Vergleich zwischen KNX und EnOcean am
Beispiel exemplarischer Raumautomations-
Installationen in Bezug auf Kosten und
ökologische Aspekte sowie unter
Berücksichtigung eines benutzerorientierten
Anforderungsprofils**

Bachelor Thesis

im Studiengang Innenausbau
der Technischen Hochschule Rosenheim
(Überarbeitete Version)

Julia Winkler

Erstprüfer:

Prof. Dr. Michael Krödel

Zweitprüfer:

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Plank

Datum der Anmeldung:

10.02.2021

Datum der Abgabe:

11.07.2021

Kurzfassung

Die nachfolgende Arbeit behandelt das Thema Gebäudeautomation, genauer den Vergleich dezentraler Gebäudeautomation mit und ohne Funk. Als Vergleichsfaktoren werden neben dem Kostenfaktor auch die Themen „Ökologie & Umwelt“ sowie „Health & Wellness“ mitangeführt.

Der Vergleich bezüglich der Kosten, welcher den Hauptteil der Arbeit einnimmt, soll dem Endnutzer Indikatoren in Form von Kosten pro Quadratmeter liefern und somit das Thema Gebäudeautomation zugänglicher machen. Im Zuge dessen werden drei verschiedene Gebäudegrundrisse aus verschiedenen Gebäudeklassen ausgestattet und mit aktuellen Produktkosten namhafter Hersteller hinterlegt.

„Ökologie & Umwelt“ sowie „Health & Wellness“ sind wichtige Themen der heutigen Zeit. Aufgrund dessen werden dies betreffend Vor- und Nachteile der jeweiligen Technologie aufgeführt und dem Leser als zusätzlicher Entscheidungsfaktor nähergebracht.

Schlagwörter: dezentrale Gebäudeautomation, Funktechnologie, EnOcean, KNX, Ökologie, Health & Wellness

Abstract

The study considers the topic of building automation. It compares decentralized building automation with and without wireless technology. In addition to the cost factor, comparison factors are also "ecology & environment" and "health & wellness".

The main part of the study compares the costs and is intended to provide the end user with indicators of costs per square meter. In this way, the topic of building automation is more accessible to the user.

An analysis is made of three different types of buildings and homes. The floor plans are quipped and get stored with the product costs of well-known manufactures.

"Ecology & Environment", as well as "Health & Wellness" are important topics of today's time.

As a result, advantages and disadvantages of both technologies are listed in order to get an additional decision factor.

Keywords: decentralized building automation, wireless technology, EnOcean, KNX, ecology, health & wellness

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2
Abstract	3
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
Literaturverzeichnis	10
Quellenverzeichnis	11
Glossar	14
Danksagung	17
1 Einführung	18
1.1 Ziele und Abgrenzung der Arbeit	19
2 Stand der Technik	20
2.1 Varianten der Gebäudeautomation.....	20
2.2 KNX-Standard	20
2.3 EnOcean- Standard.....	21
3 Erläuterung zum Vorgehen	22
3.1 Ermittlung der Ausstattungswerte	22
3.1.1 Ausstattungswerte nach DIN18015 und RAL RG678.....	22
3.1.2 Ausstattungswerte anhand einer Checkliste	24
3.1.3 Ausstattungswerte nach Ergebnissen verschiedener Studien.....	25
3.1.4 Zusammenfassung.....	27
3.2 Zusammenstellung der Komponenten	30
3.3 Grundrissplanung und Ermittlung der Stücklisten	31
3.4 Herstellerinformationen und Kostenquellen	33
3.5 Betriebskosten.....	36
3.6 Kostenzusammenstellung.....	37
3.7 Vergleich	39
4 Beispiel: Einzimmerwohnung – Vollaussattung	40
4.1 Ausstattungswerte- Einzimmerwohnung-Vollaussattung	41
4.1.1 Ausstattungswerte nach DIN 18015 und RAL RG678.....	41
4.1.2 Ausstattungswerte – Checkliste.....	43
4.2 Zusammenstellung der Komponenten	44
4.3 Ausstattungsvarianten	46
4.3.1 Konventionelle Verkabelung.....	46

4.3.2	Dezentrale Ausstattung – KNX Technologie	52
4.3.3	Dezentrale Ausstattung mit Funk (EnOcean)	59
4.4	Vergleich – Einzimmerwohnung	66
4.4.1	Vergleich - Ausstattungstechnologien	66
5	Vergleich Grundrisse.....	69
5.1	Vergleich Grundrisse - Mindestausstattung.....	69
5.2	Vergleich Grundriss – Vollausstattung	72
6	Weitere Entscheidungsfaktoren	74
6.1	Health & Wellness	75
6.1.1	Elektrosmog.....	75
6.1.2	Raumklima.....	76
6.2	Ökologie und Umwelt.....	78
7	Fazit	80
	Erklärung.....	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Statistik zur Prognose der Anzahl von Smart Home Haushalten weltweit.....	18
Abbildung 2: Ausschnitt der RAL RG678.....	23
Abbildung 3: Ausschnitt aus der Checkliste zur Ermittlung der Nutzeranforderungen	24
Abbildung 4: Ausstattungspakete nach Kos, Monika (2013)	25
Abbildung 5: Ausstattungspakete für altersgerechtes Wohnen nach Mattausch (2011)	26
Abbildung 6: Ausstattungswerte – Quellen	29
Abbildung 7: Installationszonen	32
Abbildung 8: Beispielauszug der KFE.....	34
Abbildung 9: Grundriss Einzimmerwohnung	40
Abbildung 10: Sensoren und Aktoren, Einzimmerwohnung - Vollaussstattung	45
Abbildung 11: Grundrissplanung, Einzimmerwohnung- konventionelle Verkabelung	47
Abbildung 12: Grundrissplanung, Einzimmerwohnung- KNX Technologie- Vollaussattung	53
Abbildung 13: Grundrissplanung, Einzimmerwohnung- EnOcean Technologie- Vollaussattung	60
Abbildung 14: Gesamtkosten – Einzimmerwohnung Mindestausstattung	66
Abbildung 15: Gesamtkosten pro Quadratmeter – Einzimmerwohnung Mindestausstattung.....	67
Abbildung 16: Gesamtkosten – Einzimmerwohnung Vollaussattung.....	68
Abbildung 17: Gesamtkosten pro Quadratmeter – Einzimmerwohnung Vollaussattung	68
Abbildung 18: Gesamtkostenvergleich – Mindestausstattung	70
Abbildung 19: Einzimmerwohnung Mindestausstattung – Vergleich Nettopreise Installation und Material für Komponenten	71
Abbildung 20: Gesamtkostenvergleich – Vollaussattung	73
Abbildung 21: Vergleich Strahlungswerte	75
Abbildung 22: Einsparungspotential an Verkabelung in Metern pro Quadratmeter – EnOcean gegenüber KNX.....	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Komponenten – Mindestausstattung, Einzimmerwohnung und Dreizimmerwohnung	27
Tabelle 2: Komponenten – Vollaussattung, Einzimmerwohnung und Dreizimmerwohnung	27
Tabelle 3: Komponenten – Mindestausstattung, Einfamilienhaus	28
Tabelle 4: Komponenten – Vollaussattung, Einfamilienhaus	28
Tabelle 5: Beispieltabelle- Zusammenstellung benötigter Sensoren und Aktoren ...	30
Tabelle 6: Beispiel Stückliste	31
Tabelle 7: Quelle - Kosteninformationen	34
Tabelle 8: Kostenaufschläge.....	35
Tabelle 9: Beispieltabelle – Preise Verkabelung	37
Tabelle 10: Beispieltabelle – Preise Komponente (Material)	37
Tabelle 11: Beispieltabelle – Preise Komponenten (Installation)	37
Tabelle 12: Beispieltabelle – Preise Verteilerkasten (Material).....	37
Tabelle 13: Beispieltabelle – Kostenzusammenstellung.....	38
Tabelle 14: Ausstattungswerte nach RAL RG678, Einzimmerwohnung, Vollaussattung.....	42
Tabelle 15: Stückliste, Einzimmerwohnung – konventionelle Verkabelung	49
Tabelle 16: Preise Verkabelung (Material und Installation), Einzimmerwohnung – konventionelle Verkabelung.....	50
Tabelle 17: Preise Komponenten (Material und Installation), Einzimmerwohnung – konventionelle Verkabelung.....	50
Tabelle 18: Zusammenstellung Kosten, Einzimmerwohnung – konventionelle Verkabelung.....	51
Tabelle 19: Stückliste, Einzimmerwohnung – KNX Technologie - Vollaussattung ..	55
Tabelle 20: Preise Verkabelung (Material und Installation), Einzimmerwohnung – KNX Technologie – Vollaussattung	56
Tabelle 21: Preise Verteilerkasten (Material), Einzimmerwohnung – KNX Technologie – Vollaussattung.....	56
Tabelle 22: Preise Komponenten (Material), Einzimmerwohnung – KNX Technologie – Vollaussattung.....	56
Tabelle 23: Preise Komponenten (Installation), Einzimmerwohnung – KNX Technologie – Vollaussattung.....	57
Tabelle 24: Zusammenstellung Kosten, Einzimmerwohnung –KNX Technologie– Vollaussattung.....	58
Tabelle 25: Stückliste, Einzimmerwohnung – EnOcean Technologie - Vollaussattung.....	62
Tabelle 26: Preise Verkabelung (Material und Installation), Einzimmerwohnung – EnOcean Technologie – Vollaussattung.....	63
Tabelle 27: Preise Komponenten (Material), Einzimmerwohnung – EnOceanTechnologie – Vollaussattung.....	63
Tabelle 28: Preise Komponenten (Installation), Einzimmerwohnung – EnOceanTechnologie – Vollaussattung.....	64
Tabelle 29: Zusammenstellung Kosten, Einzimmerwohnung – EnOceanTechnologie– Vollaussattung.....	65
Tabelle 30: Kostenaufstellung - Mindestausstattung	70
Tabelle 31: Differenzwerte pro Quadratmeter – Mindest- und Vollaussattung.....	72

Tabelle 32: Kostenaufstellung - Vollaussstattung	73
--	----

Abkürzungsverzeichnis

Einheiten:

cm	Zentimeter (Längeneinheit)
€	Euro (Währung)
m ²	Quadratmeter (Flächeneinheit)
m	Meter (Längeneinheit)
MHz	Mega Hertz (Einheit für die Frequenz)
V	Volt (Einheit der elektrischen Spannung)

Sonstige Abkürzungen:

BUS	Binary Unit System
ETS	Engineering Tool Software
KNX	Konnex - BUS-basierte Technologie zur Umsetzung unterschiedlichster Funktionen der Raumautomation
RAL RG678	Reichsausschuss für Lieferbedingungen Empfehlung für Ausstattungswerte von Gebäude auf Basis der DIN 18015
SAR	Spezifische Absorptionsrate
Stk	Stück
UP	Unterputz: Montage des Elements in einer Unterputzdose
WLAN	Wireless Local Area Network
ZVEH	Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke, Frankfurt/Main

Literaturverzeichnis

DIN 18015-3: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden - Teil 3: Leitungsführungen und Anordnung der Betriebsmittel

DIN 18015-4: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden - Teil 4: Gebäudesystemtechnik

Kalkulationshilfe für die elektro- und informationstechnische Handwerke – KFE, Ausgabe 2020/2021 Erweiterte Neuauflage

Krafft, Julian: Vergleich unterschiedlicher Gebäudeautomationssysteme für den privaten Wohnungs-bau. Rosenheim, Technische Hochschule Rosenheim, Fakultät für Holztechnik und Bau, Diplomarbeit, 2013

Kos, Monika: Vergleich von „Smart-Home“ Gebäudeautomationssystemen und eine darauf basierende Entwicklung von Ausstattungsvarianten am Beispiel Hanse-Haus GmbH Oberleichtersbach. Rosenheim, Technische Hochschule Rosenheim, Fakultät für Holztechnik und Bau, Bachelorarbeit, 2013

Mattausch, Kay: Einsatz von Gebäudeautomation zur Unterstützung für altersgerechtes Wohnen. Rosenheim, Technische Hochschule Rosenheim, Fakultät für Holztechnik und Bau, Diplomarbeit, 2011

Prof. Dr. Michael Krödel, Vorlesung Gebäudetechnik- Elektro Ausstattungsplanung, Rosenheim, Technische Hochschule Rosenheim, S.5

Prof. Dr. Krödel, Michael. Vorlesung für Gebäudeautomation, 03 Signale und Protokolle, Technische Hochschule Rosenheim S.19

RAL-RG 678: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Anforderungen

Quellenverzeichnis

Abzweigdose: Bedeutung, Definition, Übersetzung - Wortbedeutung.info

URL: <https://www.wortbedeutung.info/Abzweigdose/>. [23.04.2021, 20:15]

Bundesnetzagentur, Vergleich.de, Stand: April 2021,

URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/SMARD/Aktuelles/smardaktuelles_node.html. [20.03.2021, 19:03]

Building Smarter Connectivity - EnOcean Alliance (enocean-alliance.org).

URL: Building Smarter Connectivity - EnOcean Alliance (enocean-alliance.org)
[05.04.2021, 13:19]

Definition: EnOcean Funkstandard fürs Smart Home (your-smarthome.com)

URL: <https://your-smarthome.com/blog/enocean-2/>. [05.04.2021, 07:42]

Der Einfluss des Raumklimas auf die Produktivität der Mitarbeiter (oxy-com.com).

URL: <https://www.oxy-com.com/de/blog-nachrichten/der-einfluss-des-raumklimas-auf-die-produktivitaet-der-mitarbeiter>. [04.05.2021, 17:24]

Energy Harvesting | EnOcean.

URL: <https://www.enocean.com/de/technology/energy-harvesting/>.
[22.04.2021, 14:12]

ETS5 Professional KNX Association [Official website]

URL: [https://ETS5 Professional KNX Association \[Official website\]](https://ETS5ProfessionalKNXAssociation.com). [19.06.2021, 13:19]

Gesundes Raumklima im Büro – So ist es angenehm! (ergonomie-am-arbeitsplatz.de).

URL: <https://ergonomie-am-arbeitsplatz.de/raumklima-buero/>. [03.06.2021, 20:09]

Glossar zum Thema - SAR-Wert (wua-wien.at)].

URL: <https://wua-wien.at/umwelt-und-gesundheit/glossar-zum-thema/10150-sar-wert>. [27.06.2021, 15:03]

Installation mit Verbindungsdosen | Elektro | Leitungen/Verteiler | Baunetz_Wissen (baunetzwissen.de)

URL:<https://www.baunetzwissen.de/elektro/fachwissen/leitungen-verteiler/installation-mit-verbindingsdosen-153016>. [10.04.2021, 15:44]

KNX Erklärung: Funktion und Verwendung - Elektro4000 Magazin.

URL:<https://www.elektro4000.de/magazin/knx-erklaerung-verwendung-funktionsweise/>. [23.04.2021, 13:06]

KNX-Basics_de.pdf.

URL:https://www.knx.org/wAssets/docs/downloads/Marketing/Flyers/KNX-Basics/KNX-Basics_de.pdf. [11.04.2021, 08:45]

Sick Building Syndrom | Umweltbundesamt

URL:<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheitsbelastung-des-menschen-ermitteln/umweltmedizin/sick-building-syndrom>. [08.06.2021, 18:03]

Statista (2021): Prognose zur Anzahl der Smart Home Haushalte weltweit für die Jahre 2017 bis 2025, zitiert nach de.statista.com, [online] <https://de.statista.com/prognose/801573/anzahl-der-smart-home-haushalte-nach-segmenten-in-deutschland>. [27.06.2021, 10:15]

Strahlung im Haus: Wie gefährlich ist das vernetzte Haus? - PC Magazin (pc-magazin.de)

URL:<https://www.pc-magazin.de/ratgeber/strahlung-im-haus-wie-gefaehrlich-ist-das-vernetzte-haus-1504076.html>. [21.06.2021, 09:00]

Velux-Studie: Wieviel Zeit verbringt man in geschlossenen Räumen? (baustoffwissen.de)

URL:https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/forschung_tech_nik_trends/velux-studie-indoor-generation-die-auswirkungen-des-modernen-lebens-auf-gesundheit-wohlbefinden-und-produktivitaet-2018/, [28.06.2021, 18:33]

Was ist Gebäudeautomation? | Kieback&Peter (kieback-peter.com)

URL:<https://www.kieback-peter.com/de/was-ist-gebaeudeautomation/>. [28.05.2021, 09:18]

Ökologisch heizen – der Umwelt zuliebe | Smart-Home-Blog von Somfy.

URL: <https://www.somfy.at/#>. [25.06.2021, 09:07]

Glossar

Abzweigdose

Eine Abzweigdose ist ein Gehäuse mit Deckel zur Verdrahtung elektrischer Leitungen und Abzweigung/Verteilung von elektrischem Strom

(<https://www.wortbedeutung.info/Abzweigdose/>)

Aktor

Gerät, das Informationen empfangen, verarbeiten und Funktionen ausführen kann.

[DIN 18015-4:2010-11 Seite 6]

Ausstattungswerte

Detaillierte Anforderungen an die Elektroinstallation für konventionelle Verkabelung und Gebäudeautomation.

[RAL-RG 678 Seite 14]

Binary Unit System (BUS)

Technik zur Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Einrichtungen mit Schnittstellen für die Datenübertragung.

[DIN 18015-4:2010-11 Seite 6]

Controller

Als Controller werden im Bereich Computer-Hardware elektronische Einheiten bezeichnet, die verschiedenste Vorgänge steuern oder regeln.

[[http://de.wikipedia.org/wiki/Controller_\(Hardware\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Controller_(Hardware))]

Datenleitung

Als Datenleitung wird in der Informations- und Kommunikationstechnik ein physikalisches Übertragungsmedium, wie ein Kabel, Draht oder Lichtwellenleiter bzw. die Verbindung als solches, zwischen einem Sender und Empfänger bezeichnet.

[<http://de.wikipedia.org/wiki/Datenleitung>]

Energy Harvesting

Als Energy Harvesting bezeichnet die Gewinnung kleiner Mengen von elektrischer Energie aus Quellen wie Umgebungstemperatur, Vibrationen oder Luftströmungen für Geräte mit geringer Leistung. Energy Harvesting vermeidet bei Drahtlostechnologien Einschränkungen durch kabelgebundene Stromversorgung oder Batterien.

[http://de.wikipedia.org/wiki/Energy_Harvesting]

EnOcean

EnOcean bezeichnet einen vor allem in der Überwachung und Steuerung von Haus- und Gebäudetechnik genutzten herstellerübergreifenden Standard für batteriefreie Funk-Sensoren.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/EnOcean>]

Gebäudeautomation

Als Gebäudeautomation bezeichnet man die Gesamtheit von Überwachungs-, Steuer-, Regel- und Optimierungseinrichtungen in Gebäuden.

[<http://de.wikipedia.org/wiki/Geb%C3%A4udeautomation>]

Geräteverbindungsdose

Auf- oder Unterputzdose, die außer zur Aufnahme der Schalter und Steckdosen auch zum Verbinden der Leiter dient.

[DIN 18015-4:2010-11 Seite 7]

Installationszone

Installationszone bezeichnet den Bereich in Wänden, Decken und Fußböden, in dem elektrische Leitungen verlegt werden.

[<http://de.wikipedia.org/wiki/Installationszone>]

KNX

KNX ist ein Feldbus zur Gebäudeautomation. Auf dem Markt der Gebäudeautomation ist KNX der Nachfolger der Feldbusse Europäischer Installationsbus (EIB), BatiBus und European Home Systems (EHS).

[<https://de.wikipedia.org/wiki/KNX-Standard>]

Mikro Controller

Als Mikro Controller (μC) werden Halbleiterchips bezeichnet, die einen Prozessor und zugleich auch Peripheriefunktionen enthalten.

[<http://de.wikipedia.org/wiki/Mikrocontroller>]

Raumautomation

Einordnung innerhalb der Gebäudeautomation

RAL RG678

Die Richtlinie RAL-RG 678, die vom RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung aufgestellt wurde, definiert Ausstattungsstandards der Elektroinstallation.

[https://de.wikipedia.org/wiki/RAL-RG_678]

SAR -Wert

Der SAR-Wert (Spezifische Absorptionsrate) beschreibt, welche Menge an Energie im menschlichen Organismus in Wärme umgewandelt wird. Die Einheit ist Watt / kg Körpermasse.

[Glossar zum Thema - SAR-Wert (wua-wien.at)]

Sensor

Element zur Umwandlung physikalischer Größen in elektrische Werte; Teilnehmer des BUS-Systems, der physikalische Kenngrößen verarbeitet und ggf. ein Telegramm auf den BUS sendet.

