

Handwerkskammer Rheinhessen
– Fachwirt für Gebäudeautomation (HWK/IMB) –

Projektarbeit zum Thema

Entwicklung eines Konzepts für die Raumautomation im
Schulgebäude der Eduard-Orth-Grundschule in Germersheim

Vorgelegt von:

Keck, Klaus
Rülzheimer Straße 12, 76756 Bellheim

Abgabedatum:

27.01.2023

I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis.....	2
1	Einführung.....	4
2	Ausgangssituation und Analyse	8
2.1	Ausgangssituation.....	8
2.1.1	Automationsschwerpunkt 1 - Technikzentrale Hauptgebäude	10
2.1.2	Automationsschwerpunkt 2 - Technikzentrale Anbau 2019	12
2.2	Analyse	15
3	Lösungsvorschläge und Bewertung	17
3.1	Ziele der Modernisierung	17
3.2	Bildung der Lösungsvorschläge	17
3.3	Ausführung der Lösungsvorschläge.....	17
3.3.1	Lösungsvorschlag 1 – Raumautomation der DEOS AG	18
3.3.1.1	Erläuterung	18
3.3.1.2	Kaufmännische Betrachtung.....	18
3.3.1.3	Vor- und Nachteile	18
3.3.2	Lösungsvorschlag 2 – Raumautomation über Bussystem KNX.....	21
3.3.2.1	Erläuterung	21
3.3.2.2	Kaufmännische Betrachtung.....	21
3.3.2.3	Vor- und Nachteile	21
3.3.3	Lösungsvorschlag 3 – Raumautomation über Funksystem LoRa	23
3.3.3.1	Erläuterung	23
3.3.3.2	Kaufmännische Betrachtung.....	24

3.3.3.3	Vor- und Nachteile	25
3.4	Bewertung.....	26
3.4.1	GA-Effizienzklasse auf Basis der DIN EN 15232	26
3.4.2	Nutzwertmatrix.....	29
3.4.3	Wirtschaftliche Gegenüberstellung – Investition	31
3.4.4	Gewinnvergleichsrechnung.....	32
3.4.5	Lebenszykluskosten.....	33
3.4.6	Rentabilitätsrechnung	34
3.4.7	Amortisationsberechnung	35
4	Fazit	37
II.	Abbildungsverzeichnis	38
III.	Tabellenverzeichnis	39
IV.	Diagrammzeichnis.....	40
V.	Abkürzungsverzeichnis	41
VI.	Quellenverzeichnis.....	43
VII.	Eidesstattliche Erklärung.....	44

1 Einführung

Die „Volksschule Zeppelinstraße“ wurde Ende der 1950er Jahre, als eine der ersten größeren kommunalen Baumaßnahmen der Stadt Germersheim nach dem 2. Weltkrieg errichtet und am 5. September 1959 festlich ihrer Bestimmung übergeben.



Abbildung 1: Eduard-Orth-Schule

Quelle: https://www.rheinpfalz.de/cms_media/module_img/11304/5652428_1_article-detail_eduard-orth-schule.webp

Den Namen „Eduard-Orth-Schule“, im folgenden „EOS“ genannt, erhielt die Schule erst im Jahre 1968, nach dem Tod des damaligen rheinland-pfälzischen Kultusministers und Germersheimer Ehrenbürgers Dr. Eduard Orth. Seit 1972 besteht die Schule in ihrer jetzigen Form als Grundschule.

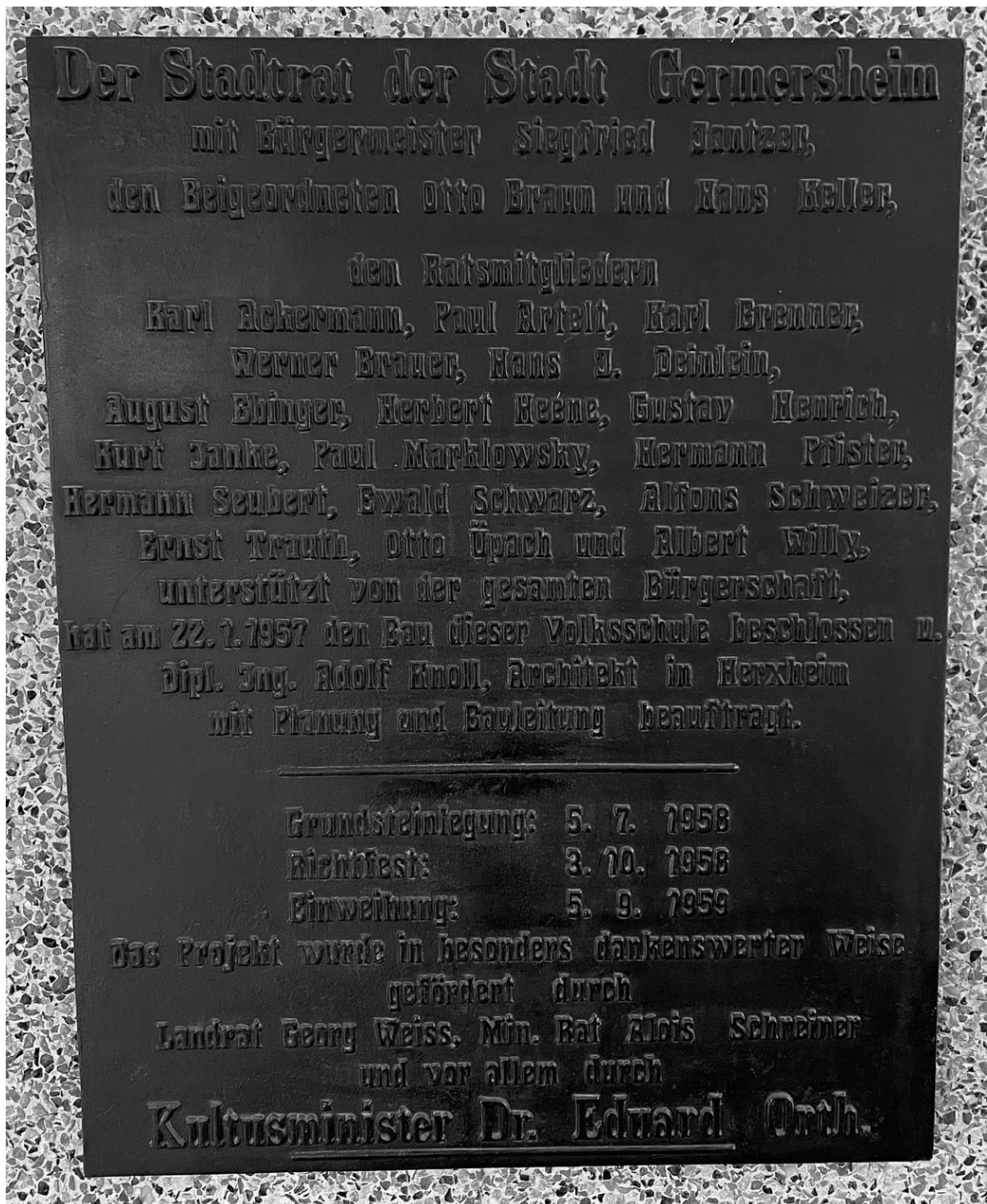


Abbildung 2: Gedenktafel in der Schule
Quelle: Eigene Abbildung

410 Schüler werden heute von 30 Lehrern in 24 Klassenräumen unterrichtet. Die EOS ist eine Ganztagschule. Es sind unterschiedliche Belegzeiten der Klassenräume durch diese Art der Schulform. Einige Klassenräume sind tagsüber belegt, andere nur halbtags.

Weiterhin finden auch abends Kurse der Volkshochschule in einigen Räumen statt. Durch diese Nutzung können die Vorregelkreise nicht pauschal abgesenkt werden.

Die Gesamtzahl des Personals in der Schule beträgt 70 Personen.

Zwischenzeitlich wurden schon viele Umbaumaßnahmen an und in dem Gebäude vorgenommen. Die Fassade wurde energetisch und optisch saniert. Das Dach wurde 2009 komplett erneuert. Die Fenster wurden alle getauscht. 2019 wurde ein Anbau errichtet, in dem vier Klassenräume, die Mensa, Küche und Technikraum untergebracht wurden.

Die Verwaltung des Gebäudes unterliegt dem Facilitymanagement der Stadt Germersheim. Diese Abteilung verwaltet 82 Gebäude, darunter Kitas, Schulen, Museen, Kulturstätten, Veranstaltungs- und Verwaltungsgebäude. Die meisten der Gebäude wurden im 19. Jahrhundert erbaut und stehen daher unter Denkmalschutz.