[DIN 18015-4:2010-11 Seite 7]

Smart Home

Umgangssprachlicher Begriff für Gebäudeautomation im privaten Wohnungsbau.

Stromkreis

Gesamtheit der elektrischen Betriebsmittel einer elektrischen Anlage, die gegen Überströme durch dieselbe(n) Schutzeinrichtung(en) geschützt wird.

[DIN 18015-4:2010-11 Seite 8]

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Michael Krödel und Frau Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Plank bedanken, welche mich richtungsweisend und mit viel Engagement während der Arbeit unterstützt haben.

1 Einführung

Der Gedanke der Automatisierung ist längst Realität und hat weltweit in weiten Bereichen der Wirtschaft und auch des Alltags Einzug genommen.

Automation, das bedeutet den Einsatz von künstlichen Systemen, welche eigenständig Programme befolgen und somit in der Lage sind „eigene“ Entscheidungen aufgrund von bestimmten Zuständen eines Systems zu treffen¹.

Somit befindet sich auch die Gebäudeautomation weltweit im unaufhaltsamen Wachstum. Eine Prognose zeigt, dass allein die Anzahl der privaten Smart Home Haushalte weltweit von 2017 bis 2025, von rund 140 auf 480 Millionen ansteigen wird.

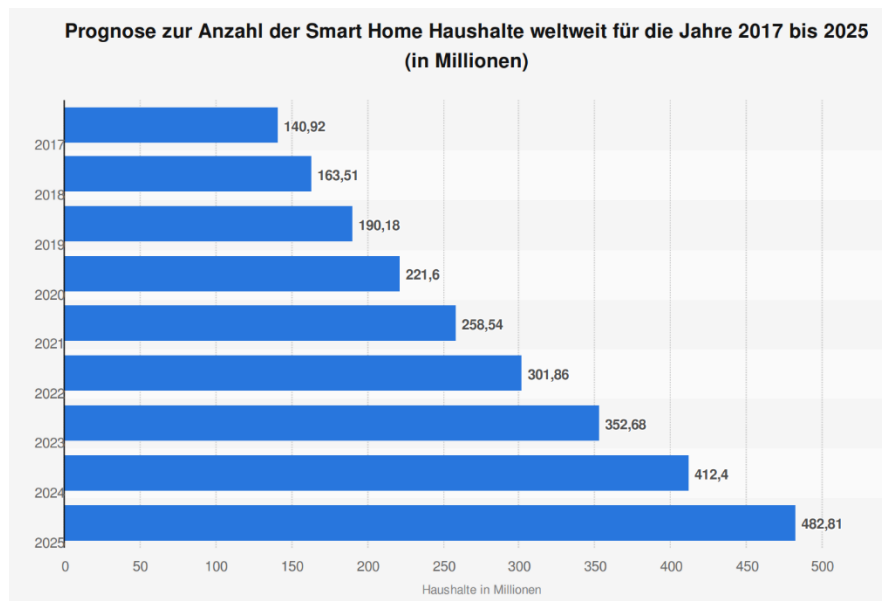


Abbildung 1: Statistik zur Prognose der Anzahl von Smart Home Haushalten weltweit²

Im Grunde verfolgt die Gebäudeautomation dabei drei wesentliche Ziele:

- Die Effizienz des Gebäudes soll optimiert werden- vor allem in Bezug auf Ressourcenverbrauch und Kosten
- Die Sicherheit soll erhöht werden
- Der Komfort für den Nutzer soll erhöht werden

Umgesetzt werden diese, indem verschiedene Bereiche der Gebäudetechnik, wie zum Beispiel: Verschattung, Beleuchtung, Klima, etc., in ein „intelligentes“ Gesamtsystem integriert werden.

¹ URL: <https://www.kieback-peter.com/de/was-ist-gebaeudeautomation/>. [28.05.2021, 09:18]

² Statista (2021): Prognose zur Anzahl der Smart Home Haushalte weltweit für die Jahre 2017 bis 2025, zitiert nach de.statista.com, [online] <https://de.statista.com/prognose/801573/anzahl-der-smart-home-haushalte-nach-segmenten-in-deutschland> [27.06.2021, 10:15]

1.1 Ziele und Abgrenzung der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, im Umfeld der dezentralen Gebäudeautomation verschiedene Ausstattungstechnologien (mit und ohne Funktechnologie) miteinander zu vergleichen.

Dies soll dem Nutzer bereits zu Beginn einer Raumplanung Indikatoren für die Gesamtkosten bereitstellen – sowohl in Bezug auf die Gebäudeart als auch die verwendete Ausstattungstechnologie

Im Wesentlichen lassen sich zwei klassische Ausstattungsvarianten im Zuge der Gebäudeautomation unterscheiden: Die zentrale Variante und die dezentrale Variante. Zudem sollte erwähnt werden, dass Mischformen existieren.

In der Studie soll nur die dezentrale Ausstattung betrachtet werden. Dezentral bedeutet, dass eine sogenannte verteilte Intelligenz herrscht. Die Kommunikation läuft über eine BUS-Leitung oder über eine Funkverbindung, über die alle Sensoren und Aktoren miteinander vernetzt sind. Jede Komponente (Sensor oder Aktor) besitzt eine eigene „Intelligenz“ in Form eines Micro Controllers, welcher Aufgaben annehmen und verteilen kann.

Im Zuge dessen werden drei verschiedene Gebäudegrundrisse durchgeplant und jeweils mit zwei Varianten (mit und ohne Funk) ausgestattet. Die Grundrisse wurden so gewählt, dass verschiedene Gebäudeklassen abgedeckt werden. Wichtig zu erwähnen ist, dass die Ergebnisse auch auf andere Gebäudearten und Nutzungszwecke übertragen werden können.

Für beide Technologien werden Grundrisse in einer Mindest- und in einer Vollausrüstung geplant. Die Mindestausstattungs-Variante ist dabei als Einstieg in die Gebäudeautomation gedacht, während die Vollausrüstung alle Möglichkeiten der Automation ausschöpft. Als Grundlage für den Vergleich wird zusätzlich die konventionelle Verkabelung miteinbezogen.

Als wesentliche Vergleichsfaktoren werden Gesamtkosten pro m² sowie Aspekte der Nachhaltigkeit angeführt. Die Kosten für eine Installation setzen sich zusammen aus denen der Komponenten sowie Verkabelung, Montage und Programmierung und Inbetriebnahme.

Die Ergebnisse der Arbeit sollen einen Überblick über alle entstehenden Kosten der Anschaffung, Installation und Inbetriebnahme beider Technologien liefern. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass dies nicht eine detaillierte Raumplanung ersetzt und es zu Abweichungen kommen kann. Alle in der Arbeit verwendeten Preisangaben entstammen den aktuellen Produktkatalogen zufällig ausgewählter Hersteller. Vergleiche mit Angeboten anderer Hersteller oder Händler werden nicht vorgenommen.

2 Stand der Technik

2.1 Varianten der Gebäudeautomation

Die für die Arbeit ausgewählten, zu vergleichenden Technologien sind zum einen die KNX Technologie als Ausstattungs-Standard für die dezentrale Gebäudeautomation und zum anderen die EnOcean Technologie als Ausstattungs-Standard für die dezentrale Gebäudeautomation mit Funk. Gewählt wurden diese, da sie in Zentraleuropa die am häufigsten vorkommenden Technologien sind.

2.2 KNX-Standard

Die KNX-Technologie ist ein weltweit anerkannter Standard der dezentralen Gebäudeautomation. KNX steht für Konnex- Bus und ermöglicht eine intelligente Vernetzung eines Gebäudes.

Innerhalb eines Netzwerks sorgt der KNX- Standard für die Verbindung von Geräten mit der elektrischen Anlage, sodass diese miteinander kommunizieren können. Die Kommunikation erfolgt hierbei über ein Bussystem.³

Die Abgrenzung zur konventionellen Elektroinstallation kann folgendermaßen definiert werden:

Bei der konventionellen Elektroinstallation erfolgen sowohl die Energieversorgung als auch die Informationsübertragung gleichermaßen über eine 230V Leitung.

Bei der KNX- Technologie dient die 230V Leitung nur der Energieversorgung. Die Kommunikation erfolgt über eine sogenannte Busleitung. Alle Komponenten werden über eine Zweidrahtleitung, auch als Twisted-Pair-Kabel (TP) bezeichnet, verbunden. Als Linie bezeichnet man das ganze Buskabel, inklusive aller daran angeschlossenen Sensoren und Aktoren. Diese Linie kann aus bis zu 1000m Buskabel bestehen und benötigt mindestens eine Spannungsversorgung von 30V Gleichspannung.

An eine KNX-Linie können bis zu 64 Teilnehmer gekoppelt werden. Bei einer höheren Zahl an Teilnehmern müssen sogenannte Repeater, also Signalverstärker, eingesetzt werden. Alternativ können mehrere Linien parallel betrieben werden, welche mittels Linienkoppler mit einer zentralen Hauptlinie verbunden sind. Üblicherweise erfolgt die KNX-Installation über das TP-Buskabel. Alternativ kann auch eine Übertragung über Funk oder über das 230V-Leitungsnetz stattfinden, was hier aber nicht näher betrachtet wird.

³ URL:<https://www.elektro4000.de/magazin/knx-erklaerung-verwendung-funktionsweise/>,
[23.04.2021, 13:06]

Jeder Teilnehmer, egal ob Sensor oder Aktor erhält eine eindeutige Adresse, die physikalische Adresse. Diese setzt sich wie folgt zusammen: „Bereich.Linie.Teilnehmer“
Ausgeführte Informationen, sogenannte Aktionen, werden durch Gruppenadressen beschrieben. ⁴

2.3 EnOcean- Standard

Die EnOcean-Technologie ist ein weltweiter Standard im Bereich der dezentralen Gebäudeautomation mit Funk.

Die Firma, EnOcean GmbH, wurde 2001 gegründet. Im Jahr 2008 entstand die EnOcean Alliance, eine internationale Vereinigung verschiedener Unternehmen aus den Bereichen Bau und IT, welche mit dem Ziel gegründet wurde, die Kompatibilität verschiedener Systeme zu fördern, welche auf dem EnOcean Funkstandard basieren.⁵

Es handelt sich um ein kabelloses und teilweise batterieles Kommunikationssystem, wobei die Informationsübertragung über wenige Funkimpulse pro Sendevorgang erfolgt. In Europa wird hierbei eine Frequenz von 868 MHz genutzt. Aufgrund der kurzen Wellenlänge lassen sich bei der Signalübertragung Wände und Decken gut durchdringen. Grundsätzlich sind Reichweiten von bis zu 30 Metern möglich. Längere Distanzen können mit einem Funkverstärker überbrückt werden.⁶

EnOcean zeichnet sich durch einen sehr niedrigen Energieverbrauch aus und ist zudem Vorreiter im Bereich der sogenannten „Energy Harvesting Technologie“. Das bedeutet, dass die Betriebsenergie über unterschiedliche Energiewandler aus der Umgebung bezogen wird, zum Beispiel durch das Drücken eines Tasters. ⁷

⁴ URL: https://www.knx.org/wAssets/docs/downloads/Marketing/Flyers/KNX-Basics/KNX-Basics_de.pdf, [11.04.2021, 08:45]

⁵ URL: <https://www.enocean-alliance.org/de/>, [05.04.2021, 13:19]

⁶ Vgl. Prof. Dr. Krödel, Michael: Technische Hochschule Rosenheim, Vorlesung für Gebäudeautomation, 03 Signale und Protokolle, S.19

⁷ URL: <https://your-smarthome.com/blog/enocean-2/>, [05.04.2021, 07:42]

3 Erläuterung zum Vorgehen

Wie bereits in Kapitel 1 erklärt, werden drei verschiedene Gebäudegrundrisse mit jeweils allen drei Technologien (konventionell, dezentral und dezentral mit Funk) ausgestattet. Im Wesentlichen gliedert sich das Vorgehen für jeden Grundriss in die nachfolgenden Schritte.

Eine grafische Zusammenfassung der Grundrisse findet sich in Anhang A.

In Kapitel 4 wird das Vorgehen anhand des Beispiels der Einzimmerwohnung in der Vollausstattungsvariante veranschaulicht. Die Ausstattungen der anderen Grundrisse finden sich in Anhang B und C. Alle Auswertungen und Vergleiche sind im Hauptteil der Arbeit enthalten.

3.1 Ermittlung der Ausstattungswerte

Im ersten Schritt müssen die Ausstattungswerte für den jeweiligen Grundriss ermittelt werden. Das bedeutet, es muss entschieden werden, welche Funktionen möglich sein sollen. Das betrifft zum einen die Komponenten der konventionellen Elektroinstallation, wie Steckdosen, Beleuchtungs- und Kommunikationsanschlüsse, zum anderen Art und Ausprägung von zusätzlichen Funktionsbereichen, welche die Automation eines Gebäudes betreffen.

Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten und Standards. Um ein möglichst realistisches Anforderungsprofil zu erstellen, stützen sich die in der Arbeit getroffenen Annahmen bezüglich der Ausstattungswerte auf die Empfehlungen und Ergebnisse verschiedener Quellen, welche in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden.

3.1.1 Ausstattungswerte nach DIN18015 und RAL RG678

Eine standardisierte Norm bezüglich der Ausstattungswerte liefert DIN18015 sowie RAL RG678. Hier werden festgelegte Standards als Empfehlung ausgesprochen. In den Teilen -2 und -4 der DIN, werden sogenannte Mindestausstattungswerte für verschiedene Gebäudegrundrisse beschrieben. Darüber hinaus enthält RAL-RG 678 Ausstattungswerte für eine Standard- und Komfortausstattung. Für die konventionelle Elektroinstallation existieren drei verschiedene Ausstattungsvarianten:

„★“ entspricht der Mindestausstattung, „★★“ der Standardausstattung und „★★★“ der Komfortausstattung.⁸

Als Ergänzung zu den Ausstattungswerten für die konventionelle Elektroinstallation sind in der RAL-RG 678 die sogenannten „plus“ Ausstattungen definiert. Diese enthalten zusätzlich Funktionsbereiche für die Umsetzung von Raumautomation.

⁸ Vgl. DIN 18015-4: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden - Teil 4: Gebäudesystemtechnik

So entspricht

- „★ plus“ demnach der „Mindestausstattung gemäß DIN 18015-2 und Vorbereitung für die Anwendung der Gebäudesystemtechnik gemäß DIN 18015-4“.
- „★★ plus“ entspricht der „Standardausstattung und mindestens einem Funktionsbereich gemäß DIN 18015-4“.
- „★★★ plus“ entspricht der „Komfortausstattung und mindestens zwei Funktionsbereichen gemäß DIN 18015-4.“⁹

Differenziert nach Art und Größe eines Raums, erhält man als Ergebnis eine Tabelle mit der Anzahl der einzuplanenden Komponenten pro Raum.

Folgende Abbildung zeigt zur Veranschaulichung einen Ausschnitt aus der RAL RG678 bezüglich Empfehlungen für die zu planende Anzahl an Steckdosen, Beleuchtungs- und Kommunikationsanschlüsse für die vorher erläuterte „★- Mindestausstattung“ verschiedener Räume.

Ausstattungswert	Anzahl der Steckdosen, Beleuchtungs- und Kommunikationsanschlüsse *																	
	Küche ^{a) b)}	Kochinsiche ^{b)}	Bad	WC-Raum	Hausarbeitsraum ^{b)}	Wohnzimmer ^{a)}	Esszimmer	je Schlaf-, Kinder-, Gäste-, Arbeitszimmer, Büro ^{b)}	Flur	Freisitz	Abstellraum	Hobbyraum	Zur Wohnung geh. Keller-/Bodenraum, Garage	Keller-/Bodengang, je 6 m Ganglänge				
★	Anzahl der Steckdosen, Beleuchtungs- und Kommunikationsanschlüsse *																	
	Steckdosen allgemein	5	3	2 ^{e)}	1	3	4	5	3	4	5	1	1	1	1	3	1	1
	Beleuchtungsanschlüsse	2	1	2	1	1	2	3	1	1	2	1	2 ^{g)}	1	1	1	1	1
	Telefon-/Datenanschluss (luK)						1	1	1	1	1							
	Steckdosen für Telefon/Daten						1	1	1	1	1							
	Radio-/TV-/Datenanschluss (RuK)	1					2	1	1	1								
	Steckdosen für Radio/TV/Daten	3					6	3	3									
	Kühlgerät, Gefriergerät	2	1															
	Dunstabzug		1															
	Anschluss für Lüfter ^{d)}			1	1													
	Rollladenantriebe	Anschlüsse entsprechend der Anzahl der Antriebe																
	Beleuchtungs- und Steckdosenstromkreise *	Wohnfläche der Wohnung in m ²						Anzahl Stromkreise										
		bis 50						3										
		über 50 bis 75						4										
		über 75 bis 100						5										
		über 100 bis 125						6										
		über 125						7										

Abbildung 2: Ausschnitt der RAL RG678

⁹ RAL-RG 678: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Anforderungen, S.4f

3.1.2 Ausstattungswerte anhand einer Checkliste

Weitere Informationen liefert eine Checkliste, welche die Ausstattungswerte anhand der Nutzeranforderungen ermittelt. Studenten der Technischen Hochschule Rosenheim haben im Zuge der Vorlesung „Gebäudeautomation“ eine Methode entwickelt, mit welcher man die Anforderungen an Gebäudeautomationsfunktionen beim Nutzer abfragen kann. Anhand dieser Checkliste werden pro Raum folgende Kategorien durchlaufen: „Heizung“, „Lüftung“, „Beleuchtung“, „Kühlung“, „Verschattung“, „Sicherheit“ sowie „weitere Funktionen“.

Die Checkliste soll dem Fachmann als Hilfsmittel dienen und ist dabei so konzipiert, dass später alle benötigten Sensoren und Aktoren leicht ermittelt werden können. ¹⁰

Ein Beispiel:

Checkliste zur Auswahl der gewünschten Anforderung pro Raum		Schlafzimmer	Kommentar	
Beleuchtung	B1	Die Beleuchtung soll von mehreren Stellen aus gedimmt oder geschaltet werden können.	X	
	B2	Es soll möglich sein, dass mehrere Leuchten über einen Tastendruck auf Lichtszenen eingestellt werden.	X	Es soll möglich sein 3 verschiedene Lichtszenen zu schalten
	B3	Es soll möglich sein, mit einem Taster mehrere Leuchten bzw. Leuchtengruppen auf einmal schalten oder dimmen zu können.	X	
	B4	Bei An-/Abwesenheit soll sich die Beleuchtung automatisch ein- oder ausschalten.	X	Bei Anwesenheit Leuchten über Tisch und Sofa: "an, bei Abwesenheit: "aus" nach ... Minuten
	B5	Die Helligkeit der Beleuchtung soll sich automatisch anpassen - d.h. bei erhöhtem Tageslichteinfall automatisch herunterdimmen.	X	

Abbildung 3: Ausschnitt aus der Checkliste zur Ermittlung der Nutzeranforderungen

Wie in dem Beispiel zu sehen, werden für jede Kategorie die gewünschten Funktionen raumweise angekreuzt. In der Kommentarspalte können zusätzliche Erläuterungen eingetragen werden.

¹⁰ Prof.Dr.Krödel,Michael: Technische Hochschule Rosenheim, Vorlesung für Gebäudeautomation

3.1.3 Ausstattungswerte nach Ergebnissen verschiedener Studien

Zusätzliche Erkenntnisse bezüglich möglicher Nutzeranforderungen liefern zwei Studien, welche im Rahmen von Abschlussarbeiten an der Technischen Hochschule Rosenheim entstanden sind:

Eine der Arbeiten wurde im Jahr 2013 für das Fertighausunternehmen Hanse-Haus GmbH erstellt. Auf Basis von Umfragen zum Thema Kundenanforderungen im Bereich Smart Home entwickelte Frau Monika Kos eine Empfehlung für Aufbau und Inhalt verschiedener Ausstattungsvarianten.

Als Ergebnis wurde ein Standard-Ausstattungspaket erarbeitet, welches mit Erweiterungspaketen in den Bereichen „Sicherheit“, „Energie“ oder „Komfort“ ergänzt werden kann.¹¹

Jedes Paket enthält Art und Anzahl aller Sensoren und Aktoren, welche die Befragten als wichtig angaben. Zudem bei allen Paketen gewünscht war die Steuerung via App.