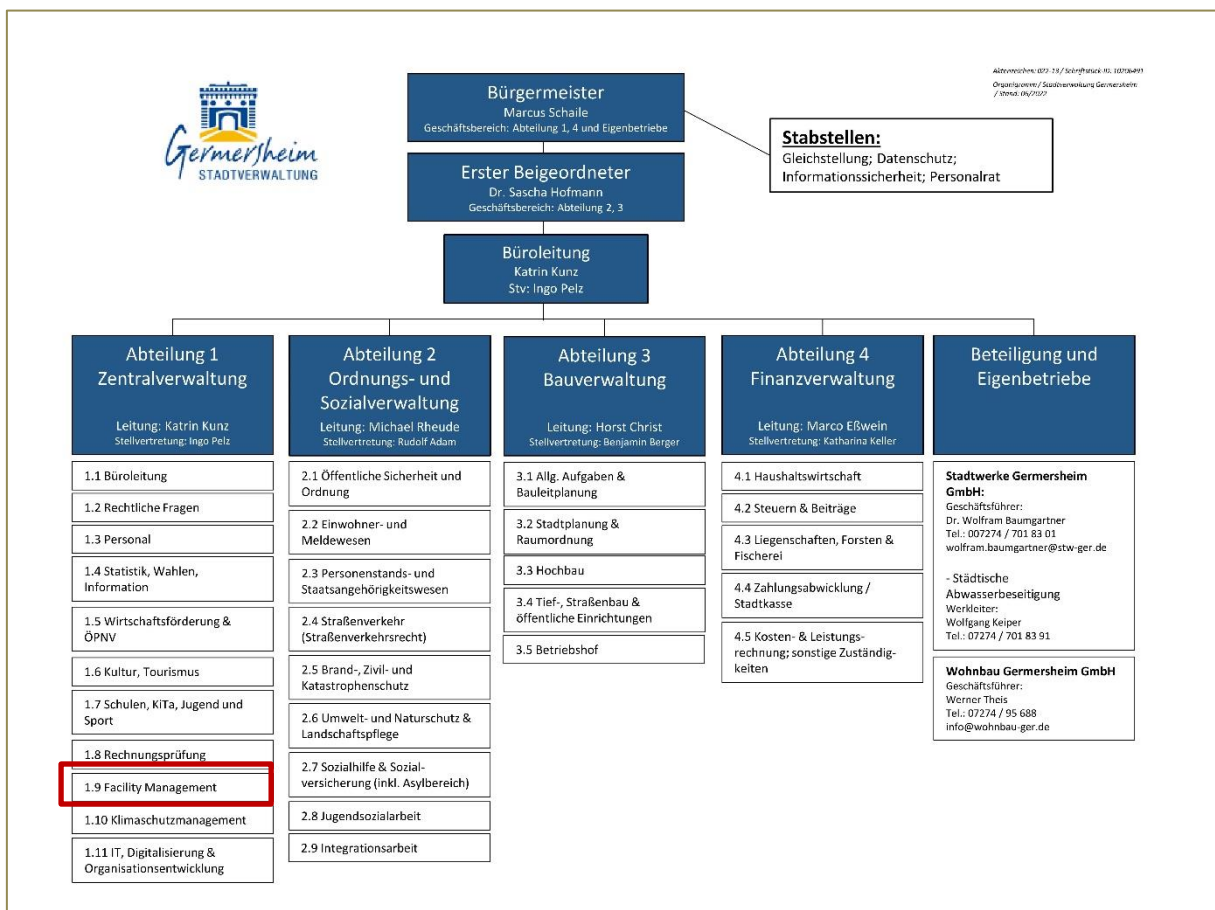


Abbildung 3: Organigramm Stadtverwaltung Germersheim

Quelle: <https://www.germersheim.eu/verwaltung-buergerservice/stadthaus/verwaltung/organigramm-stadt-germersheim-06-2022.pdf?cid=wg>

Gebäudeart	Anzahl	Energiebezugsfläche (gesamt) in m ²
Verwaltungsgebäude	5	12.912
Kindertagesstätten	12	6.888 (ohne Regenbogen Kita)
Sportbauten	4	5.344 (ohne Sportzentrum Wrede)
Grundschulen	2	7.165
Realschulen	1	1.825
Veranstaltungsgebäude	3	4.033
Bauhöfe	3	1.159 (nur Betriebshof mit drei Gebäuden)
Bibliotheksgebäude	1	849
Ausstellungsgebäude	3	6.092 (ohne Infanteriegebäude)
Verkaufsstätten	3	2.283
Weiterbildungseinrichtungen	1	461
Gebäude für Sportplatz- und Freibadeanlagen	10	1.792 (nur fünf von zehn Anlagen)
Gebäude für Lagerung	4	-
Feuerwehren	1	-
Gebäude für kulturelle und musische Zwecke	1	293
Sonstige Gebäude	29	6.658 (nur neun der Gebäude)

Abbildung 4: Gebäude der Stadtverwaltung Germersheim

Quelle: <https://www.germersheim.eu/lokales-soziales/nachhaltigkeit/klimaschutz/energiemanagement/energieberich-stadtverwaltung-germersheim-17-19.pdf?cid=91v>

In dieser Projektarbeit soll eine Lösung aufgezeigt werden, mit der sich Energiekosten schnell einsparen lassen. Nebeneffekt dieser Einsparmaßnahme ist zudem noch eine Komfortsteigerung.

2 Ausgangssituation und Analyse

2.1 Ausgangssituation

Die TGA der Schule besteht im Wesentlichen aus zwei Technikzentralen. Diese sind in zwei Gebäudeteilen installiert. Die eine Technikzentrale umfasst die Heizzentrale, mit zwei Heizkesseln gleicher Baugröße. Die zweite Technikzentrale wurde mit dem Anbau 2019 neu erstellt. Die Überwachung und Betreuung der Anlagen sind nicht optimal. Es gibt keine übergeordnete Leittechnik. Störungen oder ein schlechter Anlagenbetrieb wird nicht erkannt und führt somit zu erhöhten Betriebskosten. Weiterhin ist im gesamten Komplex *keine* Einzelraumregelung installiert. Die Heizkörper werden manuell mit Thermostatköpfen geregelt. Bei der Begehung der Anlage am 29.11.2022 wurden auch erhöhte Raumtemperaturen in den Fluren der Schule festgestellt. Die Thermostatköpfe sind mechanisch nach unten und oben verriegelt. Man kann diese minimal auf die Position 2 einstellen. Siehe dazu auch Abbildung 5.



Abbildung 5: Installierte Heizkörperthermostate
Quelle: Eigene Abbildung

Durch unterschiedliche Belegzeiten der Klassenräume ist eine frühzeitige Absenkung der Vorregelkreise in der Heizzentrale nicht möglich. Zudem sind die Vorregelkreise nicht sonderlich gut aufgeteilt. Im Hauptgebäude gibt es die Regelkreise Kellergeschoß, Flure und Klassenzimmer. Für den Mittelbau und Nebenbau gibt es jeweils einen Vorregelkreis. Da wegen fehlender Raumautomation die Rückinformationen der Klassenräume und Verwaltungsräume nicht vorhanden sind, können die Vorregelkreise nicht beeinflusst werden.

Der Energieverbrauch ist im Jahre 2021 stark angestiegen. Die Kosten für die MWh Gas sind moderat angestiegen. Wie es zu dem hohen Anstieg des Energieverbrauches kommt, kann nicht nachvollzogen werden, da es keinerlei Zähleinrichtungen außer dem Hauptgaszähler gibt.