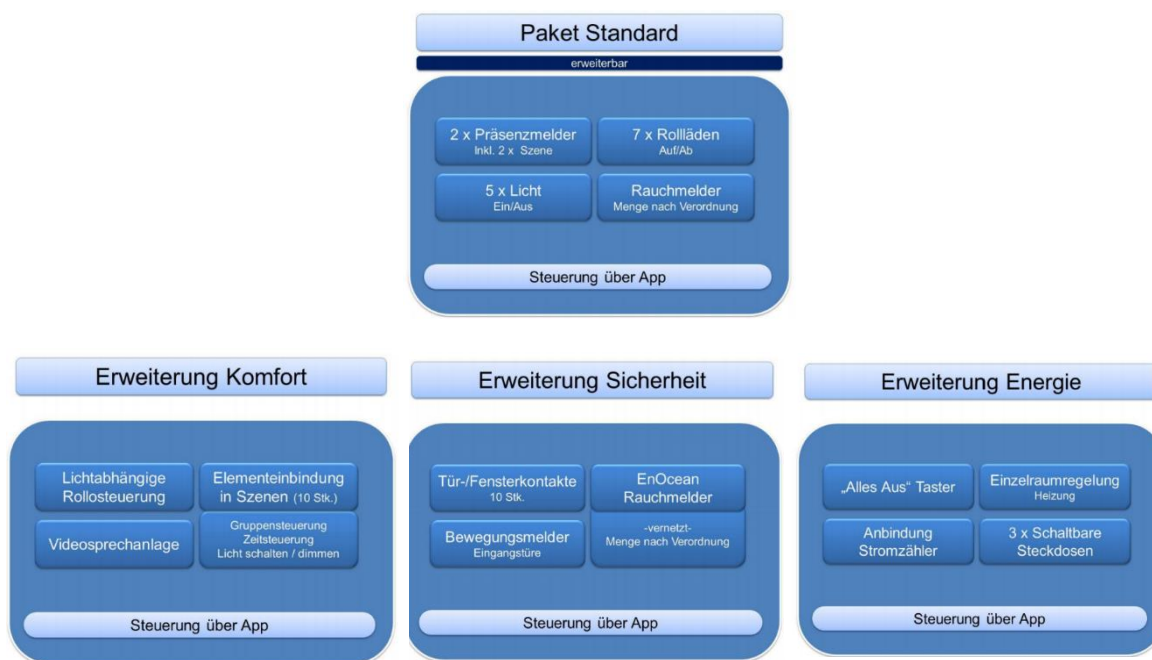


Abbildung 4: Ausstattungspakete nach Kos, Monika (2013)

Ähnliche Ergebnisse liefert eine Studie von 2011, welche sich mit dem Einsatz von Gebäudeautomation als Unterstützung im Zuge von altersgerechtem Wohnen be-

¹¹ Vgl. Kos, Monika: Vergleich von „Smart-Home“ Gebäudeautomationssystemen und eine darauf basierende Entwicklung von Ausstattungsvarianten am Beispiel Hanse-Haus GmbH Oberleichtersbach. Rosenheim, Technische Hochschule Rosenheim, Fakultät für Holztechnik und Bau, Bachelorarbeit, 2013

schäftigt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden von Herrn Kay Mattausch ebenfalls Ausstattungspakete erarbeitet. Hier staffeln sich die Pakete bezüglich der Automationskomponenten in verschieden stark ausgeprägten Komfortvarianten.¹²

Kategorie	Basis	
	Basis	
Bereich Nr.	Bereich	F. Nr. Funktion
1000	Elektrik	1001 Bussystem 1002 Steckdosen 1004 Ethernet Verkabelung
2000	Sicherheit	2004 Rauchmelder 2011 Videokamera Eingangstür/Flur
3000	Komfort	3003 Automatische Rollläden 3008 Einzelraumregelung Heizung 3011 Abluftsteuerung
6000	Steuerung	6001 Taster
Bereich Nr.	Bereich	F. Nr. Funktion
1000	Elektrik	1001 Bussystem 1002 Steckdosen 1003 Fernbedienbare Steckdosen 1004 Ethernet Verkabelung
2000	Sicherheit	2001 Alarmanlage 2002 Bewegungsmelder 2004 Rauchmelder 2005 Wassersensoren 2007 Anwesenheitssimulation 2008 Zentral-Aus-Schalter 2009 Automatische Fenster 2010 Wetterabhängige Steuerung 2011 Videokamera Eingangstür/Flur 2012 Automatische Grundbeleuchtung
3000	Komfort	3001 Lichtszenarien 3002 Bewegungsabhängige Lichtsteuerung 3003 Automatische Rollläden 3004 Rollläden Szenarien 3005 Sonnenschutz 3007 Automatische Fenstersteuerung 3008 Einzelraumregelung Heizung 3009 Anzeige von aktiven Elementen 3011 Abluftsteuerung 3014 Statusmeldungen von Aktoren 3015 Elektr. Zähler 3016 Zentrale Steuerung Medientechnik
4000	Energie	4002 Einzelraumregelung Heizung +
6000	Steuerung	6001 Taster 6002 Zentralmonitor 6005 Tablet PC

Abbildung 5: Ausstattungspakete für altersgerechtes Wohnen nach Mattausch (2011)

¹² Mattausch, Kay: Einsatz von Gebäudeautomation zur Unterstützung für altersgerechtes Wohnen. Rosenheim, Technische Hochschule Rosenheim, Fakultät für Holztechnik und Bau, Diplomarbeit, 2011

3.1.4 Zusammenfassung

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Ausstattung der Grundrisse jeweils in einer Mindest- und in einer Vollausstattung. Diese unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Anzahl der eingeplanten Sensoren und Aktoren. In der Vollausstattung wird vor allem dem Bereich Sicherheit mehr Gewichtung zugetan. Die Komponenten für die jeweilige Ausstattungsvariante der Ein- und Dreizimmerwohnung können, für die Bereiche: Komfort, Energie und Sicherheit, den untenstehenden Tabellen entnommen werden.

Mindestausstattung – Einzimmerwohnung, Dreizimmerwohnung	
Bereich	Komponente
Komfort	Jalousieaktor
Komfort	Jalousietaster
Komfort	Dimmaktor
Komfort	Taster 2 Tasten
Energie	Raumtemperaturfühler mit Eingabe
Energie	Stellantrieb
Energie	Schaltaktor UP
Sicherheit	Rauchmelder

Tabelle 1: Komponenten – Mindestausstattung, Einzimmerwohnung und Dreizimmerwohnung

Vollausstattung – Einzimmerwohnung, Dreizimmerwohnung	
Bereich	Komponente
Komfort	Jalousieaktor
Komfort	Jalousietaster
Komfort	Dimmaktor
Komfort	Taster 2 Tasten
Energie / Komfort	Helligkeits- und Präsenzmelder
Energie	Raumtemperaturfühler mit Eingabe
Energie	Stellantrieb
Energie	Schaltaktor UP
Energie	Zentraltaster
Sicherheit	Rauchmelder
Sicherheit	Wetterstation
Sicherheit	Fensterkontakt

Tabelle 2: Komponenten – Vollausstattung, Einzimmerwohnung und Dreizimmerwohnung

Bei der Ausstattung des Einfamilienhauses wird dem Thema Sicherheit bereits in der Mindestausstattung mehr Gewichtung zugelegt. Das hat den Grund, dass es sich bei diesem um ein freistehendes Gebäude handelt. Die eingeplanten Komponenten können den Tabellen 3 und 4 entnommen werden.

Mindestausstattung - Einfamilienhaus	
Bereich	Komponente
Komfort	Jalousieaktor
Komfort	Jalousietaster
Komfort	Dimmaktor
Komfort	Taster 2 Tasten
Energie	Raumtemperaturfühler mit Eingabe
Energie	Stellantrieb
Energie	Schaltaktor UP
Sicherheit	Rauchmelder
Sicherheit	Wetterstation
Sicherheit	Fensterkontakt

Tabelle 3: Komponenten – Mindestausstattung, Einfamilienhaus

Einfamilienhaus Vollausstattung	
Bereich	Komponente
Komfort	Jalousieaktor
Komfort	Jalousietaster
Komfort	Dimmaktor
Komfort	Taster 2 Tasten
Energie / Komfort	Helligkeits- und Präsenzmelder
Energie	Raumtemperaturfühler mit Eingabe
Energie	Stellantrieb
Energie	Schaltaktor UP
Energie	Zentraltaster
Sicherheit	Rauchmelder
Sicherheit	Wetterstation
Sicherheit	Funksirene
Sicherheit	Fensterkontakt


Tabelle 4: Komponenten – Vollausstattung, Einfamilienhaus

Anhand der oben genannten Quellen werden nun für jeden Grundriss die Ausstattungswerte für eine Mindest- und eine Vollausstattung zusammengestellt. Die Ausstattung erfolgt nach dem folgenden Schema:

Die Anzahl der Steckdosen, Beleuchtungs- und Kommunikationsanschlüsse werden den Empfehlungen nach DIN 18015 und RAL RG678 in der Ausstattungsvariante „★★★- Komfortausstattung“ entnommen.

Für die Automationsfunktionen werden die Ergebnisse der „Checkliste zur Ermittlung der Nutzeranforderungen“ angeführt. Informationen hierfür liefern die in Abschnitt 3.1.3 angeführten Ergebnisse zweier Studien bezüglich der Präferenzen verschiedener Nutzergruppen. Empfehlungen der RAL RG678 werden teilweise berücksichtigt. Sie dienen allerdings eher als Vergleichs- und gegebenenfalls als Ergänzungsreferenz für die aus der Checkliste ermittelten Ergebnisse.

Zudem muss erwähnt werden, dass persönliche Erfahrungswerte der Autorin mit-einfließen.

	Konventionell		
Mindestausstattung	DIN18015- RAL-RG678		
Vollausstattung	„★★★“-Komfortausstattung		

- Checkliste zur Ermittlung der Nutzeranforderungen*
- Ergebnisse anderer Studien*

Abbildung 6: Ausstattungswerte – Quellen

3.2 Zusammenstellung der Komponenten

Im nächsten Schritt können nun aus den vorher ermittelten Ausstattungswerten alle benötigten Komponenten (Sensoren und Aktoren) zusammengestellt werden. Dies wird für alle drei Grundrisse in den beiden Ausstattungsvarianten, EnOcean und KNX, durchgeführt. Das Ergebnis bildet jeweils eine Liste, welche zimmerweise die Kategorie, die Funktion und die zum Ausführen der Funktion benötigten Sensoren und Aktoren anführt.

Beispielzimmer			
	Funktion	Sensoren	Aktoren
Funktionsbereich

Tabelle 5: Beispieltabelle- Zusammenstellung benötigter Sensoren und Aktoren

3.3 Grundrissplanung und Ermittlung der Stücklisten

Im Zuge der Grundrissplanung werden alle vorher ermittelten Komponenten (Sensoren und Aktoren) grafisch in den jeweiligen Grundriss eingezeichnet. Hierfür wird die Position der jeweiligen Komponenten im Raum festgelegt. Danach können alle Verkabelungskomponenten eingezeichnet werden.

Die Grundrissplanung wird für alle drei Grundrisse in jeder Ausstattungsvariante durchgeführt. Als Ergebnis erhält man für jeden Grundriss fünf Varianten:

Beispielgrundriss:

- Konventionelle Ausstattung
- Mindestausstattung – KNX
- Mindestausstattung – EnOcean
- Vollausstattung – KNX
- Vollausstattung – EnOcean

Diese besteht aus zwei Teilen, getrennt durch einen Bindestrich. Der erste Teil, bestehend aus Buchstaben, bildet das Kürzel der jeweiligen Raumbezeichnung. Den zweiten Teil bildet eine Zahlenkombination, wobei die erste Zahl die Nummer des jeweiligen Stromkreises ist und die zweite Zahl alle Komponenten eines Stromkreises chronologisch durchnummeriert.

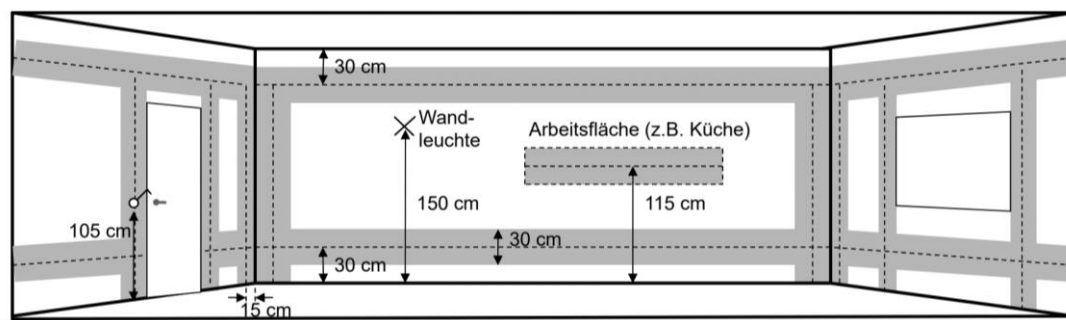
Eine detaillierte Auflistung der Kürzel, inklusive Erläuterungen, findet sich im Anhang A.

In weiterer Folge werden aus den nummerierten Komponenten Stücklisten generiert und mit Produktpreisen ausgewählter Hersteller hinterlegt.

Kürzel	Komponenten	Quelle	Position	m	Stk
...

Tabelle 6: Beispiel Stückliste

Bei der Planung der Verkabelung ist es außerdem wichtig, dass die sogenannten Installationszonen nach DIN18015-3 berücksichtigt werden.

Abbildung 7: Installationszonen¹³

Die waagrechte Installationszone verläuft standardmäßig mit einer Breite von 30 cm entweder mit einem Abstand von 30 cm über dem Boden (untere Installationszone) oder 30 cm unter der Decke (obere Installationszone).

Senkrechte Installationszonen sind ebenfalls 30 cm breit und verlaufen 15 cm neben Wandabschlüssen.

Bei der Position der Schalter ist zu beachten, dass diese ca. 105 cm über der Oberkante des Fertigfußbodens positioniert werden sollten. Steckdosen befinden sich standardmäßig 30 cm über dem Boden. Für Festanschlüsse werden Steckdosen 20 cm, für Einbaugeräte 135 cm, und bei Arbeitsflächen 115 cm über dem Boden positioniert.

Zudem sollten Kabel immer waagrecht oder senkrecht zueinander verlegt werden.¹⁴

¹³ Vgl. Prof. Dr. Michael Krödel, Gebäudetechnik Elektro Ausstattungsplanung, Rosenheim, Technische Hochschule Rosenheim, S.5

¹⁴ Vgl. DIN 18015-3: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden - Teil 3: Leitungsführungen und Anordnung der Betriebsmittel

3.4 Herstellerinformationen und Kostenquellen

Im Folgenden werden nun die entstehenden Kosten, für die jeweiligen Ausstattungen ermittelt. Im Zuge dessen werden alle in der Stückliste angeführten Positionen mit aktuellen Preisen ausgewählter Hersteller hinterlegt. Dabei fallen folgende Kosten-
gruppen an:

- Materialkosten der Komponenten (Sensoren und Aktoren) inklusive Montage, Programmierung und Inbetriebnahme
- Materialkosten für Kabel und Leerrohre, inklusive dem Aufwand für die Verlegung
- Wandschlitzarbeiten inklusive Verputzarbeiten
- Kosten für Planung und Programmierung
- Kosten für Installation und Inbetriebnahme
- *Aufschlag für den Elektrofachbetrieb (30 %)*
- *Gesetzliche Mehrwertsteuer (19 %)*

Materialpreise für die konventionelle Ausstattungsvariante werden der „Kalkulationshilfe für Elektro- und Informationstechnische Handwerke“ kurz „KFE“ des „Zentralverband der deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke“ kurz „ZVEH“, entnommen. Bei der ZVEH handelt es sich um einen Verband, welcher die Interessen von 49.949 Unternehmen aus den drei Handwerken Elektrotechnik, Informationstechnik und Elektromaschinenbau, vertritt. „Die KFE ist das Nachschlagewerk für den Elektrohandwerker und enthält sämtliche Daten unter anderem ca. 13.000 Leistungsdaten, d. h. Datenverknüpfungen Material + Verlege-/Verarbeitungsart für den Bereich Neubau-Installation“¹⁵.

Der Materialkostenanteil für die EnOcean und KNX Ausstattungen basieren auf den Produktpreisen repräsentativer Hersteller. Die Preise stammen aus den jeweiligen aktuellen Produktkatalogen. Für die KNX-Ausstattung wurden größtenteils Produkte der Firma *Hager* gewählt. Für einzelne Komponenten wurden aber auch Produktinformationen der Firma *Gira* und *Berker* verwendet. Für die EnOcean Ausstattung wurden Produkte der Firma *Eltako* gewählt. Diese Hersteller wurden als Repräsentanten für die jeweilige Ausstattungsvariante gewählt, da sie jeweils das vielfältigste Angebot an Produkten aufweisen.

Kosten für die Kabel und Leerrohre werden ebenfalls den Listen der KFE entnommen. Nicht berücksichtigt werden in der Arbeit die entstehenden Betriebs- sowie Standby-Kosten der Komponenten.

Die Kosten für Installation und Inbetriebnahme aller Komponenten entstammen der KFE.

¹⁵ Kalkulationshilfe für die elektro- und informationstechnische Handwerke – KFE, Ausgabe 2020/2021
Erweiterte Neuauflage

	Variante	Hersteller	Quelle
Materialkosten Komponenten	Konventionell	Daten verschiedener Hersteller: Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH)	Kalkulationshilfe für elektro- und informationstechnische Handwerke (KFE), Stand 2020
Materialkosten Komponenten	KNX	Hager Vertriebsgesellschaft mbH & Co. KG	Katalogauszüge, Stand 2021
Materialkosten Komponenten	EnOcean	Eltako GmbH	Produktkatalog 2021
Materialkosten Verkabelungen	Konventionell KNX EnOcean	Daten verschiedener Hersteller: Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH)	Kalkulationshilfe für elektro- und informationstechnische Handwerke (KFE), Stand 2020

	Variante	Hersteller	Quelle
Kosten Installation und Inbetriebnahme	Konventionell KNX EnOcean	Daten verschiedener Hersteller: Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH)	Kalkulationshilfe für elektro- und informationstechnische Handwerke (KFE), Stand 2020

Tabelle 7: Quelle - Kosteninformationen

Für die Installation aller KNX und EnOcean Komponenten muss nur der Lohn für die Montage berechnet werden. Dieser wird der in der Tabelle „rot“ markierten Spalte entnommen.

Für alle Komponenten, welche sowohl die Materialkosten, also auch die Kosten für Installation und Inbetriebnahme der KFE entstammen, kann direkt der Kalkulationsatz für Lohn und Material gewählt werden.

Der für die Arbeit gewählte Kalkulationssatz ist in Abbildung 7 beispielhaft „grün“ gekennzeichnet. Da die Lohnkosten in den letzten Jahren gestiegen sind, wurde der höhere Stundenlohn (52,22€ / Stunde) mit einem Aufschlag von 20% auf den netto Materialpreis, angenommen.

Leistungspositionen für die elektro- und informationstechnischen Handwerke • Stand 06/2020 • unverbindliche Kalkulationsbeispiele • Cu 500/Al 175 • Seite 1

01.01. Kabel und Leitungen Mantelleitung einziehen	Zeit Minuten	Lohn/Montage (€/Stunde)			Material (€/Meter bzw. €/Stück)			Kalkulationsansatz für Lohn + Material (€)					
		45,74 €	52,22 €	eigen	netto	20 %	35 %	eigen	45,74/20%	45,74/35%	52,22/20%	52,22/35%	eigen
Alle Materialrechenwerte basieren auf der Grundlage deutscher Leitungs- und Kabelfertigung. Einen Vorschlag über eine Edelmetall Gleichklausel befindet sich unter 13.01.70 PVC-Mantelleitung, DIN VDE 0250-204, in Teillängen liefern und auf vorhandene Pritschen und Wannen verlegen, in Elektroinstallationskanäle einlegen oder in Leerrohre einziehen als:													
01.01.01 01.01.0101 NYM-J 1x2,5 mm² Cu 24	1,5	1,14	1,31		0,32	0,38	0,43		1,52	1,57	1,69	1,74	
01.01.02 01.01.0201 NYM-J 1x4 mm² Cu 38	1,5	1,14	1,31		0,40	0,48	0,54		1,62	1,68	1,79	1,85	
01.01.03 01.01.0301 NYM-J 1x6 mm² Cu 58	1,8	1,37	1,57		0,55	0,66	0,74		2,03	2,11	2,23	2,31	
01.01.04 01.01.0401 NYM-J 1x10 mm² Cu 96	3,0	2,29	2,61		0,86	1,03	1,16		3,32	3,45	3,64	3,77	

Abbildung 8: Beispielauszug der KFE

Die ermittelten Preise müssen zusätzlich mit Aufschlägen versehen werden. Diese Aufschläge unterscheiden sich je nach Kostengruppe und Quelle. Auf alle Preise, die der KFE entstammen, müssen 19% Mehrwertsteuer aufgeschlagen werden. Alle Preise, die den Produktkatalogen bestimmter Hersteller entstammen, müssen mit 19% Mehrwertsteuer sowie einem Aufschlag für den Elektrofachbetrieb kalkuliert werden, der in dieser Arbeit mit pauschal 30% angesetzt wird.

	Kostengruppe	Quelle	Aufschläge
Konventionell	Materialkosten	KFE	19% MwSt. Faktor 1,19
	Installation	KFE	19% MwSt. Faktor 1,19
KNX	Materialkosten inkl. Planung, Programmierung und Inbetriebnahme (Komponenten)	Produktkatalog Hager (GIRA)	19% MwSt. + 30 % Elektrofachbetrieb Faktor 1,55
	Installation (Komponente)	KFE	19% MwSt. Faktor 1,19
	Materialkosten inkl. Montage (Kabel und Leerrohre)	KFE	19% MwSt. Faktor 1,19
EnOcean	Materialkosten inkl. Planung, Programmierung und Inbetriebnahme (Komponenten)	Produktkatalog Eltako	19% MwSt. + 30 % Elektrofachbetrieb Faktor 1,55
	Installation (Komponente)	KFE	19% MwSt. Faktor 1,19
	Materialkosten inkl. Montage (Kabel und Leerrohre)	KFE	19% MwSt. Faktor 1,19

Tabelle 8: Kostenaufschläge

Da Systemintegratoren üblicherweise Einkaufsrabatte erhalten, wurde angenommen, dass der Betrag dieser Rabatte in etwa dem kostentechnischen Aufwand entspricht, der für die Planung und Programmierung durch eine Fachkraft entstehen würde.

Zudem ist zu erwähnen, dass bei der KNX Technologie folgende zusätzliche Kosten anfallen, welche in der Arbeit nicht berücksichtigt werden:

- **Kosten für das ETS – Tool:**

Dabei handelt es sich um eine Engineering Tool Software, welche die Programmierung aller KNX-Geräte ermöglicht. Ohne diese Software ist eine Konfiguration nicht möglich. Der Preis hierfür liegt bei ca. 1000 €, wobei die Lizenz nach einem bestimmten Zeitraum erneuert werden muss. Es wird daher für jedes Projekt eine Pauschale aufgeschlagen, die der jeweilige Fachmann festlegt und welche diese Kosten abdeckt.¹⁶

3.5 Betriebskosten

Die Betriebskosten werden in der Arbeit nicht berücksichtigt. Grundsätzlich lässt sich allerdings folgendes dazu sagen:

Die entstehenden Betriebskosten setzen sich aus den Kosten für die benötigten Betriebs- und den Standby Kosten der Komponenten zusammen.

Die Kosten für die Energieversorgung liegen in Deutschland bei ungefähr 0,30€/kWh.¹⁷

Bei der KNX-Technologie werden die Komponenten mit einer 30V- Betriebsspannung über ein TP-Buskabel versorgt. Der Energiebedarf berechnet sich anhand der Herstellerangaben bezüglich des Strombedarfs der einzelnen Komponenten.

Bei der EnOcean Technologie bekommen die Aktoren ihre Betriebsenergie über den jeweils angeschlossenen Stromkreis. Die Sensoren verursachen keine Betriebskosten, da diese ihre Energie durch das sogenannte „Energy-Harvesting“ beziehen. Das bedeutet, sie erhalten ihre Energie aus der Umwelt, zum Beispiel durch kinetischen Druck auf einen Taster.¹⁸ Die Aktoren beziehen ihre Betriebsenergie aus dem jeweiligen Stromkreis. Der Gesamtenergiebedarf jedes Aktors lässt sich aus den Datenblättern ermitteln.

Zusätzlich sind die Standby Verbräuche der einzelnen Komponenten zu beachten, welche ebenfalls dem jeweiligen Datenblatt zu entnehmen sind.

¹⁶ URL: [https://ETS5 Professional KNX Association \[Official website\]](https://ETS5 Professional KNX Association [Official website]); [19.06.2021]

¹⁷ Vgl. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/SMARD/Aktuelles/smardaktuelles_node.html, [20.06.2021, 09:16]

¹⁸ URL: <https://www.enocean.com/de/technology/energy-harvesting/> [22.04.2021, 14:12]

3.6 Kostenzusammenstellung

Zunächst werden alle Kostenfaktoren, die für die Verkabelung (Material und Lohn) benötigt werden, tabellarisch aufgelistet. Bei diesen Werten handelt es sich um die Nettopreise pro Stück / pro Meter, ohne Aufschläge.

Verkabelung (Material und Installation)			
Quelle	Komponenten	Position	Kosten in €
...

Tabelle 9: Beispieltabelle – Preise Verkabelung

Für die KNX und die EnOcean Variante werden die Kosten für Material und Installation der Komponenten einzeln erfasst, wie in den Tabellen 6 und 7 beispielhaft dargestellt.

Komponenten (Material)			
Quelle	Komponenten	Position	Material Kosten in € (netto)
...

Tabelle 10: Beispieltabelle – Preise Komponente (Material)

Komponenten (Installation)			
Hersteller	Komponenten	Position	Installationskosten in € (netto)
...

Tabelle 11: Beispieltabelle – Preise Komponenten (Installation)

Für die KNX Ausstattungsvariante sind zusätzliche Komponenten im Verteilerkasten nötig.

Verteilerkasten (Material)			
Quelle	Komponenten	Position	Kosten in €
...

Tabelle 12: Beispieltabelle – Preise Verteilerkasten (Material)

Im letzten Schritt werden nun alle Positionen mit jeweiligen Nettopreisen sowie den sich aus den Stücklisten ergebenden Stückzahlen multipliziert und im letzten Schritt mit den jeweiligen Aufschlägen versehen.

Daraus ergibt sich die jeweilige Gesamtinvestitionssumme für den jeweiligen Grundriss sowie die daraus resultierenden Kosten pro Quadratmeter. Dieser Wert kann nun vom Nutzer als Orientierungswert bezüglich der zu erwartenden Investitionskosten für Grundrisse ähnlicher Größe genutzt werden.

Zusammenstellung Kosten				
Quelle	Komponenten	Position	STK	Aufwand (Material + Installation) inkl. Aufschläge in €
...
		Summe		...
Quelle	Komponenten	Position	m	Aufwand (Material + Installation) inkl. Aufschläge in €
...
		Summe		...
		Gesamtkosten		...
		Pro Quadratmeter		---

Tabelle 13: Beispieltabelle – Kostenzusammenstellung

3.7 Vergleich

Nachdem die Kostenermittlung innerhalb eines Grundrisses für alle drei Ausstattungstechnologien in beiden Ausstattungsvarianten abgeschlossen ist, können verschiedene Vergleiche durchgeführt werden.

Für jeden Grundriss in jedem der beiden Ausstattungsgrade werden die Ergebnisse, wie im Folgenden aufgelistet, grafisch dargestellt.

- **Vergleich innerhalb eines Ausstattungsgrades**
Pro Grundriss – Pro Ausstattungsgrad– ***Vergleich von konventioneller Verkabelung, KNX und EnOcean***
 - Gesamtinvestitionskosten für die Einzimmerwohnung
 - Gesamtinvestitionskosten pro qm
 - Kostenverteilung (Verkabelung und Komponenten)

In Kapitel 5 werden abschließend alle Ergebnisse zusammengefasst und ebenfalls grafisch veranschaulicht.

- **Vergleich zwischen verschiedenen Grundrissen**
Pro Ausstattungsvariante – Pro Ausstattungsgrad – ***Vergleich von Grundrissen***

4 Beispiel: Einzimmerwohnung – Vollausrüstung

Die Studie beschäftigt sich, wie schon erwähnt, grundsätzlich mit drei verschiedenen Gebäudegrundrissen, die jeweils mit einer konventionellen Elektroinstallation, einer KNX-Variante und einer EnOcean -Varianten für eine Mindestausstattungs- und eine Vollausrüstungsvariante geplant werden sollen.

Im Folgenden wird das Vorgehen exemplarisch anhand eines Grundrisses genauer beschrieben. Betrachtet werden soll eine Vollausrüstung des unten dargestellten Gebäudegrundriss einer 43 m²großen Einzimmerwohnung.

Die detaillierte Ausstattung der Einzimmerwohnung in der Mindestausstattungsvariante befindet sich im Anhang A. Die Ergebnisse beider Ausstattungsvarianten werden in Kapitel 4.5 diskutiert und verglichen.

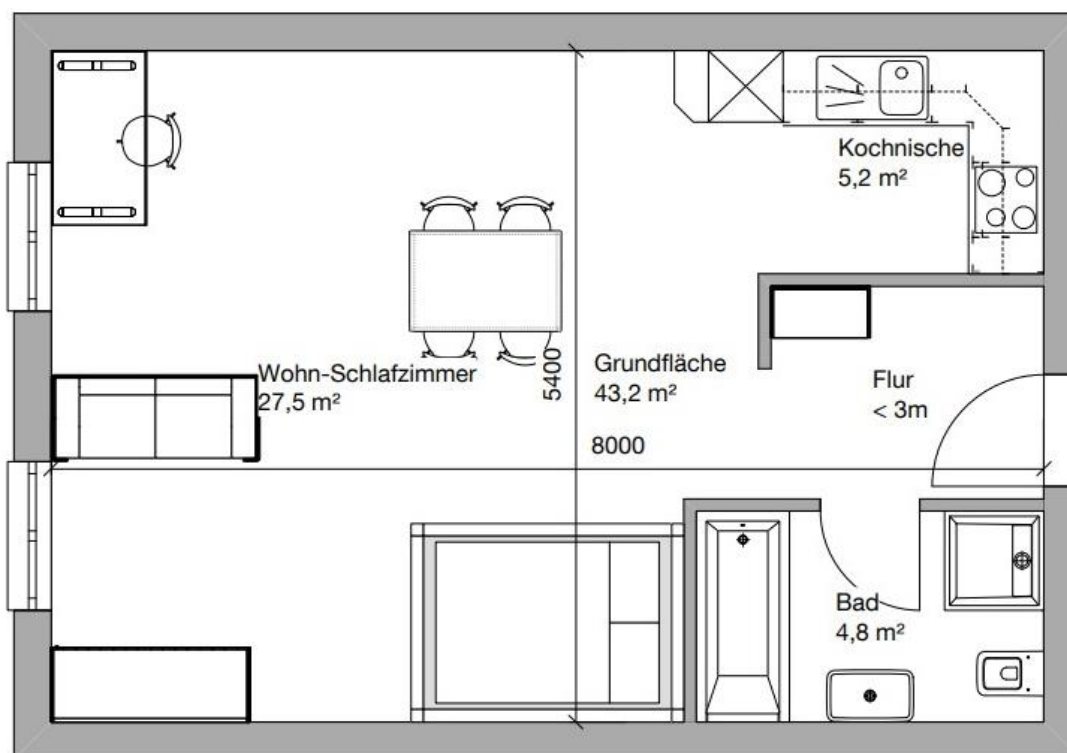


Abbildung 9: Grundriss Einzimmerwohnung¹⁹

¹⁹ Krafft, Julian: Vergleich unterschiedlicher Gebäudeautomationssysteme für den privaten Wohnungsbau. Rosenheim, Technische Hochschule Rosenheim, Fakultät für Holztechnik und Bau, Diplomarbeit, 2013

4.1 Ausstattungswerte- Einzimmerwohnung- Vollaussattung

In den folgenden Abschnitten erfolgt die Ermittlung der Ausstattungswerte, nach dem in Kapitel 3 beschriebenen Vorgehen.

4.1.1 Ausstattungswerte nach DIN 18015 und RAL RG678

Die nachfolgende Tabelle enthält die nach DIN 18015 empfohlenen Werte für eine „★★★ Komfortausstattung“ und die nach RAL-RG678 empfohlenen „★★★plus“-Werte für zusätzliche Funktionsbereiche.

Im weiß gekennzeichneten Bereich befinden sich die Anzahl der Anschlüsse für Steckdosen, Beleuchtungs- sowie Kommunikationsanschlüsse. Diese werden, wie in der Tabelle aufgelistet, eingeplant. So sind zum Beispiel insgesamt 42 Steckdosen einzuplanen, von welchen 17 schaltbar sein sollen. 11 Beleuchtungsanschlüsse sind vorgesehen sowie jeweils ein Anschluss für ein Kühlgerät, einen Lüfter und einen Dunstabzug. Je nach Anzahl der Fenster sind 2 Rollladenantriebe vorgesehen. In jedem Raum ist ein Stromkreis einzuplanen, im Wohn- bzw. Schlafzimmer aufgrund seiner Größe zwei.

Der blau gekennzeichnete Bereich der Tabelle enthält die ergänzenden Komponenten für die Funktionsbereiche, welche die RAL im Zuge der Gebäudeautomation empfiehlt.²⁰ Diese werden im Zuge dieser Arbeit nicht direkt berücksichtigt, sondern dienen allerdings als Vergleichswerte.

²⁰ Vgl. RAL-RG 678: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Anforderungen

★★★ nach RAL 678 inklusive "★★★ plus"Variante	Schlaf-/Arbeitszimmer > 20m ²	Kochnische	Bad	Flur, Diele Länge: < 3m	gesamt
Einzelzimmeranzahl	1	1	1	1	
Anzahl der Steckdosen, - Beleuchtungs- und Kommunikationsanschlüsse					
Steckdosen allgemein	13	4	5	3	25
Beleuchtungsanschlüsse	4	2	3	2	11
Steckdosen für Telefon/Daten	4		2	2	8
Steckdosen für Radio/TV/Daten	6		3		9
Kühlgerät, Gefriertruhe		1			1
Dunstabzug		1			1
Anschluss für Lüfter			1		1
Rolladenantrieb, Fensterabhängig	2				2
Beleuchtungs- und Steckdosenstrimkreise					
nach RAL rg 678	2	1	1	1	5
Funktionsbereich: Schalten/ Dimmen (bezogen auf die Anzahl der Beleuchtungsanschlüsse)					
Schalten	4	2	3	2	11
Status Schalten	4	2	3	2	11
Dimmen	4				4
Status Dimmen	4				4
Sperren					0
Szene	2				2
Bewegungsmeldung				1	1
Anwesenheitserkennung (Präsenzmeldung)	1		1		2
Funktionsbereich: Schaltbare Steckdosen/Geschaltete Geräte/ Energiemanagement					
Warmwassergerät		1	1		2
Heizgerät			1		1
Waschmaschine			1		1
Geschirrspülmaschine					0
Wäschetrockner			1		1
Gefriergerät					0
Funktionsbereich Sonnenschutz					
Auf/ab fahren, Stopp	1	1	1		3
Position anfahren	1	1	1		3
Status Position	1	1	1		3
Sperren	1	1	1		3
Szene	1				1
Funktionsbereich: Heizen, Lüften, Kühlen					
Raumtemperaturregler	1	1	1		3
Ventilstellantrieb (je Heiz-/Kühlkreis)	1	1	1		3
bedarfsgesteuerte Lüftung (CO ₂ -/Feuchtesensor)	1	1	1		3
Anwesenheitserkennung	1		1	1	3
Fensterkontakt; Fensterabhängig	2				2
Funktionsbereich: Sicherheit					
Fensterkontakt; Fensterabhängig	1				1
Brandmelder	1	1	1		3
Anwesenheitssimulation	1	1	1		3
Anwesenheitssimulation (Präsenzmeldung)	1	1	1		3
Bewegungsmeldung	1	1	1		3

Tabelle 14: Ausstattungswerte nach RAL RG678, Einzimmerwohnung, Vollaussattung

4.1.2 Ausstattungswerte – Checkliste

In der „Checkliste zur Auswahl der gewünschten Anforderungen pro Raum“ werden unter Berücksichtigung der in Kapitel 3 aufgeführten Ergebnisse zweier Studien, folgende Annahmen getroffen.

Im Schlaf- bzw. Wohnbereich der Wohnung soll die Heizung auf einen Sollwert geregelt werden können. Zusätzlich soll es möglich sein, ein Zeitprogramm zu hinterlegen. Im Sinne der Energieeinsparung soll die Heizung bei Abwesenheit die Temperatur automatisch absenken.

Die Beleuchtung soll einzeln und in Gruppen von verschiedenen Stellen im Zimmer schaltbar sein. Es sollen drei verschiedene Lichtszenen geschaltet werden können. Um unnötige Beleuchtung zu verhindern, soll sich das Licht je nach Helligkeit dimmen und bei Abwesenheit des Nutzers gänzlich ausschalten.

Für die Steuerung beider Jalousien soll ein Taster angebracht werden. Auch hier soll die Steuerung über Zeitprogramme erfolgen. Zudem soll sich die Verschattung aufgrund von Präsenz, Außenhelligkeit und Wetterdaten selbst herauf- bzw. herabfahren.

Im Rahmen der Sicherheit sollen die Fenster überwacht werden und bei einem potenziellen Einbruch den Nutzer über eine App alarmieren. Zusätzlich soll eine Warnung erfolgen, falls die Fenster beim Verlassen der Wohnung nicht richtig verschlossen wurden. Außerdem soll ein Rauchmelder im Hauptraum der Wohnung angebracht werden. Um die Wohnung bei längerer Abwesenheit bewohnt erscheinen lassen zu können, soll das Licht über eine Anwesenheitssimulation steuerbar sein. Über einen Zentraltaster im Eingangsbereich soll die gesamte Beleuchtung „an“ oder „aus“ geschaltet werden können. Einige Funktionen sollen zudem über einen frei positionierbaren Handtaster steuerbar sein. In der Kochnische soll es möglich sein, alle drei Leuchten über einen Schalter an der Wand zu schalten. Die Leuchte über der Arbeitsfläche soll zusätzlich über einen Taster im Bereich der Arbeitsfläche geschaltet werden können. Zusätzlich soll sich die Beleuchtung bei Abwesenheit abschalten und anhand von Helligkeitswerten dimmen. Im Flur sollen zwei Taster neben der Eingangstüre installiert werden. Einer davon soll die Flurbeleuchtung schalten, der andere als Zentraltaster für alle Leuchten dienen. Bei Abwesenheit soll sich die Beleuchtung selbstständig abschalten.

Im Badezimmer soll sich die Temperatur automatisch auf einen Sollwert einstellen. Zusätzlich soll es möglich sein, Zeitpläne für die Heizung zu hinterlegen. Da das Badezimmer über kein Fenster verfügt, soll es möglich sein, ein Lüftungssystem zu installieren, welches über eine Präsenzerkennung gesteuert werden soll. Alle drei Leuchten sollen über einen Taster neben der Türe schaltbar sein. Die Leuchte über dem Spiegel soll zusätzlich über einen Taster neben dem Spiegel geschaltet werden können. Die Deckenleuchten sollen sich bei Anwesenheit automatisch an-, bei Abwesenheit ausschalten.

Einige Funktionen sollen über das Smartphone vom Benutzer gesteuert werden können, wie zum Beispiel die Regelung der Heizung, Verschattung oder die Beleuchtung. Die vollständig ausgefüllte Checkliste ist im Anhang A zu finden.

4.2 Zusammenstellung der Komponenten

Auf Basis der ermittelten Ausstattungswerte, können nun alle benötigten Sensoren und Aktoren zusammengestellt werden.

Die folgende Tabelle enthält die Aufstellung über alle Sensoren und Aktoren. Diese sind je nach Raum und den verschiedenen Funktionsbereichen aufgelistet. Beim Lesen der Tabelle ist zu beachten, dass einem Sensor oder Aktor zwar mehrere Funktionen zugewiesen werden können, dieser aber nur einmal im jeweiligen Raum eingeplant werden muss.