Jahr	Verbrauch in MWh	Verbrauch in kWh	Verbrauch Witterungsbereinigt in MWh (Klimafaktor)	Kosten in €	Anstieg zum Vorjahr
2021	529,79	529.790	688,73 (1,30)	28.199 €	30,3200%
2020	416,54	416.540	570,66 (1,37)	21.638 €	9,2400%
2019	411,80	411.800	527,11 (1,28)	19.808 €	13,7500%
2018	369,03	369.030	501,88 (1,36)	17.413 €	

Tabelle 1: Energieverbrauch 2018 – 2021

Quelle: Mail Klimaschutzmanagerin Merle Johnston vom 06.12.2022

2.1.1 Automationsschwerpunkt 1 - Technikzentrale Hauptgebäude

Die Technikzentrale befindet sich im Untergeschoß des 1959 erstellten Hauptgebäudes. Es sind 2 Gaskessel, 2-stufig, mit gleicher Leistung installiert. Diese beiden Heizkessel (Abb. 6) stammen aus dem Jahr 1982, die Brenner wurden 2018 erneuert. Diese haben eine Leistung von je 233 kW. Weiterhin befindet sich auch dort der Heizkreisverteiler (Abb. 7) mit 6 Heizkreisen. Eine zentrale Warmwasserbereitung ist im Altbestand des Gebäudes nicht installiert. Im Jahr 2019 erstellten Anbau, ist eine zentrale Warmwasserbereitung für diesen installiert worden. Dieser wird aus dieser Heizzentrale versorgt.

Der Automationsschwerpunkt 1 (Abb. 8) der Technikzentrale Hauptgebäude wurde 2019 im Zuge des neuen Anbaus erneuert. Eine Senkung des Energieverbrauches wurde anhand der Energiedaten (Tab. 1) nicht festgestellt.



Abbildung 6: Heizzentrale Hauptgebäude
Quelle: Eigene Abbildung



Abbildung 7: Heizverteiler in Heizzentrale Hauptgebäude
Quelle: Eigene Abbildung



*Abbildung 8: Schaltschrank Regelungstechnik Heizzentrale Hauptgebäude
Quelle: Eigene Abbildung*

2.1.2 Automationsschwerpunkt 2 - Technikzentrale Anbau 2019

Die Technikzentrale befindet sich im Erdgeschoß des 2019 erstellten Anbaus. Es befindet sich dort der Automationsschwerpunkt 2, der Heizkreisverteiler (Abb. 8) mit 4 Heizkreisen, eine zentrale Warmwasserbereitung (Abb. 9) und die Versorgung von zwei Lüftungsanlagen (Abb. 10), die auf dem Dach installiert sind. Die Wärmeversorgung erfolgt direkt aus der Heizzentrale Hauptgebäude. Die Versorgungsleitung, die den Anbau versorgt, ist ca. 90 Meter lang. Diese wird im Sommer für die Warmwasserbereitung aufgeheizt.



Abbildung 9: Technikzentrale Anbau – Heizverteiler

Quelle: https://www.ib-gaberdiehl.de/s/cc_images/cache_2478708842.JPG



Abbildung 10: Technikzentrale Anbau – Warmwasserbereitung

Quelle: https://www.ib-gaberdiehl.de/s/cc_images/cache_2478708843.JPG



Abbildung 11: Lüftungsgeräte Dachbereich Anbau

Quelle: https://www.ib-gaberdiehl.de/s/cc_images/cache_2478708845.JPG

2.2 Analyse

Die Klassenräume, die Verwaltungsräume, die Flure und die Nebenräume werden in der Heizphase dauerhaft 24 Stunden am Tag ungeregelt betrieben. Es gibt im ganzen Gebäudekomplex keine Einzelraumregelung. Die Temperaturen in den Räumen und in den Fluren sind zu hoch. Teilweise liegen die Temperaturen zwischen 20 und 21 Grad Celsius in den Fluren. Zum Regeln der Räumlichkeiten werden die Fenstergriffe verwendet. Die Heiztechnik kann somit nicht energiesparend betrieben werden. Ob eine Kommunikation zwischen den beiden relativ „neuen“ Automationsschwerpunkten stattfindet, die 2019 erst in Betrieb genommen wurden, kann man nicht sagen. Der Hausmeister kennt die Passwörter zum Bedienen der Controller nicht. Da der Hausmeister keinen Zugriff auf die MSR-Controller in der Heizzentrale hat, ist davon auszugehen, dass keine Ferientermine oder andere Termine eingegeben werden. Weiterhin ist auch niemand zuständig der die Anlagen optimiert. Ob und wann die Heizkreise absenken, kann man nicht erkennen.

Es muss eine Lösung gefunden werden, die es dem fachfremden Hausmeister ermöglicht, die Anlagen effizient und störungsfrei zu bedienen. Noch besser wäre es, wenn die Anlagen vollautomatisch laufen würden.

Als erster Lösungsansatz wird eine Raumautomation angedacht, um energieeffizient die Schule zu betreiben. Da zurzeit die Schule digitalisiert wird, ist in allen Schulsälen ein gut ausgebautes Verlegesystem (Leitungsführungskanäle) (Abb. 12/13) vorzufinden. Somit ist der Installationsaufwand nicht ganz so hoch anzusetzen und wurde in den Installationskosten berücksichtigt.

Was der Schule zugutekommt ist der relativ günstige Gaspreis. Dieser ist deshalb so nieder angesetzt, da der Energieversorger die Stadtwerke der Stadt Germersheim ist. Diese hat gute Einkaufskonditionen durch Großabnehmer, wie eine Glashütte und mehrere Industriebetriebe mit hohem Gasbedarf.

Die neue Netzwerkinfrastruktur soll für die Installation der Raumautomation genutzt werden.



Abbildung 12: Klassenraum mit Installationskanälen
Quelle: Eigene Abbildung



Abbildung 13: Klassenraum mit Installationskanälen
Quelle: Eigene Abbildung

3 Lösungsvorschläge und Bewertung

3.1 Ziele der Modernisierung

Eine Senkung der Betriebskosten ist das Hauptziel der Raumautomation. Weiteres Ziel ist, dass diese Automation weitgehend selbstständig abläuft. Ein Eingriff über das Bedienpersonal soll weitgehend vermieden werden, da es auch an Fachpersonal mangelt.

Ein Eingriff an diesen Stellen, hier sind aktuell manuelle Thermostate eingebaut, soll es in Zukunft nicht mehr geben.

Die bestehende Vorregelung die 2019 modernisiert wurde, soll ertüchtigt werden.

Weiteres Ziel ist es, dass das Heizmedium dem Verbraucher nach dem Energiebedarf zugeführt werden soll, so dass die Verluste im Rohrleitungssystem auf ein Minimum beschränkt werden. Durch diese bedarfsgeführte Heizkreisregelungen, soll auch die Wärmeerzeugung durch die beiden Heizkessel bedarfsgerecht geregelt werden.

3.2 Bildung der Lösungsvorschläge

In Zusammenarbeit mit der Schulleitung und der Klimaschutzmanagerin der Stadtverwaltung Germersheim wurden verschiedene Lösungswege in Erwägung gezogen und das Hauptaugenmerk auf die Wirtschaftlichkeit gelegt. Somit sind drei Lösungsansätze aufgezeigt.

3.3 Ausführung der Lösungsvorschläge

Für die Ausführung der Vorschläge wurde das gesamte Projekt besichtigt. Es wurde alles dokumentiert, Messungen für die Funklösung durchgeführt. Für die Berechnung des Installationsaufwandes Elektroverkabelung wurden CAD Pläne übergeben, um sich die Massen zu ziehen.

3.3.1 Lösungsvorschlag 1 – Raumautomation der DEOS AG

Hier werden Raumautomationssysteme des GA-Herstellers DEOS AG verwendet.

Die DEOS AG ist ein international agierendes mittelständisches Unternehmen und Teil der schwedischen Regin Gruppe. Sie entwickelt und produziert mit der Kompetenz aus mehr als 55 Jahren, intelligente Produkte, Lösungen und Dienstleistungen für die Automation und Digitalisierung von Gebäuden und Anlagen¹.

3.3.1.1 Erläuterung

Bei diesem Lösungsvorschlag werden Raumcontroller verwendet, die über ein proprietäres (herstellerspezifisches) Kommunikationsprotokoll mit einer übergeordneten DDC kommuniziert. Die Heizkörperstellantriebe und die Raumfühler sind keine Geräte mit Buskommunikation. Diese werden über Leitungen direkt an den Raumcontroller angebunden.

3.3.1.2 Kaufmännische Betrachtung

Bei dieser Lösung ist mit einmaligen Installationskosten zu rechnen. Diese setzen sich aus den Kosten für die Elektroinstallation, die DDC-Hardware, die Feldgeräte wie Fühler, Ventilantriebe und die Dienstleistungskosten wie Programmierung und Inbetriebnahme zusammen. Lizenzkosten fallen keine an.

3.3.1.3 Vor- und Nachteile

Es können die frei programmierbaren Funktionen eines frei programmierbaren Systems ausgespielt werden. Es werden in allen Räumen die Ventilstände der Heizkörperstellantriebe übermittelt, so dass der Controller dem Vorregelkreis eine Temperaturvorgabe geben kann. Durch diese Vorgabe wird vermieden, dass eine zu hohe Vorlauftemperatur durch das ganze Rohrsystem gepumpt wird. Raumfühler oder Heizkörperstellantriebe können bei Defekt durch eine eingewiesene Elektrofachkraft ausgetauscht werden, da diese konventionell ohne Buskommunikation ausgeführt sind.

¹ vgl. <https://www.deos-ag.com/de/unternehmen/ueber-uns/>

Fensterkontakte benötigen eine zusätzliche Leitung. Bei dieser Variante ist der Verkabelungsaufwand hoch und zieht die Investitionskosten nach oben.