Schlafzimmer			
	Funktion	Sensoren	Aktoren
Heizung	Raumtemperaturregelung	Temperaturfühler (Ist-Wert)	Stellantrieb für Heizkörper, alternativ Stellventil für Vor- oder Rücklauf
	Präsenzerkennung	Präsenzmelder	Stellantrieb für Heizkörper, alternativ Stellventil für Vor- oder Rücklauf
	Zustand von Fenstern, Kontakt	Fensterkontakt	Stellantrieb für Heizkörper, alternativ Stellventil für Vor- oder Rücklauf
Beleuchtung	Bedienung im Raum	Taster	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
	Präsenzerkennung	Präsenzmelder	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
	Tageslichtgeführte Regelung	Helligkeitssensor	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
Verschattung	Bedienung im Raum	Taster	Relais (binär), SMI oder busfähige Rolladen-/ Jalousiemodule
	Zeitprogramm	Zeitschaltuhr	Relais (binär), SMI oder busfähige Rolladen-/ Jalousiemodule
	Präsenzerkennung	Präsenzmelder	Relais (binär), SMI oder busfähige Rolladen-/ Jalousiemodule
	Tageslichtgeführte Regelung	Helligkeitssensor	Relais (binär), SMI oder busfähige Rolladen-/ Jalousiemodule
Sicherheit	Windgeschwindigkeitsmessung	Wetterstation	Relais (binär), SMI oder busfähige Rolladen-/ Jalousiemodule
	Einbruchüberwachung	Fensterkontakt	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
	Rauchererkennung	Rauchmelder	Controller, Display /Touch Screen, Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
Kochnische			
Beleuchtung	Bedienung im Raum	Taster	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
	Präsenzerkennung	Präsenzmelder	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
	Tageslichtgeführte Regelung	Helligkeitssensor	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
Flur			
Beleuchtung	Bedienung im Raum	Taster	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
	Präsenzerkennung	Präsenzmelder	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
Sonstiges	Zentral Aus	Taster	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
Badezimmer			
Heizung	Raumtemperaturregelung	Temperaturfühler (Ist-Wert)	Stellantrieb für Heizkörper, alternativ Stellventil für Vor- oder Rücklauf
	Zeitprogramm	Zeitschaltuhr	Stellantrieb für Heizkörper, alternativ Stellventil für Vor- oder Rücklauf
Lüftung	Bedarfsgeführte Lüftung, Präsenz	Präsenzmelder	Ansteuerbare Ventilatoren, Raumlufanlage oder ansteuerbare Lüftungsklappen
Beleuchtung	Bedienung im Raum	Taster	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module
	Präsenzerkennung	Präsenzmelder	Relais (binär), Fernlastdimmer (analog), DALI oder busfähige Relais-/Dimm-Module

Abbildung 10: Sensoren und Aktoren, Einzimmerwohnung - Vollaussattung

4.3 Ausstattungsvarianten

Im nächsten Schritt werden nun die drei Ausstattungstechnologien durchgeplant.

4.3.1 Konventionelle Verkabelung

4.3.1.1 Grundrissplanung

Im ersten Schritt erfolgt die Grundrissplanung.

Die Planung der Verkabelung erfolgt mittels Geräteverbindungsboxen. Das bedeutet, dass die vorhandenen Gerätedosen für die zusätzliche Unterbringung von anderen Komponenten und deren Vernetzung genutzt werden. Dieses Verfahren bringt zwar etwas mehr Verkabelungsaufwand mit sich, entspricht aber dem Stand der Technik und vermeidet Abdeckklappen im Raum.²¹

Bei der konventionellen Ausstattung der Einzimmerwohnung sind 230V-Leitungen (im Plan violett) nötig, um alle Komponenten mit Strom zu versorgen. Die Anzahl der Komponenten und Stromkreise wurde bereits im ersten Schritt festgelegt.

Die Beleuchtung im Flur kann über einen Ausschalter an der Wand neben der Eingangstüre geschaltet werden. In der Küchennische sind zwei Leuchtenanschlüsse vorgesehen, welche über einen Ausschalter an der Wand bedient werden können. Die zusätzliche Leuchte über der Arbeitsfläche wird über einen separaten Schalter bedient. Im Badezimmer können beide Deckenleuchten einzeln über einen Serienschalter neben der Türe geschaltet werden. Die Leuchte über dem Spiegel wird separat über einen Ausschalter bedient. Fünf der insgesamt zehn Steckdosen sind für Kommunikationsanschlüsse vorgesehen.

Im Wohnzimmer befinden sich insgesamt vier Leuchtenanschlüsse. Die Leuchte über dem Bett kann über einen Ausschalter neben dem Kopfteil geschaltet werden. Die Leuchten über dem Tisch und dem Sofa können über zwei Wechselschalter, einem an der Wand gegenüber des Tisches und dem anderen an der Wand neben dem Sofa, gemeinsam oder einzeln bedient werden. Die Leuchte über dem Schreibtisch wird über einen Ausschalter an der Wand geschaltet. Der Jalousietaster befindet sich ebenfalls in Sofanähe. Der Medienschwerpunkt ist an der Wand neben dem Bett vorgesehen.

²¹URL:<https://www.baunetzwissen.de/elektro/fachwissen/leitungen-verteiler/installation-mit-verbindungsboxen-153016>, [10.04.2021]

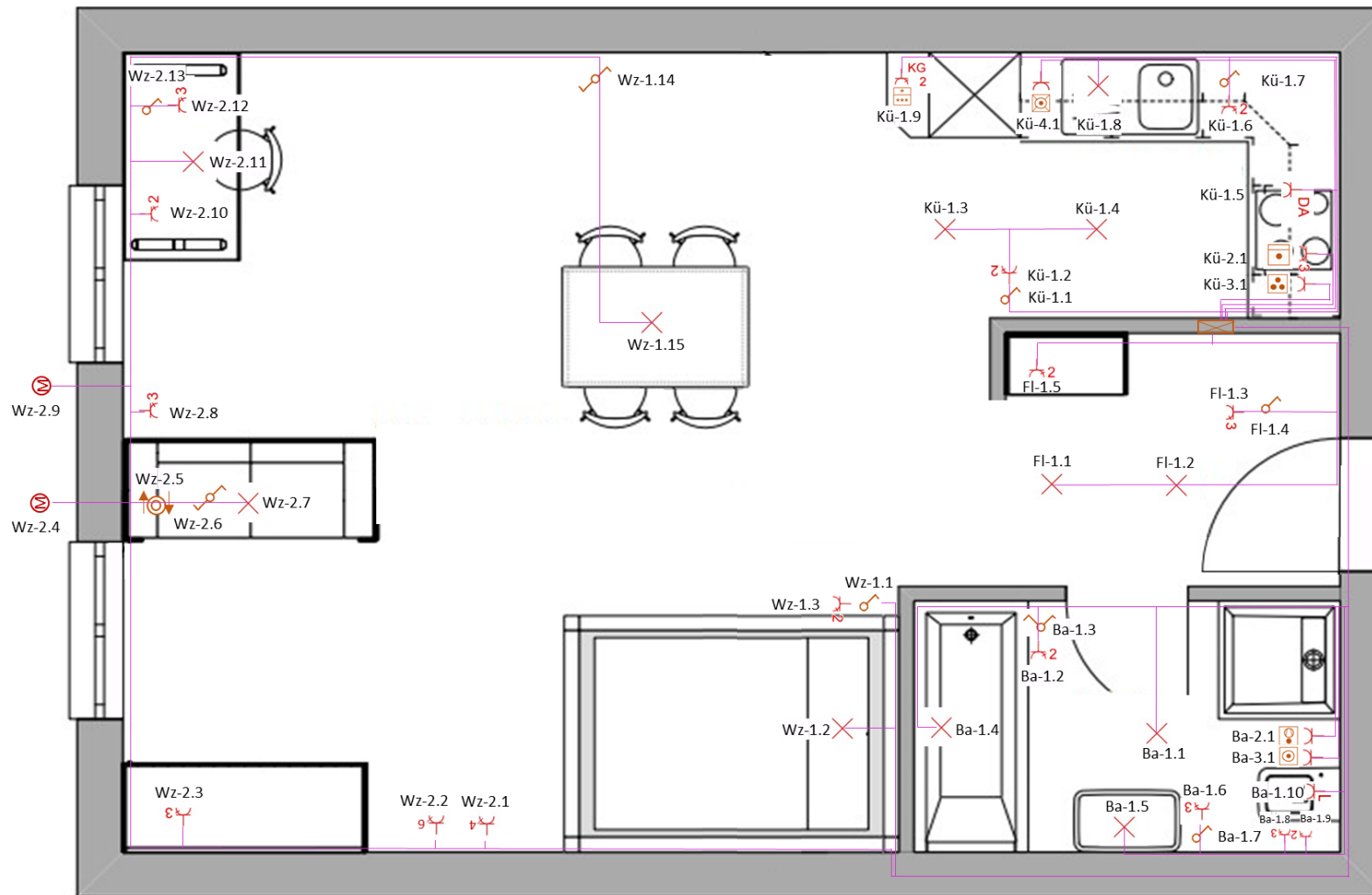


Abbildung 11: Grundrissplanung, Einzimmerwohnung- konventionelle Verkabelung

4.3.1.2 Stückliste

Im nächsten Schritt werden alle im Grundriss eingezeichneten Komponenten, Kabel, Schlitz- und Leerrohre raumweise in eine Stückliste aufgenommen, wie in Tabelle 11 zu sehen.

Von links nach rechts sind folgende Informationen enthalten:

Das Kürzel, mit welcher eine Komponente im Grundrissplan dargestellt ist, die Komponentenbezeichnung, die Quelle, aus welcher die Informationen und Preise stammen, die Positionsnummer (aus der Quelle), Anzahl der Meter für die Verkabelungen und Stückzahlen der Komponenten.

Die blau markierten Zeilen der Stückliste zeigen die Verkabelungen an und deuten auf die einzelnen Stromkreise der Räume hin. Alle Komponenten, die nach einer blauen Zeile in der Liste folgen, gehören zu diesem Stromkreis.

Kürzel	Quelle	Komponenten	Position	m	Stk
Kü-SK1	KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	13	
Kü-1.1	KFE	Ausschalter	04.03.52		1
Kü-1.2	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Kü-1.3	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
Kü-1.4	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
Kü-1.5	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Kü-1.6	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Kü-1.7	KFE	Ausschalter	04.03.52		1
Kü-1.8	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
Kü-1.9	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Kü-SK2	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	2,8	
Kü-2.1	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Kü-SK3	KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	2,8	
Kü-3.1	KFE	Starkstromanschluss	04.18.21		1
Kü-SK4	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	7,8	
Kü-4.1	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04		12
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26		12
FI-SK1	KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	13	
FI-1.1	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
FI-1.2	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
FI-1.3	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
FI-1.4	KFE	Ausschalter	04.03.52		1
FI-1.5	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04		10
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26		10
BA-SK1	KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	18	
Ba-1.1	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
Ba-1.2	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Ba-1.3	KFE	Serienschalter	04.03.55		1
Ba-1.4	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
Ba-1.5	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
Ba-1.6	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Ba-1.7	KFE	Ausschalter	04.03.52		1
Ba-1.8	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Ba-1.9	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Ba-1.10	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Ba-SK2	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	3,6	
Ba-2.1	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Ba-SK3	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	3,6	
Ba-3.1	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04		15
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26		15
Wz-SK1	KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	18	
Wz-1.1	KFE	Ausschalter	04.03.52		1
Wz-1.2	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
Wz-1.3	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Wz-SK2	KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	47	
Wz-2.1	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Wz-2.2	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Wz-2.3	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Wz-2.5	KFE	Jalousieschalter	04.03.70		1
Wz-2.6	KFE	Wechselschalter	04.03.58		1
Wz-2.7	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
Wz-2.8	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Wz-2.10	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Wz-2.11	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
Wz-2.12	KFE	Steckdose 230 V	04.03.81		1
Wz-2.13	KFE	Ausschalter	04.03.52		1
Wz-2.14	KFE	Wechselschalter	04.03.58		1
Wz-2.15	KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04		35
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26		35

Tabelle 15: Stückliste, Einzimmerwohnung – konventionelle Verkabelung

4.3.1.3 Kostenzusammenstellung

Im nächsten Schritt werden nun alle in der Stückliste aufgelisteten Komponenten für die gesamte Wohnung zusammengefasst und mit Preisen hinterlegt.

Die Kostenquellen sind Kapitel 3.4 zu entnehmen.

Für das Material und die Installation der Verkabelung ergeben sich folgende Nettokosten pro Meter.

Verkabelung (Material und Installation)			
Quelle	Komponenten	Position	Kosten in €/m
KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	1,71 €
KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	2,39 €
KFE	Leerrohr klein	02.02.04	4,10 €
KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	16,42 €

Tabelle 16: Preise Verkabelung (Material und Installation), Einzimmerwohnung – konventionelle Verkabelung

Die Kosten für das Material und die Installation der Komponenten können der folgenden Tabelle entnommen werden. Es handelt sich um die Nettokosten pro Stück.

Komponente (Material und Installation)			
Quelle	Komponenten	Position	Kosten in €/Stk
KFE	Ausschalter	04.03.52	37,76 €
KFE	Serienschalter	04.03.55	29,64 €
KFE	Wechselschalter	04.03.58	44,13 €
KFE	Kreuzschalter	04.03.57	37,76 €
KFE	Jalousieschalter	04.03.70	46,95 €
KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33	10,41 €
KFE	Steckdose 230 V	04.03.81	28,58 €
KFE	Starkstromanschluss	04.18.21	28,67 €

Tabelle 17: Preise Komponenten (Material und Installation), Einzimmerwohnung – konventionelle Verkabelung

Abschießend können nun alle Komponenten für die gesamte Einzimmerwohnung zusammengefasst werden. Die oben dargestellten Preise werden mit der Stückzahl bzw. mit der Anzahl an Metern multipliziert. Zusätzlich werden noch die in Kapitel 3.4 erläuterten Aufschläge berechnet.

Als Ergebnis erhält man nun die Gesamtkosten für den Grundriss, sowie die sich daraus ergebenden Kosten pro Quadratmeter.

Zusammenstellung Kosten - konventionell				
Quelle	Komponenten	Position	STK	Aufwand (Material + Installation) inkl. Aufschläge in €
KFE	Ausschalter	04.03.52	2	89,87 €
KFE	Serienschalter	04.03.55	11	387,99 €
KFE	Wechselschalter	04.03.58	2	105,03 €
KFE	Kreuzschalter	04.03.57	1	44,93 €
KFE	Jalousieschalter	04.03.70	25	1.396,76 €
KFE	Leuchtenanschluss	03.02.33	2	24,78 €
KFE	Steckdose 230 V	04.03.81	10	340,10 €
KFE	Starkstromanschluss	04.18.21	1	34,12 €
		Summe		2.423,58 €
Quelle	Komponenten	Position	m	Aufwand (Material + Installation) inkl. Aufschläge in €
KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	17,80	36,22 €
KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	93,80	266,78 €
KFE	Leerrohr klein	02.02.04	72,00	351,29 €
KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/1 5/26	72,00	1.406,87 €
		Summe		2.061,15 €
Gesamtkosten				4.484,73 €
Pro Quadratmeter				103,57 €

Tabelle 18: Zusammenstellung Kosten, Einzimmerwohnung – konventionelle Verkabelung

4.3.2 Dezentrale Ausstattung – KNX Technologie

Im folgenden Abschnitt wird die Ausstattung der Einzimmerwohnung mittels der KNX Technologie in der Vollaussstattungsvariante betrachtet.

4.3.2.1 Grundrissplanung

Bei der Planung der dezentralen Gebäudeausstattung mit KNX werden die Komponenten ebenfalls über 230 V Leitungen mit Strom versorgt. Die Datenübertragung erfolgt über eine BUS-Leitung (grün) welche die Sensoren und Aktoren miteinander verbindet.

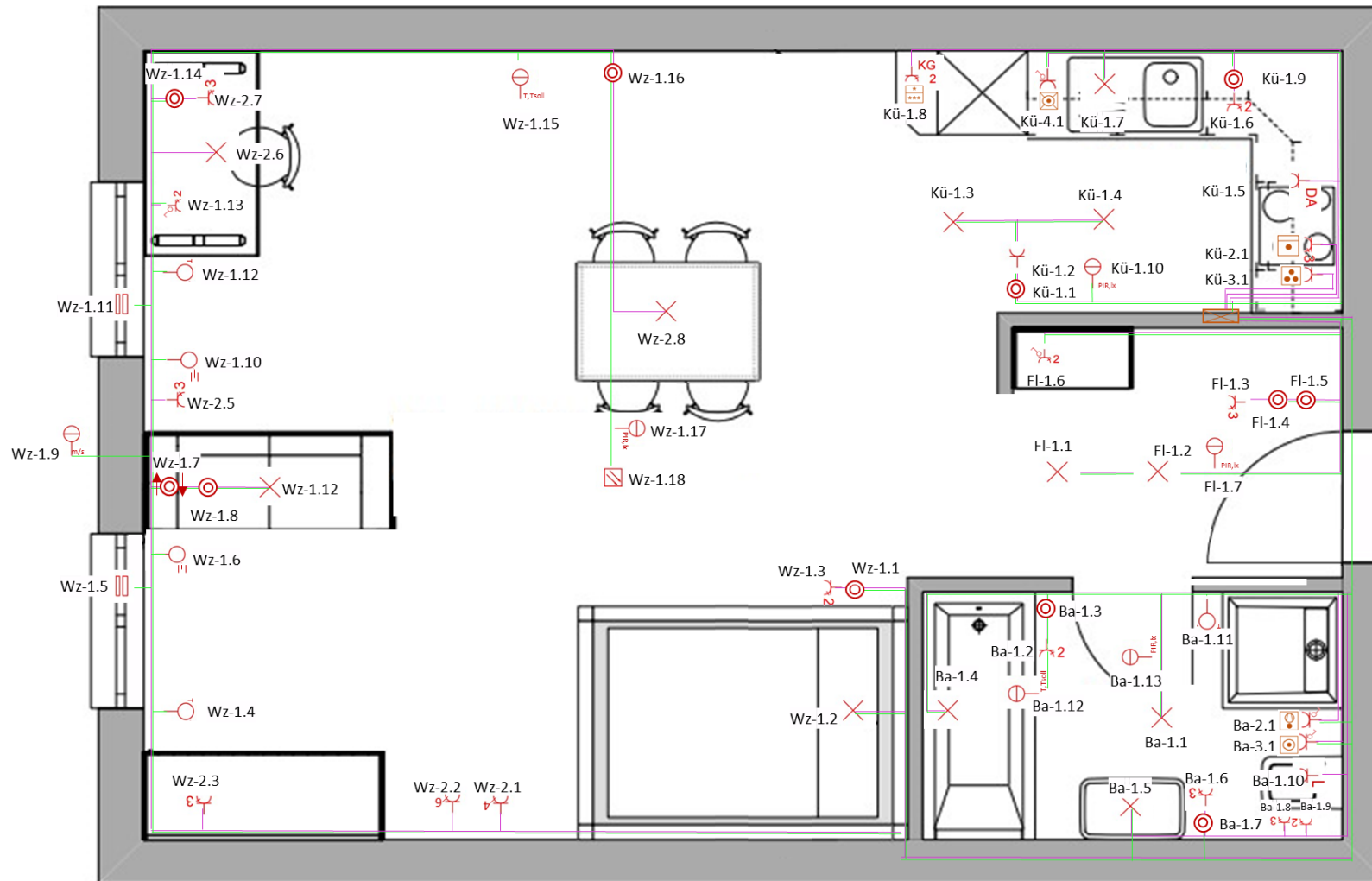


Abbildung 12: Grundrissplanung, Einzimmerwohnung- KNX Technologie- Vollausrüstung

4.3.2.2 Stückliste

Die einzelnen Stromkreise sind auch hier in der Stückliste blau markiert. Grün markierte Zeilen geben Aufschluss über die einzuplanenden BUS-Leistungen.