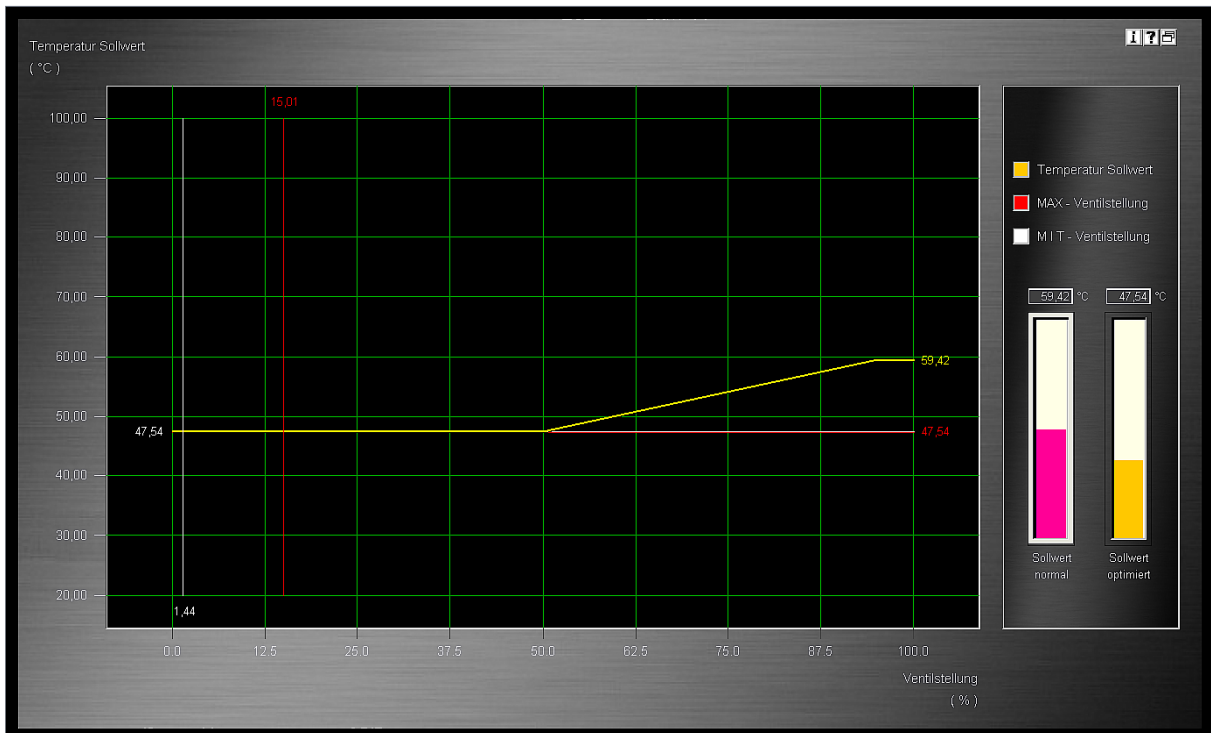


Abbildung 14: Dynamisches Diagramm der Sollwertoptimierung MSR-Controller
Quelle: Eigene Abbildung

Auszug einer Sollwertoptimierung. Die senkrecht rote Linie zeigt den maximalen Ventilhub aller installierten Ventiltriebe. Da dieser Ventilhub in diesem Diagramm gerade mal bei 15,01 Prozent liegt, optimiert dieses Programm die Vorlauftemperatur auf 47,54 °C. Die Sollwertvorgabe über die eingestellte Heizkurve wäre in diesem Fall bei 59,42 °C. Die automatische Optimierung liegt hier bei 11,88 K.

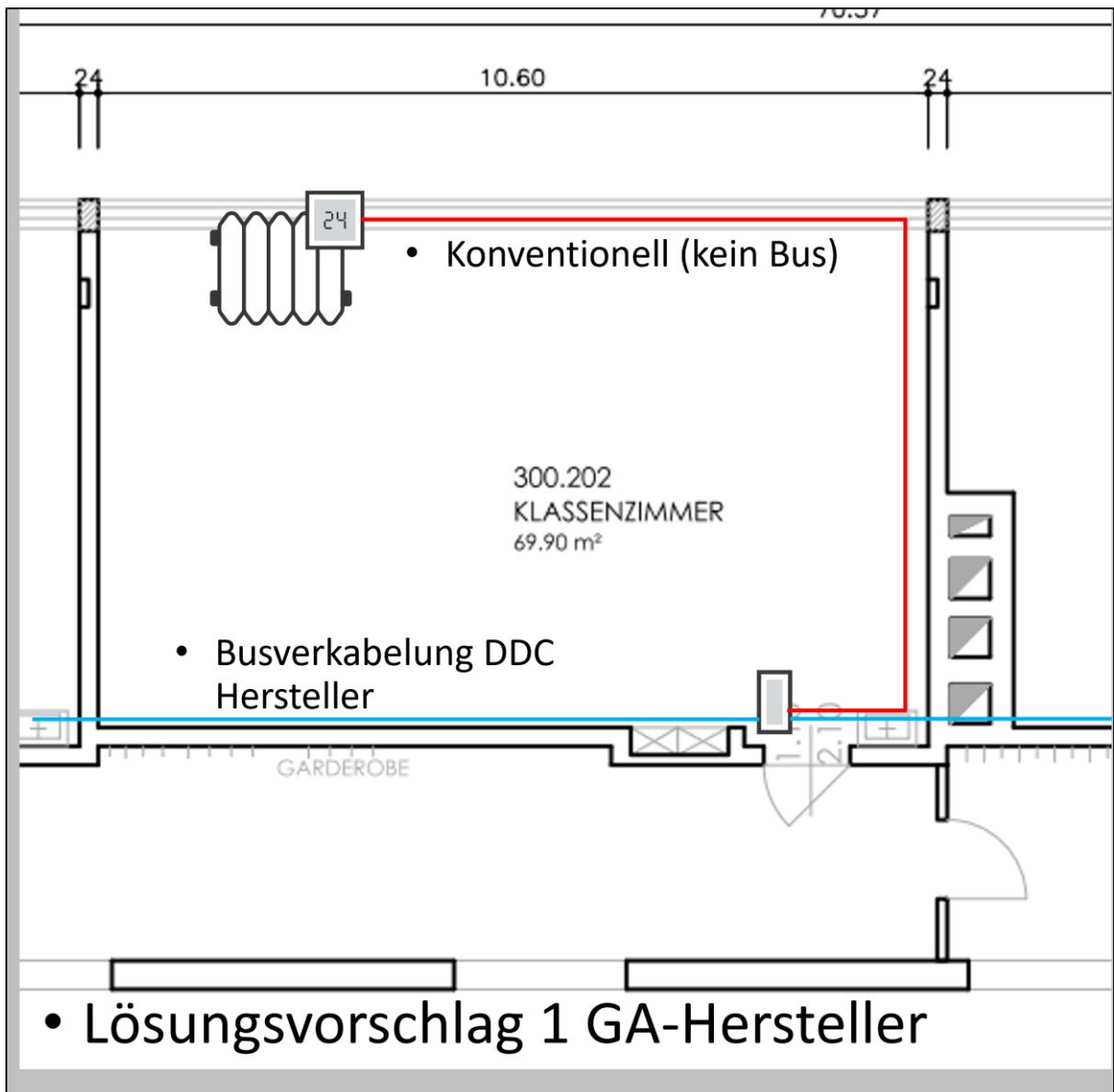


Abbildung 15: Klassenzimmer mit Automatisierung Variante 1
Quelle: Eigene Abbildung

3.3.2 Lösungsvorschlag 2 – Raumautomation über Bussystem KNX

Bei dem zweiten Vorschlag werden Raumautomationssysteme des KNX-Systems eingesetzt.