Kürzel	Quelle	Komponenten	Position	m	Stk
Kü-SK1	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	15,5	
Kü-1.2	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Kü-1.3	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Kü-1.4	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Kü-1.5	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Kü-1.6	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Kü-1.7	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Kü-1.8	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Kü-SK2	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	2,8	
Kü-2.1	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Kü-SK3	KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	2,8	
Kü-3.1	KFE	Starkstromanschluss	04.18.21		1
Kü-SK4	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	7,8	
Kü-4.1	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Kü-DA	KFE	Datenleitung	01.48.02	15,5	
Kü-1.1	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Kü-1.9	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Kü-1.10	Hager	Helligkeits- und Präsenzmelder	TCC510S		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04	12,3	
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	12,3	
Fl-SK1	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	15,1	
Fl-1.1	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Fl-1.2	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Fl-1.3	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Fl-DA	KFE	Datenleitung	01.48.02	11,95	
Fl-1.4	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Fl-1.5	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Fl-1.6	Hager	Schaltaktor UP	TXB601B		1
Fl-1.7	Hager	Helligkeits- und Präsenzmelder	TCC510S		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04	10	
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	10	
Ba-S1	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	21,5	
Ba-1.1	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Ba-1.2	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Ba-1.4	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Ba-1.5	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Ba-1.6	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Ba-1.8	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Ba-1.9	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Ba-1.10	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Ba-SK2	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	3,6	
Ba-2.1	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Ba-SK3	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	3,6	
Ba-3.1	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Ba-DA	KFE	Datenleitung	01.48.02	25,2	
Ba-1.3	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Ba-1.7	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Ba-1.11	Hager	Stellantrieb	TX501		1
Ba-1.12	Hager	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	80440100		1
Ba-1.13	Hager	Helligkeits- und Präsenzmelder	TCC510S		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04	17,55	
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	17,55	
Wz-SK1	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	19,05	
Wz-1.2	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Wz-1.3	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Wz-SK2	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	57	
Wz-2.1	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Wz-2.2	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Wz-2.3	Berker	230 V Steckdose	47236089		1

Kürzel	Quelle	Komponenten	Position	m	Stk
Wz-2.4	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Wz-2.5	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Wz-2.6	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Wz-2.7	Berker	230 V Steckdose	47236089		1
Wz-2.8	Hager	Dimmaktor	TXB601B		1
Wz-DA	KFE	Datenleitung	01.48.02	45	
Wz-1.1	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Wz-1.4	Hager	Stellantrieb	TX501		1
Wz-1.5	Hager	Fensterkontakt	TXB302+ Reedkontakt		1
Wz-1.6	Hager	Jalousieaktor	TXB602F		1
Wz-1.7	Berker	Jalousietaster	80142180 + 80960389		1
Wz-1.8	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Wz-1.9	Hager	Wetterstation	TXE531		1
Wz-1.10	Hager	Jalousieaktor	TXB602F		1
Wz-1.11	Hager	Fensterkontakt	TXB302+ Reedkontakt		1
Wz-1.12	Hager	Stellantrieb	TX501		1
Wz-1.13	Hager	Schaltaktor UP	TXB601B		1
Wz-1.14	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Wz-1.15	Hager	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	80440100		1
Wz-1.16	Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299		1
Wz-1.17	Hager	Helligkeits- und Präsenzmelder	TCC510S		1
Wz-1.18	GIRA	Rauchmelder mit KNX Modul	233602+ 234300 KNX Modul		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04	42,2	
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	42,2	

Tabelle 19: Stückliste, Einzimmerwohnung – KNX Technologie - Vollausrüstung

4.3.2.3 Kostenzusammenstellung

Im nächsten Schritt werden für die KNX Variante alle Kosten zusammengestellt.

Für das Material und die Installation der Verkabelung ergeben sich folgende Nettokosten pro Meter.

Verkabelung (Material und Installation)			
Quelle	Komponenten	Position	Kosten in €/m
KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	1,71 €
KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	2,39 €
KFE	Leerrohr klein	02.02.04	4,10 €
KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	16,42 €
KFE	Datenleitung	01.48.02	1,55 €

Tabelle 20: Preise Verkabelung (Material und Installation), Einzimmerwohnung – KNX Technologie – Vollausrüstung

Die nachstehende Tabelle enthält die Nettopreise pro Stück für das Material der benötigten Komponente im Verteilerkasten.

Verteilerkasten (Material)			
Quelle	Komponenten	Position	Kosten in €
Hager	USB-Schnittstelle	TYFS122	230,50 €
Hager	Spannungsversorgung	TGA200	157,30 €

Tabelle 21: Preise Verteilerkasten (Material), Einzimmerwohnung – KNX Technologie – Vollausrüstung

Anschließend werden die Nettopreise pro Stück für das Material aller im Grundriss verteilten Komponenten pro Stück aufgelistet.

Komponenten (Material)			
Quelle	Komponente	Position	Material Kosten in € (netto)
Hager	Jalousieaktor	TXB602F	72,00 €
Hager	Dimmaktor	TXB601B	60,90 €
Hager	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	80440100	268,20 €
Berker	230 V Steckdose	47236089	7,40 €
Hager	Schaltaktor UP	TXB601B	60,90 €
Berker	Taster 2 Tasten	80141180 + 80962299	92,40 €
Berker	Zentraltaster	80141180 + 80962299	92,40 €
Berker	Jalousietaster	80142180 + 80960389	100,50 €
Hager	Stellantrieb	TX501	259,70 €
GIRA	Rauchmelder mit KNX Modul	233602+ 234300 KNX Modul	105,57 €
Hager	Fensterkontakt	TXB302+ Reedkontakt	99,70 €
Hager	Helligkeits- und Präsenzmelder	TCC510S	186,40 €
Hager	Wetterstation	TXE531	567,50 €

Tabelle 22: Preise Komponenten (Material), Einzimmerwohnung – KNX Technologie – Vollausrüstung

Für die Installation der Komponenten ergeben sich die folgenden Nettokosten pro Stück:

Komponenten (Installation)			
Quelle	Komponente	Position	Installationskosten in € (netto)
KFE	Jalousieaktor	30.11.05	12,53 €
KFE	Dimmaktor	30.11.03	9,40 €
KFE	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	30.06.63	8,09 €
KFE	Starkstromanschluss	04.18.21	19,67 €
KFE	230 V Steckdose	04.04.81	20,10 €
KFE	Schaltaktor UP	30.11.02	9,40 €
KFE	Taster 2 Tasten	30.05.52	14,59 €
KFE	Zentraltaster	30.05.51	13,79 €
KFE	Jalousietaster	30.05.52	14,59 €
KFE	Stellantrieb	30.10.81	31,33 €
KFE	Rauchmelder mit KNX Modul	Schätzwert	30,00 €
KFE	Fensterkontakt	04.30.51 + 30.11.02	21,15 €
KFE	Helligkeits- und Präsenzmelder	30.07.2019	26,27 €
KFE	Wetterstation	30.07.1979	81,46 €
KFE	USB-Schnittstelle	30.06.43	6,53 €
KFE	Spannungsversorgung	30.01.06	62,37 €

Tabelle 23: Preise Komponenten (Installation), Einzimmerwohnung – KNX Technologie – Vollausrüstung

Abschließend werden alle Kosten zusammengefasst, mit den Mengen multipliziert und mit den Kalkulationsaufschlägen versehen.

Als Ergebnis erhält man eine Gesamtinvestitionssumme für den betrachteten Grundriss sowie die sich daraus ergebenden Kosten pro Quadratmeter.

Zusammenstellung Kosten - KNX				
Quelle	Komponenten	Position	STK	Aufwand (Material + Installation) inkl. Aufschläge in €
Hager	Jalousieaktor	TXB602F	2	253,02 €
Hager	Dimmaktor	TXB601B	12	1.266,97 €
Hager	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	80440100	2	850,67 €
KFE	Starkstromanschluss	04.18.21	1	23,41 €
Berker	230 V Steckdose	47236089	25	884,73 €
Hager	Schaltaktor UP	TXB601B	2	211,16 €
Berker	Taster 2 Tasten	80141180+ 80962299	10	1.605,82 €
Berker	Zentraltaster	80141180+ 80962299	1	159,63 €
Berker	Jalousietaster	80142180+ 80960389	1	173,14 €
Hager	Stellantrieb	TX501	3	1.319,45 €
GIRA	Rauchmelder mit KNX Modul	233602+234300 KNX Modul	1	199,33 €
Hager	Fensterkontakt	TXB302+ Reedkontakt	2	359,41 €
Hager	Helligkeits- und Präsenzmelder	TCC510S	4	1.280,73 €
Hager	Wetterstation	TXE531	1	976,56 €
Hager	USB-Schnittstelle	TYFS122	1	365,05 €
Hager	Spannungsversorgung	TGA200	1	318,04 €
		Summe		10.247,11 €
Quelle	Komponenten	Position	m	Aufwand (Material + Installation) inkl. Aufschläge in €
KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	145,95	296,99 €
KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	2,80	7,96 €
KFE	Leerrohr klein	02.02.04	82,05	400,32 €
KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	82,05	1.603,24 €
KFE	Datenleitung	01.48.02	97,65	180,12 €
		Summe		2.488,64 €
Gesamtkosten				12.735,75 €
Pro Quadratmeter				294,12€

Tabelle 24: Zusammenstellung Kosten, Einzimmerwohnung –KNX Technologie– Vollaussstattung

4.3.3 Dezentrale Ausstattung mit Funk (EnOcean)

Im folgenden Abschnitt wird die Ausstattung mittels der EnOcean Technologie beschrieben.

4.3.3.1 Grundrissplanung

Bei der dezentrale Gebäudeautomation mit Funk erfolgt die Datenübertragung über Funk, im Grundriss blau dargestellt. Eine Verkabelung zur Kommunikation der einzelnen Komponenten ist also nicht nötig.

Die in dieser Studie betrachtete EnOcean Technologie zeichnet sich zudem dadurch aus, dass die meisten Komponenten keine externe Stromversorgung benötigen. Eine Verkabelung ist also nur für die Beleuchtungs-, Steckdosen- und Kommunikationsanschlüsse nötig.

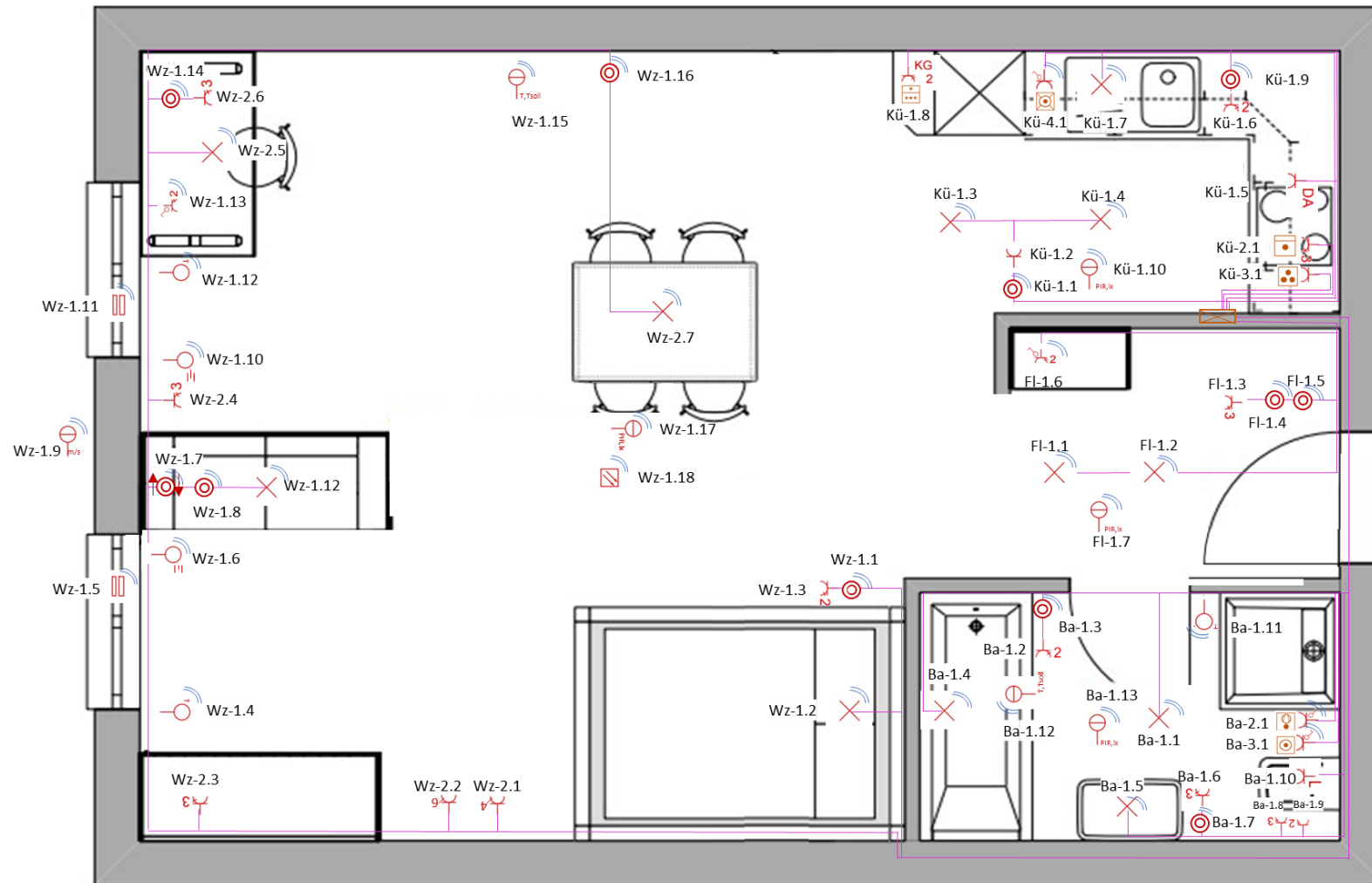


Abbildung 13: Grundrissplanung, Einzimmerwohnung- EnOcean Technologie- Vollausrüstung

4.3.3.2 Stückliste

Die einzelnen Stromkreise sind in der Stückliste blau markiert.

Kürzel	Quelle	Komponenten	Position	m	Stk
Kü-SK1	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	13	
Kü-1.1	Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E		1
Kü-1.2	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Kü-1.3	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Kü-1.4	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Kü-1.5	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Kü-1.6	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Kü-1.7	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Kü-1.8	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Kü-1.9	Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E		1
Kü-1.10	Eltako	Helligkeits- und Präsenzmelder	FBH65SB		1
Kü-SK2	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	2,8	
Kü-2.1	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Kü-SK3	KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	2,8	
Kü-3.1	KFE	Starkstromanschluss	04.18.21		1
Kü-SK4	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	7,8	
Kü-4.1	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04	12,5	
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	12,5	
Fl-SK1	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	13	
Fl-1.1	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Fl-1.2	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Fl-1.3	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Fl-1.4	Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E		1
Fl-1.5	Eltako	Zentraltaster	F2ZT55E		1
Fl-1.6	Eltako	Schaltaktor UP	FSR61-230V		1
Fl-1.7	Eltako	Helligkeits- und Präsenzmelder	FBH65SB		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04	10	
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	10	
Ba-S1	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	16	
Ba-1.1	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Ba-1.2	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Ba-1.3	Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E		1
Ba-1.4	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Ba-1.5	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Ba-1.6	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Ba-1.7	Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E		1
Ba-1.8	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Ba-1.9	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Ba-1.10	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Ba-1.11	Eltako	Stellantrieb	FKS-H		1
Ba-1.12	Eltako	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	FTR65DSB		1
Ba-1.13	Eltako	Helligkeits- und Präsenzmelder	FBH65SB		1
Ba-SK2	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	3,6	
Ba-2.1	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Ba-SK3	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	3,6	
Ba-3.1	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04	15	
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	15	
Wz-SK1	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	18	
Wz-1.1	Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E		1
Wz-1.2	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Wz-1.3	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Wz-1.4	Eltako	Stellantrieb	FKS-H		1
Wz-1.5	Eltako	Fensterkontakt	FTK		1

Kürzel	Quelle	Komponenten	Position	m	Stk
Wz-1.6	Eltako	Jalousieaktor	FSB61NP-230V		1
Wz-1.7	Eltako	Jalousietaster	F4T55E		1
Wz-1.8	Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E		1
Wz-1.9	Eltako	Wetterstation	MS		1
Wz-1.9	Eltako	Netzteil für Wetterstation	SNT61-230V/24V DC-0,25A		1
Wz-1.9	Eltako	Funk-Wetterdaten-Sendemodul	FWS61-24V DC		1
Wz-1.10	Eltako	Jalousieaktor	FSB61NP-230V		1
Wz-1.11	Eltako	Fensterkontakt	FTK		1
Wz-1.12	Eltako	Stellantrieb	FKS-H		1
Wz-1.13	Eltako	Schaltaktor UP	FSR61-230V		1
Wz-1.14	Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E		1
Wz-1.15	Eltako	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	FTR65DSB		1
Wz-1.16	Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E		1
Wz-1.17	Eltako	Helligkeits- und Präsenzmelder	FBH65SB		1
Wz-1.18	Eltako	Rauchmelder	FRW		1
Wz-SK2	KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	42	
Wz-2.1	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Wz-2.2	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Wz-2.3	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Wz-2.4	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Wz-2.5	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
Wz-2.6	Eltako	230 V Steckdose	DSS65		1
Wz-2.7	Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V		1
	KFE	Leerrohr klein	02.02.04	35,5	
	KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	35,5	

Tabelle 25: Stückliste, Einzimmerwohnung – EnOcean Technologie - Vollaussattung

4.3.3.3 Kostenzusammenstellung

Im nächsten Schritt werden für die EnOcean Variante alle Kosten zusammengestellt. Für das Material und die Installation der Verkabelung ergeben sich folgende Nettokosten pro Meter.

Verkabelung (Material und Installation)			
Quelle	Komponenten	Position	Kosten in €
KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	1,71 €
KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	2,39 €
KFE	Leerrohr klein	02.02.04	4,10 €
KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	16,42 €

Tabelle 26: Preise Verkabelung (Material und Installation), Einzimmerwohnung – EnOcean Technologie – Vollaussattung

Anschließend werden die Nettopreise pro Stück für das Material aller im Grundriss verteilten Komponenten pro Stück aufgelistet.

Komponente (Material)			
Quelle	Komponenten	Position	Material Kosten in € (netto)
Eltako	Jalousieaktor	FSB61NP-230V	89,40 €
Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V	102,90 €
Eltako	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	FTR65DSB	97,50 €
Eltako	230 V Steckdose	DSS65	7,00 €
Eltako	Schaltaktor UP	FSR61-230V	60,60 €
Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E	42,20 €
Eltako	Zentraltaster	F2ZT55E	47,00 €
Eltako	Jalousietaster	F4T55E	42,20 €
Eltako	Stellantrieb	FKS-H	146,10 €
Eltako	Rauchmelder	FRW	112,70 €
Eltako	Wetterstation	MS	251,50 €
Eltako	Netzteil für Wetterstation	SNT61-230V/24V DC-0,25A	49,60 €
Eltako	Funk-Wetterdaten-Sendemodul	FWS61-24V DC	67,10 €
Eltako	Fensterkontakt	FTK	77,10 €
Eltako	Helligkeits- und Präsenzmelder	FBH65SB	90,90 €

Tabelle 27: Preise Komponenten (Material), Einzimmerwohnung – EnOceanTechnologie – Vollaussattung

Für die Installation der Komponenten ergeben sich folgende Nettokosten pro Stück:

Komponente (Installation)			
Quelle	Komponenten	Position	Installationskosten in € (netto)
KFE	Jalousieaktor	04.61.45	8,70 €
KFE	Dimmaktor	04.61.43	6,75 €
KFE	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	04.61.02	6,31 €
KFE	Starkstromanschluss	04.18.21	28,67 €
KFE	230 V Steckdose	04.03.81	20,10 €
KFE	Schaltaktor UP	04.60.65	7,40 €
KFE	Taster 2 Tasten	04.60.01/04.60.10	3,96 €
KFE	Zentraltaster	04.60.01/04.60.10	3,96 €
KFE	Jalousietaster	04.60.01/04.60.10	3,96 €
KFE	Stellantrieb	04.61.20	31,33 €
KFE	Rauchmelder	04.60.55	5,66 €
KFE	Wetterstation	04.61.69	11,31 €
KFE	Fensterkontakt	04.60.48	7,40 €
KFE	Helligkeits- und Präsenzmelder	04.60.52	4,57 €

Tabelle 28: Preise Komponenten (Installation), Einzimmerwohnung – EnOceanTechnologie – Vollaussattung

Abschließend werden alle Kosten zusammengefasst, mit den Mengen multipliziert und mit den Kalkulationsaufschlägen versehen.

Als Ergebnis erhält man eine Gesamtinvestitionssumme für den betrachteten Grundriss sowie die sich daraus ergebenden Kosten pro Quadratmeter.

Zusammenstellung Kosten - EnOcean				
Quelle	Komponenten	Position	STK	Aufwand (Material + Installation) inkl. Aufschläge in €
Eltako	Jalousieaktor	FSB61NP-230V	2	297,85 €
Eltako	Dimmaktor	FUD61NPN-230V	12	2.010,33 €
Eltako	Raumtemperaturfühler mit Eingabe	FTR65DSB	2	317,27 €
KFE	Starkstromanschluss	04.18.21	1	34,12 €
Eltako	230 V Steckdose	DSS65	25	869,23 €
Eltako	Schaltaktor UP	FSR61-230V	2	205,47 €
Eltako	Taster 2 Tasten	F4T55E	10	701,22 €
Eltako	Zentraltaster	F2ZT55E	1	77,56 €
Eltako	Jalousietaster	F4T55E	1	70,12 €
Eltako	Stellantrieb	FKS-H	3	791,21 €
Eltako	Rauchmelder	FRW	1	181,42 €
Eltako	Wetterstation	MS	1	584,17 €
Eltako	Fensterkontakt	FTK	2	256,62 €
Eltako	Helligkeits- und Präsenzmelder	FBH65SB	4	585,33 €
		Summe		6.981,92 €
Quelle	Komponenten	Position	m	Aufwand (Material + Installation) inkl. Aufschläge in €
KFE	Kabel 3-adrig 230 V	01.01.12	115,80	235,64 €
KFE	Kabel 5-adrig 230 V	01.01.30	2,80	7,96 €
KFE	Leerrohr klein	02.02.04	73,00	356,17 €
KFE	Wandschlitz klein	12.02.03/11/15/26	73,00	1.426,41 €
		Summe		2.026,18 €
Gesamtkosten				9.008,10 €
Pro Quadratmeter				208,04€

Tabelle 29: Zusammenstellung Kosten, Einzimmerwohnung – EnOceanTechnologie– Vollaussattung

4.4 Vergleich – Einzimmerwohnung

Anmerkung: Die detaillierte Ausarbeitung für den Grundriss der Einzimmerwohnung in der Vollaussattung befindet sich in Anhang B.

Im folgenden Abschnitt werden alle Ergebnisse, bezüglich dem Kostenfaktor jeder Ausstattungsvariante für alle drei Grundrisse, graphisch zusammengefasst.

Dies beläuft sich auf die Gesamtsumme pro Grundriss sowie auf sich daraus ergebenden Kosten pro Quadratmeter.

4.4.1 Vergleich - Ausstattungstechnologien

4.4.1.1 Mindestausstattung

In der folgenden Grafik „grau“ dargestellt ist der Wert, welcher sich bei einer konventionellen Verkabelung als Gesamtinvestitionssumme ergibt. In diesem Fall ist hierbei mit etwa 4.400€ zu rechnen. Dieser Wert dient zur Orientierung, ist aber nicht direkt mit den beiden anderen Technologien vergleichbar, da, wie bereits im vorangegangenen Teil der Arbeit erwähnt, hier keine Zusatzfunktionen betreffend der Raumautomation vorhanden sind. Es handelt sich also um eine Wohneinheit, die keine eigene Intelligenz besitzt.

Wesentlicher ist der Vergleich zwischen den beiden Automationstechnologien. Die Investitionssumme für die KNX Variante (grün) liegt bei rund 9.900€ und für die EnOcean Variante (blau) belaufen sich die Kosten auf rund 7.400€.

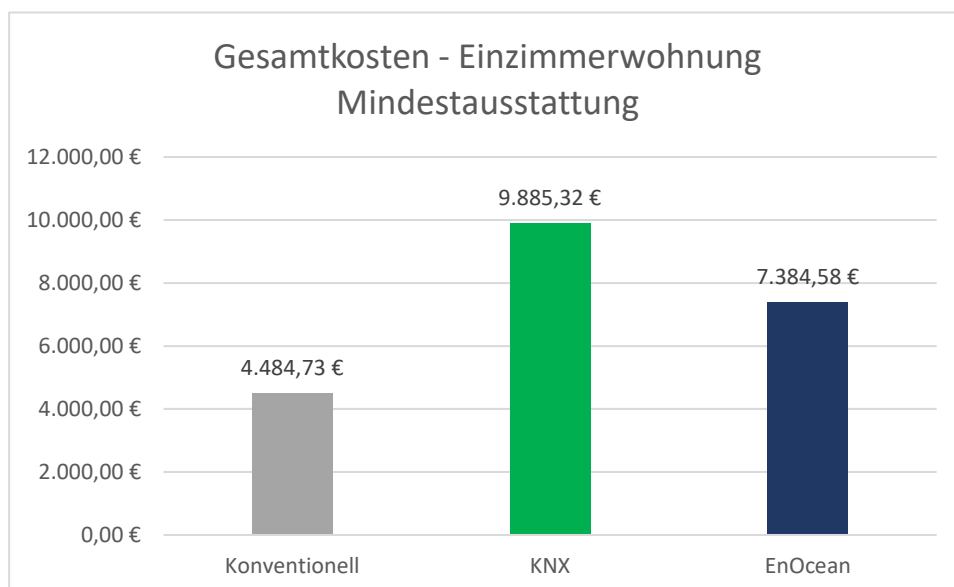


Abbildung 14: Gesamtkosten – Einzimmerwohnung Mindestausstattung

Nachfolgendes Diagramm zeigt die jeweiligen Kosten pro Quadratmeter, welche sich aus den oben dargestellten Investitionssummen ergeben. Dies ist der ausschlaggebende Ergebniswert der Arbeit, denn er stellt den Indikator dar, welcher auf andere Grundrisse ähnlicher Größe übertragen werden kann.

Die Kosten pro Quadratmeter für die konventionelle Ausstattung liegen ungefähr bei 104€/m². Die KNX Variante liegt mit rund 229€/m² deutlich höher als die gleiche Ausstattung in der EnOcean Variante mit rund 171€/m².

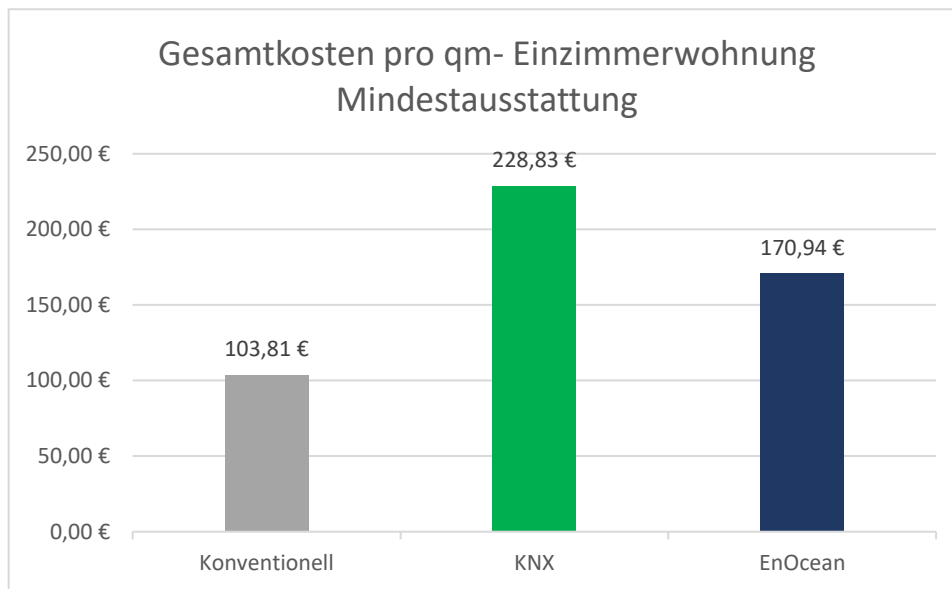


Abbildung 15: Gesamtkosten pro Quadratmeter – Einzimmerwohnung Mindestausstattung

4.4.1.2 Vergleich Vollaussattung

Die gleiche Betrachtung wird nun auch für die Einzimmerwohnung in der Vollaussattung durchgeführt. Die Gesamtinvestitionskosten in der KNX Variante (grün) belaufen sich auf rund 12.736€ für den gesamten Grundriss (vgl. Abbildung 15). Das entspricht rund 296€/m² (vgl. Abbildung 16). Für die EnOcean Variante (blau), belaufen sich die Gesamtkosten für die Einzimmerwohnung auf rund 9.008€ (vgl. Abbildung 15) und daraus resultierend 209€/m² (vgl. Abbildung 16).

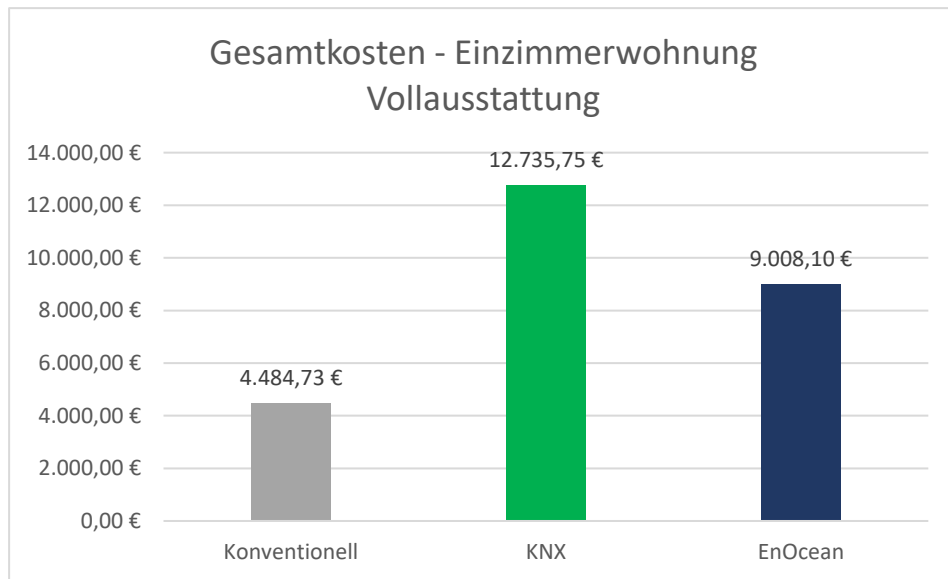


Abbildung 16: Gesamtkosten – Einzimmerwohnung Vollaussattung

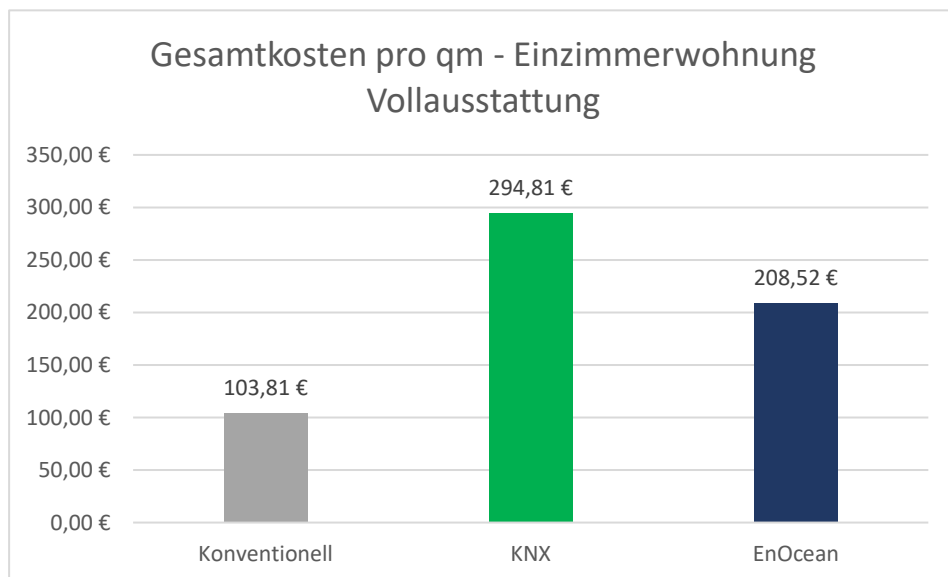


Abbildung 17: Gesamtkosten pro Quadratmeter – Einzimmerwohnung Vollaussattung

5 Vergleich Grundrisse

Anmerkung: Die detaillierten Ausarbeitungen der restlichen beiden Grundrisse in beiden Ausstattungsvarianten sind in Anhang C und D zu finden.

In diesem Kapitel werden abschließend die Ergebnisse aller Grundrisse miteinander verglichen.

5.1 Vergleich Grundrisse - Mindestausstattung

Untenstehende Tabelle zeigt die Zusammenfassung der Kosten pro Quadratmeter der einzelnen Grundrisse sowie die Aufteilung in Kosten für Komponenten und Installation.

Bei allen drei Grundrissen ist die konventionelle Verkabelung die günstigste, allerdings, wie bereits vorher erwähnt, beinhaltet der Grundriss bei dieser Ausstattung keinerlei Automation und dient nur als Grundlage.

Im Vergleich mit der KNX Variante schneidet die EnOcean Variante bei allen drei Grundrissen deutlich günstiger ab. Das liegt, wie später genauer veranschaulicht, hauptsächlich am geringeren Verkabelungsaufwand und den daraus resultierenden günstigeren Installationskosten. Die KNX Variante zeichnet sich zudem durch einen hohen Kostenfaktor der Komponenten aus. Zudem kommen, wie am Anfang der Arbeit erwähnt, Kosten für das ETS-Tool sowie die Baustellen Lizenz, welche in dieser Arbeit allerdings nicht berücksichtigt werden.

Vergleicht man die Kosten pro Quadratmeter der einzelnen Grundrisse, so sind auch hier einige Unterschiede festzustellen. Die Einzimmerwohnung zeichnet sich, verglichen mit den anderen beiden Grundrissen mit eher hohem Investitionspreis pro Quadratmeter, aus. Das liegt an dem Verhältnis der zu den anderen Grundrissen ähnlichen Automationsausstattung im Vergleich zur geringen Grundfläche.

In der Mindestvariante liegen die Kosten zwischen der Dreizimmerwohnung und dem Einfamilienhaus relativ nahe zusammen. Die Erklärung hierfür liegt im Ausstattungspaket, denn das Einfamilienhaus wurde im Gegensatz zu den anderen beiden Grundrissen mit einer höheren Ausstattung im Bereich „Sicherheit“ versehen. Da es sich hier um ein freistehendes Gebäude handelt, wurden hier bereits in der Mindestausstattung unter anderem Fensterkontakte miteingeplant.

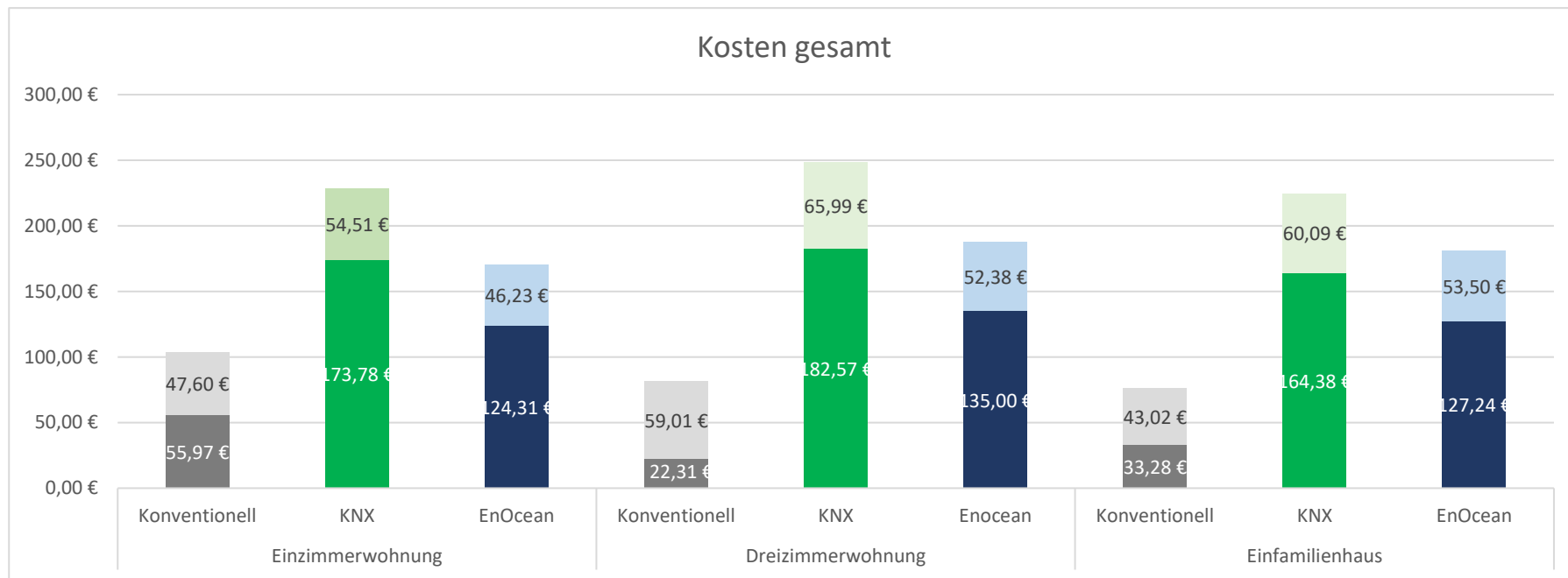


Abbildung 18: Gesamtkostenvergleich – Mindestausstattung

Mindestausstattung	Einzimmerwohnung			Dreizimmerwohnung			Einfamilienhaus		
	Konventionell	KNX	EnOcean	Konventionell	KNX	EnOcean	Konventionell	KNX	EnOcean
Kosten pro qm	103,81 €	228,83 €	170,94 €	81,32 €	248,56 €	187,38 €	76,30 €	224,47 €	180,74 €
Kosten für Komponenten	55,97 €	173,78 €	124,31 €	22,31 €	182,57 €	135,00 €	33,28 €	164,38 €	127,24 €
Kosten für Verkabelung	47,60 €	54,51 €	46,23 €	59,01 €	65,99 €	52,38 €	43,02 €	60,09 €	53,50 €

Tabelle 30: Kostenaufstellung - Mindestausstattung

Ebenfalls wesentlich ist die Betrachtung der Kostenverteilung bezüglich Komponenten und Verkabelung innerhalb jeder Variante, in der untenstehenden Abbildung beispielhaft dargestellt für die Mindestausstattung der Einzimmerwohnung. Material- und Installationspreise sind für alle drei Varianten gleich. Allerdings ist für die KNX Variante eine zusätzliche Datenleitung zur Informationsübertragung nötig. Daraus resultieren ein höherer Verkabelungsaufwand und mehr Material, was den höheren Kostenfaktor verglichen mit der EnOcean Variante erklärt.

Vergleicht man die Kosten für die Komponenten, so ist auch hier die KNX Variante wesentlich teurer als die EnOcean Variante. Eine genaue Analyse der Kostenzusammensetzung hierfür liefert untenstehende Abbildung. Beispielhaft dargestellt ist für die Einzimmerwohnung in der Mindestausstattungsvariante, eine Summe über die Nettokosten der einzelnen Positionen (pro Stück / pro M), unterteilt in Material und Installation. Zu sehen ist, dass sowohl die Materialkosten als auch die Installationskosten für die KNX Variante höher sind. Die Begründung für die höheren Installationskosten ergibt sich logisch aus der Erkenntnis, dass durch den höheren Verkabelungsaufwand mehr Arbeitszeit für die Installation benötigt wird.

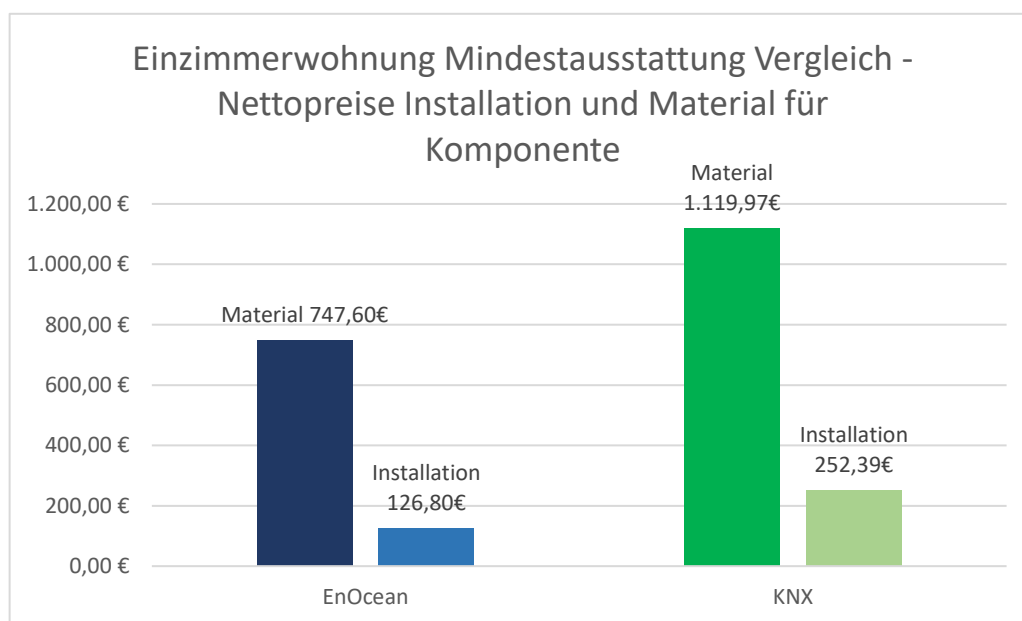


Abbildung 19: Einzimmerwohnung Mindestausstattung – Vergleich Nettopreise Installation und Material für Komponenten

5.2 Vergleich Grundriss – Vollaussstattung

Die Ergebnisse der Vollaussstattungsvariante (vgl. Abbildung 19 und Tabelle 28) bieten im Vergleich zur Mindestausstattungsvariante eine bessere Vergleichbarkeit, da hier die Ausstattung bezüglich der eingeplanten Komponenten in allen drei Grundrissen nahezu gleich ist.