KNX ist ein Feldbus zur Gebäudeautomation. Der Name *KNX* entstand als Verkürzung aus dem vorübergehenden Namen *KONNEX*, wobei dies von lateinisch *connexio* „Verbindung“ abgeleitet war. Auf dem Markt der Gebäudeautomation ist KNX der Nachfolger der Feldbusse Europäischer Installationsbus (EIB). Technisch ist KNX eine Weiterentwicklung des EIB durch Erweiterung um Konfigurationsmechanismen und Übertragungsmedien, die ursprünglich für BatiBus und EHS entwickelt wurden. KNX ist mit EIB kompatibel².

3.3.2.1 Erläuterung

Bei dieser Variante werden Raumcontroller verwendet, die das Kommunikationsprotokoll KNX verwenden. Die Heizkörperstellantriebe und die Raumfühler sind direkte Teilnehmer auf dem KNX-Bussystem. Die Leitungsführung kann als Stich- oder Sternverkabelung ausgeführt sein.

3.3.2.2 Kaufmännische Betrachtung

Hier ist mit einmaligen Installationskosten zu rechnen. Diese setzen sich aus den Kosten für die Elektroinstallation, die DDC-Hardware, die Feldgeräte wie Fühler, Ventilantriebe und die Dienstleistungskosten wie Programmierung und Inbetriebnahme zusammen. Die Kosten der Elektroinstallation ist geringer als in der Variante 1, da die Raumfühler und die Ventilstellantriebe über die KNX-Busleitung eingebunden werden. Eine sternförmige Verkabelung zum Raumcontroller ist nicht nötig. Lizenzkosten fallen keine an.

3.3.2.3 Vor- und Nachteile

Es werden alle Aktoren und Sensoren kommunikativ ausgeführt.

² vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/KNX-Standard>

Der Verkabelungsaufwand ist nicht so hoch wie in der Variante 1, da die Raumfühler und die Heizkörperstellantriebe nicht mit einem Raumcontroller verbunden werden müssen.

Die Sensoren und Aktoren werden alle an einer Buslinie installiert.

Bei einem Defekt muss immer ein Systemtechniker vor Ort, um evtl. Raumfühler etc. zu tauschen. Fensterkontakte können auf die Busleitung aufgeschaltet werden. Eine zusätzliche Leitung wird nur bis zum nächsten Busteilnehmer benötigt.