Auch hier schneidet die KNX Variante deutlich teurer ab als die EnOcean Variante. Am niedrigsten liegen die Kosten pro Quadratmeter beim Einfamilienhaus, was auch hier, wie vorher bereits erläutert, am Verhältnis zwischen Ausstattung und Grundfläche liegt. Am kostenintensivsten schneidet die Dreizimmerwohnung ab. Das hängt zum einen mit dem Größenverhältnis der einzelnen Grundrisse zusammen. Mit 81,5 m² ist die Dreizimmerwohnung fast doppelt so groß wie die Einzimmerwohnung, das Einfamilienhaus ist mit 215,3m² aber um das 2,6 fache größer. Zum anderen wirkt sich die deutlich höhere Anzahl an Zimmern der Dreizimmerwohnung, verglichen mit der Einzimmerwohnung, negativ auf die entstehenden Kosten aus, da deutlich mehr Sensoren und Aktoren verbaut werden müssen, um die einzelnen Räume automatisieren zu können.

Nachfolgende Tabelle zeigt den Differenzwert pro Quadratmeter zwischen der Mindest- und Vollaussattung. Am höchsten liegt dieser bei der Einzimmerwohnung, am niedrigsten beim Einfamilienhaus.

Einzimmerwohnung		Dreizimmerwohnung		Einfamilienhaus	
KNX	EnOcean	KNX	EnOcean	KNX	EnOcean
65,98 €/m ²	37,58 €/m ²	64,64 €/m ²	32,38 €/m ²	28,10 €/m ²	8,18 €/m ²

Tabelle 31: Differenzwerte pro Quadratmeter – Mindest- und Vollaussattung

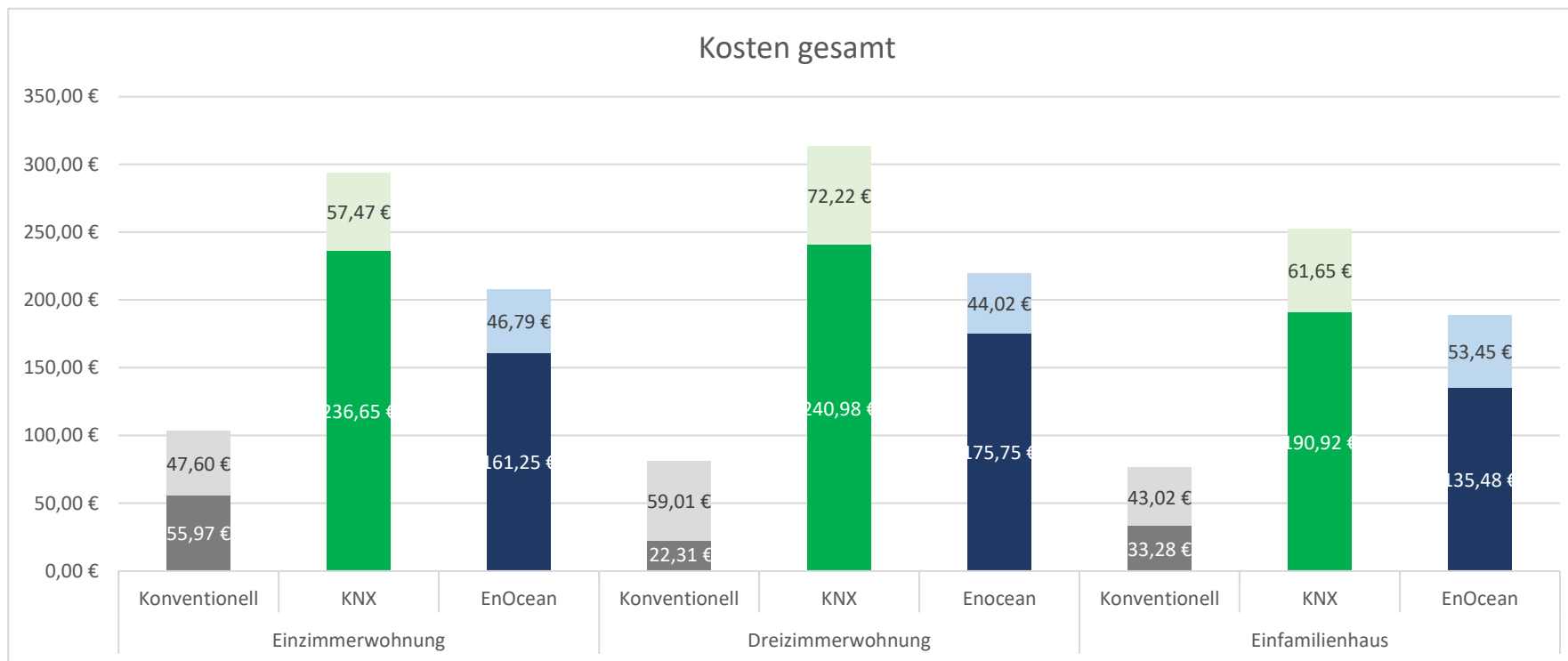


Abbildung 20: Gesamtkostenvergleich – Vollausstattung

Vollausstattung	Einzimmerwohnung			Dreizimmerwohnung			Einfamilienhaus		
	Konventionell	KNX	EnOcean	Konventionell	KNX	EnOcean	Konventionell	KNX	EnOcean
Kosten pro qm	103,81 €	294,81 €	208,52 €	81,32 €	313,20 €	219,77 €	76,30 €	252,57 €	188,93 €
Kosten für Komponenten	55,97 €	236,65 €	161,25 €	22,31 €	240,98 €	175,75 €	33,28 €	190,92 €	135,48 €
Kosten für Verklebung	47,60 €	57,47 €	46,79 €	59,01 €	72,22 €	44,02 €	43,02 €	61,65 €	53,45 €

Tabelle 32: Kostenaufstellung - Vollausstattung

6 Weitere Entscheidungsfaktoren

Neben dem Kostenfaktor können auch andere Faktoren eine Rolle spielen, welche sich für oder gegen eine Ausstattungstechnologie aussprechen können.

Da gesundes und umweltfreundliches Wohnen in der Gesellschaft einen immer höheren Stellenwert einnimmt, werden einige Faktoren aus den Bereichen Ökologie und Gesundheit im Folgenden näher betrachtet, wobei Vor- und Nachteile der beiden Automationstechnologien (KNX und EnOcean) als Ergebnis herausgearbeitet werden sollen.

6.1 Health & Wellness

Eine interessante Frage ist, ob und wie Gebäudeautomation eine Auswirkung auf die psychische und körperliche Gesundheit von Menschen haben kann.

6.1.1 Elektromog

Eine in der Gesellschaft weit verbreitete Sorge bezüglich der körperlichen Gesundheit in Bezug auf Funksysteme ist das Thema „Elektromog“, also schädliche Strahlungen.

Dieses Thema wird oft als vermeintlicher Nachteil der EnOcean Technologie gegenüber der KNX Technologie dargestellt, da bei EnOcean alle Komponenten über Funk kommunizieren. Eine nähere Betrachtung der zu erwartenden Strahlenbelastung gibt daher Aufschlüsse über die tatsächlichen Gefahren. Die Strahlung von Gebäudefunk, darunter auch EnOcean-Funk liegt bei etwa $0,000013 \text{ W/m}^2$. Das ist im Vergleich zu den Strahlungswerten anderen haushaltsüblicher Geräte wie z.B. Handy oder WLAN bzw. Bluetooth sehr wenig. Die untenstehende Darstellung zeigt, dass der SAR-Wert, also die spezifische Absorptionsrate ²², eines Smartphones 1,6 Millionen mal höher ist, als der von EnOcean. Und auch bei WLAN bzw. Bluetooth ist mit einer rund 700 mal so hohen Strahlungsbelastung zu rechnen.

Folglich ist Gebäudefunk für die Gesundheit also unbedenklich. EnOcean sendet weitaus weniger hochfrequente Strahlen aus als eine konventionelle Elektroverkabelung und ist damit der mit Abstand kleinste Hochfrequenzsender im Haus.²³



Abbildung 21: Vergleich Strahlungswerte

²² URL:<https://wua-wien.at/umwelt-und-gesundheit/glossar-zum-thema/10150-sar-wert>, [28.06.2021, 13:53]

²³ URL:<https://www.pc-magazin.de/ratgeber/strahlung-im-haus-wie-gefaehrlich-ist-das-vernetzte-haus-1504076.html>, [21.06.2021, 09:00]

6.1.2 Raumklima

Studien belegen, dass Menschen in Nordeuropa und Nordamerika 90% der Zeit in geschlossenen Räumen verbringen.²⁴ Im Hinblick auf diese sogenannte „Indoor Gesellschaft“ nimmt eine gute Luftqualität in Innenräumen einen enorm hohen Stellenwert ein.

Der Begriff Raumklima beinhaltet alle Faktoren, welche einen Einfluss auf die „gefühlte“ Umgebung in geschlossenen Räumen haben. Dazu zählen folgende Faktoren:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Luftqualität
- Luftbewegung
- Wärmestrahlung

Die Qualität des Raumklimas kann sich auf die körperliche und psychische Gesundheit auswirken und ist besonders am Arbeitsplatz oder an Lernstätten, wie Schulen oder Universitäten, ein wichtiges Thema. Vor allem in Räumen, in welchen viele Leute zusammenarbeiten, wird die Gefahr, welche ein dauerhaft schlechtes Raumklima mit sich bringt, häufig unterschätzt.

In Deutschland wurden im Rahmen der ProKlimA-Studie in den Jahren von 1994 bis 2000 rund 5.000 Büros in Form von umfangreichen Befragungen und Messungen untersucht.²⁵ So hat sich herausgestellt, dass ca. 10-20% der Beschäftigten in einem Großraumbüro an verschiedenen Krankheitssymptomen leiden, welche sich dadurch kennzeichnen, dass sie nachlassen, sobald das Büro verlassen wird. In diesem Fall spricht man vom sogenannten „Sick-Building- Syndrom“. Gemeint ist eine sogenannte „gebäudebezogene Gesundheitsstörung“.²⁶

Auch auf Produktivität und Leistungsfähigkeit hat das Raumklima einen großen Einfluss. Es ist erwiesen, dass ein erhöhter CO₂- Wert enorme negative Auswirkungen auf Konzentration und Leistungsfähigkeit nimmt.²⁷

Ein optimales Raumklima zu erreichen ist oftmals schwieriger als gedacht. Je nach Raumgröße, Jahreszeit und Anzahl der Menschen sinkt die Klimaqualität unterschiedlich schnell ab.

Eine enorme Erleichterung kann der Einsatz von Gebäudeautomation verschaffen. Durch den Einsatz von verschiedenen Sensoren für CO₂, Temperatur, Feuchte oder

²⁴URL:https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/forschung_technik_trends/velux-studie-indoor-generation-die-auswirkungen-des-modernen-lebens-auf-gesundheit-wohlbefinden-und-produktivitaet-2018/,[28.06.2021, 18:33]

²⁵URL:<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/umweltmedizin/sick-building-syndrom>,[08.06.2021, 18:03]

²⁶ URL: <https://ergonomie-am-arbeitsplatz.de/raumklima-buero/>, [03.06.2021, 20:009]

²⁷URL:<https://www.oxy-com.com/de/blog-nachrichten/der-einfluss-des-raumklimas-auf-die-produktivitaet-der-mitarbeiter>, [04.05.2021, 17:24]

Helligkeit können schlechte Werte schneller erkannt werden und Prozesse, wie zum Beispiel die Steuerung von Leuchten, automatisiert werden.

Was das Angebot an Raumklima verbessernden Komponenten betrifft, stehen sich die KNX und EnOcean Technologie jeweils in nichts nach. Allerdings sollte erwähnt werden, dass die EnOcean Technologie einen wesentlich höheren Flexibilitätsgrad aufweist, dass die Sensoren keine externe Energieversorgung benötigen und somit frei positionierbar sind. Dieser Punkt könnte vor allem in Bezug auf die Nachrüstung von Bestandsgebäuden wesentlich sein.

6.2 Ökologie und Umwelt

Der Bereich Ökologie und Umwelt hat in den letzten Jahren branchenübergreifend stark an Bedeutung gewonnen. Im Hinblick auf den demographischen Wandel, Ressourcenknappheit sowie den Klimawandel hat auch im Bereich „Bau“ ein Umdenken stattgefunden.

Grundsätzlich lässt sich durch den Einsatz von smarten Sensoren und Aktoren viel Energie einsparen. Das Heizen macht beispielsweise ungefähr 60 Prozent des Energieverbrauchs privater Haushalte aus. Vor allem im Winter wird in den meisten Haushalten 24 Stunden am Tag geheizt, was allerdings nicht nötig wäre. Beim „smarten Heizen“ wird die Temperatur beispielsweise in der Nacht oder bei längerer Abwesenheit der Bewohner um 4-5 Grad abgesenkt. So kann durch den Einsatz smarter Heizkörperthermostate etwa 10 Prozent an Energie gespart werden.²⁸ Solche energetischen Vorteile können durch den Einsatz von beiden Technologien, EnOcean und KNX erzielt werden.

Doch welche der Technologien bietet in Bezug auf ökologische Aspekte die meisten Vorteile?

Der Bausektor gehört zu den ressourcenintensivsten Wirtschaftssektoren in Deutschland und er wächst stetig. Schätzungen zufolge ist die Baubranche weltweit für ein Viertel der CO₂ Emissionen verantwortlich.

Auch die Raumausstattung trägt hier einen erheblichen Teil bei. So fallen im Zuge von Neubau, Umbau oder Sanierungen beispielsweise kilometerlange Altkabel an. Allein in Deutschland sind dies ca. 150.000 Tonnen jedes Jahr. Zusätzlich fallen tausende Tonnen an PVC in Form von Kabelkanälen an, in welchen Elektrokabel normalerweise verlegt werden.

Hauptbestandteile eines Elektrokabels sind Kupfer und PVC. Diese müssen in einem aufwendigen und teuren Prozess voneinander getrennt werden.

Die Auswertung der vorangegangenen Arbeit hat ergeben, dass beim Vergleich von EnOcean gegenüber KNX, der eingesparte Mittelwert aller Grundrisse in allen Ausstattungsvarianten bei 2,7 Metern pro Quadratmeter liegt. Das entspricht 37%.

²⁸ URL: Ökologisch heizen – der Umwelt zuliebe | Smart-Home-Blog von Somfy, [25.06.2021, 09:079]

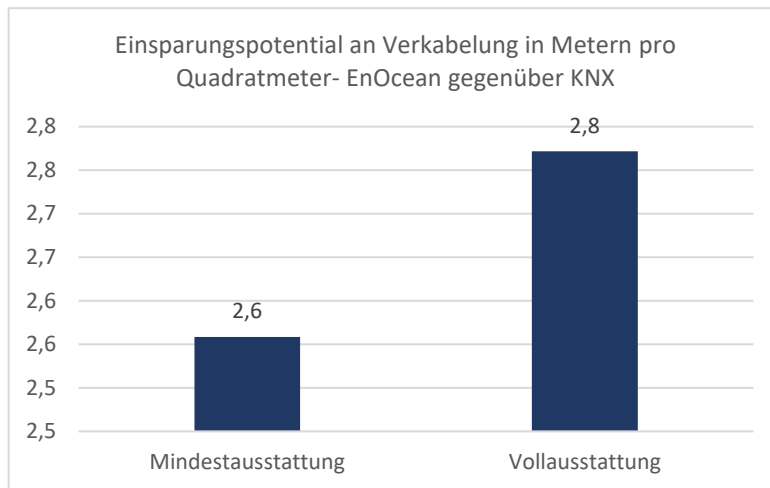


Abbildung 22: Einsparungspotential an Verkabelung in Metern pro Quadratmeter – EnOcean gegenüber KNX

Das entspricht pro Bauvorhaben einer Ersparnis von 8,5 Kg PVC im Schnitt.

Bei einer Menge von ca. 232.208 Bauvorhaben im Jahr in Deutschland entspricht das einer Menge von rund 1947 Tonnen PVC.

7 Fazit

Abschließend lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

Zunächst ergeben sich eine Reihe von Vorteilen, welche die Gebäudeautomation technologieübergreifend mit sich bringt.

Im Hinblick auf gesundheitliche Faktoren kann durch den Einsatz von smarten Sensoren und Aktoren ein besseres Raumklima erzielt werden. So kann körperlichen und psychischen Erkrankungen vorgebeugt werden. Zudem wird nachweislich eine positive Wirkung auf Konzentration und Produktivität erzielt, was vor allem an Arbeitsstätten von Bedeutung ist.

Auch die Bereiche Komfort und Sicherheit erlangen einen positiven Aufschwung. Durch den Einsatz von smarten Sensoren können Gebäude auch aus der Entfernung überwacht und gesteuert werden. Zudem ergeben sich für den Endnutzer zahlreiche Erleichterungen, welche auf einen möglichst hohen Wohlfühlfaktor abzielen.

Durch den Einsatz von Gebäudeautomation kann zudem Energie eingespart werden.

Der Vergleich zwischen den beiden Automationstechnologien, mit und ohne Funk, hat folgende Ergebnisse ergeben:

Die Variante mit Funk ist mit über 20% weniger Kosten deutlich günstiger als diejenige ohne. Das liegt zum einen an einem niedrigeren Verkabelungsaufwand, welcher eine Kostenersparnis von rund 20% pro Quadratmeter zur Folge hat. Zum anderen resultieren daraus geringere Kosten für Komponenten, welche vor allem auf niedrigere Installationskosten zurückzuführen sind.

Durch die Einsparung an Verkabelungsaufwand können Ressourcen geschont werden und der CO₂ Ausstoß eines Gebäudes kann deutlich herabgesetzt werden.

Zusätzlich gibt es einige Vorteile, welche sich speziell durch den Einsatz der EnOcean Technologie herausstellen:

Vorteile des EnOcean Funkstandards sind neben einem sehr geringen Energieverbrauch, mehr Flexibilität im Gebäude. So können beispielsweise Schalter frei im Gebäude positioniert werden. Zudem ist ein Großteil der Funksensoren wartungsfrei und erspart dem Nutzer hohe Installationskosten. Im Vergleich zu allen anderen Automationstechnologien sind für die meisten Sensoren weder Verkabelungen zur Stromversorgung, noch zur Informationsübertragung notwendig und durch das Energy Harvesting werden auch andere Energiequellen, wie zum Beispiel Batterien, überflüssig.

Eine kleine Einschränkung ergibt sich durch die eingeschränkte Reichweite des Funksignals. Bei großen Gebäuden sollte eine Reichweitenplanung durchgeführt werden, wobei zu hohe Distanzen mit Signalverstärkern überbrückt werden können.

Abschließend sollte Folgendes kurz erwähnt sein. Die Planungen innerhalb der Arbeit gehen von einem Neubau aus. Die nachträgliche Ausstattung von Bestandsgebäuden, also das Nachrüsten und die daraus eventuell resultierenden Mehrkosten, wurde

dabei nicht berücksichtigt. Ableitend aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Arbeit lässt sich aber sagen, dass vor allem bei der BUS-basierten Automationsvariante mit erheblichen Mehrkosten zu rechnen sein könnte.

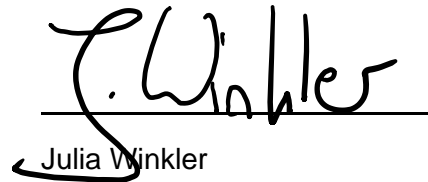
Nachteile der Gebäudeautomation im Allgemeinen ergeben sich kaum. Die Studie hat gezeigt, dass mit höheren Anschaffungskosten gerechnet werden muss als bei einer konventionellen Verkabelung. Allerdings sollte dieser Faktor im Vergleich zum positiven Mehrwert gesehen werden, welche der Einsatz an Gebäudeautomation mit sich bringt.

Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Rosenheim, den

11.07.2021



Handwritten signature of Julia Winkler, consisting of a stylized 'J' followed by 'Winkler', written over a horizontal line.

Julia Winkler