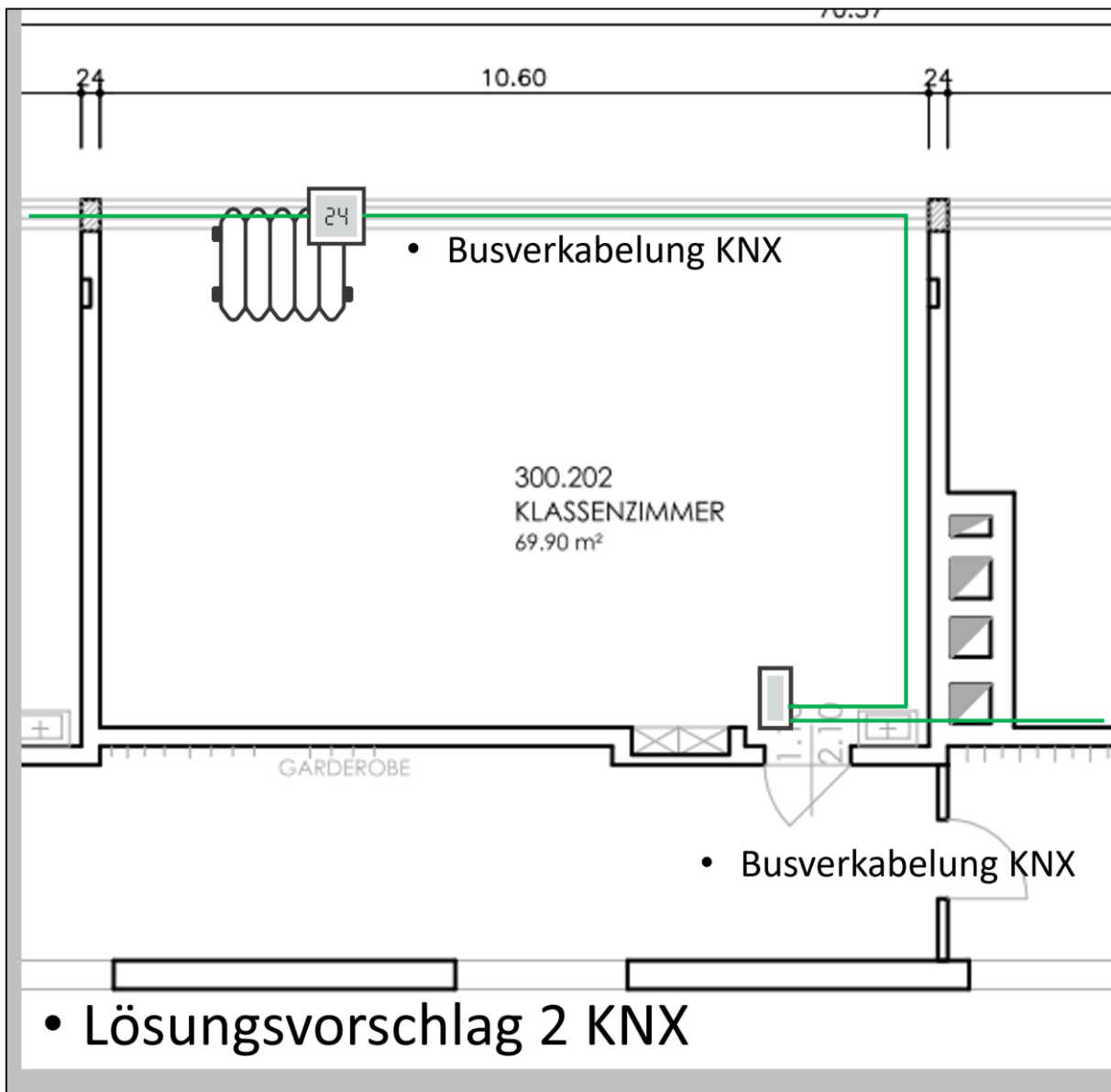


Abbildung 16: Klassenzimmer mit Automatisierung Variante 2
Quelle: Eigene Abbildung

3.3.3 Lösungsvorschlag 3 – Raumautomation über Funksystem LoRa

Bei der dritten Variante werden Raumautomationssysteme des Funksystems LoRaWAN eingesetzt.

Das "Long Range Wide Area Network" – kurz LoRaWAN genannt – ist eine Funktechnologie, die in der Lage ist, Daten über eine große Entfernung und auch von abgelegenen und schwer zugänglichen Orten

- energieeffizient
- kostengünstig und
- sicher

zu übertragen. LoRa ist eine Art der Informations- und Datenübertragung, die zu den sogenannten LPWAN-Technologien ("Low Power WAN" oder "Low Power Wide Area Networks") gehört, da bei der Übertragung der Daten kein Breitband-Netzwerk notwendig ist. Die Schmalbandtechnologie in Kombination mit batteriebetriebenen, drahtlosen Sensoren überwindet auch große Distanzen (in ländlichen, unbebauten Gebieten können das bis zu 50 km sein) bei einem sehr geringen Energieverbrauch. Die Batterien der Sensoren sind, aufgrund des geringen Verbrauchs, extrem langlebig und halten viele Jahre³.

3.3.3.1 Erläuterung

Bei diesem Lösungsvorschlag werden keine Raumcontroller verwendet. Die Heizkörperstellantriebe und die Raumfühler sind direkte Teilnehmer auf dem Funksystem. Auf dem LoRa-Gateway, welches pro Etage einmal eingesetzt wird, werden die Teilnehmer angemeldet und tauschen die Informationen bidirektional aus.

³ vgl. <https://www.badenova.de/blog/lorawan-einfach-erklart/>



Abbildung 17: Klassenzimmer mit Automatisierung Variante 3
Quelle: Eigene Abbildung

3.3.3.2 Kaufmännische Betrachtung

Bei dieser Variante ist mit einmaligen Installationskosten zu rechnen. Diese setzen sich aus den Kosten für das LoRa Gateway, den Feldgeräten wie Fühler, Ventilantriebe und den Dienstleistungskosten wie Parametrierung und Inbetriebnahme zusammen. Die Kosten der Elektroinstallation entfallen. Lizenzkosten fallen keine an.

3.3.3.3 Vor- und Nachteile

Es werden alle Aktoren und Sensoren kommunikativ ausgeführt. Bei dieser Variante ist keine Verkabelung notwendig, da die Raumfühler und die Heizkörperstellantriebe nicht mit einem Raumcontroller verbunden werden müssen. Die Heizkörperstellantriebe benötigen keine Energiezuführung. Die Energie wird durch einen Thermogenerator erzeugt, der das Heizmedium nutzt. Der Informationsgehalt der Antriebe ist sehr hoch. Selbst die Vorlauftemperatur, die Umgebungstemperatur, die Ventilstellung und viele weitere Werte werden direkt über das System von jedem Antrieb übermittelt. Diese Informationen sind für weitere energetische Optimierungen von Vorteil. Die Raumfühler werden durch eine Batterie versorgt, die aber eine Haltbarkeit von 8 bis 10 Jahren hat. Fensterkontakte können jederzeit nachgerüstet werden. Auch diese benötigen keine zusätzliche Verkabelung. Das System kann im Hause des Lieferanten so vorbereitet werden, dass die Einbau- und Inbetriebnahme vor Ort sehr kurz gestaltet werden kann.

3.4 Bewertung

3.4.1 GA-Effizienzklasse auf Basis der DIN EN 15232

Die GA-Effizienzklasse der Eduard-Orth-Schule wurde ermittelt und ist in der folgenden Abbildung 18 ersichtlich. Es wurden die Zustände vor und nach einer möglichen Sanierung ermittelt.

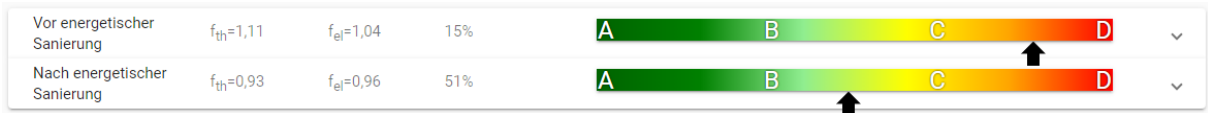


Abbildung 18: Effizienzklasse Gebäudeautomation

Quelle: [Gebäudeeffizienz-Inspektor \(igt-institut.de\)](http://Gebaeueeffizienz-Inspektor.igt-institut.de) Auswertung aus diesem Tool

Die Basis für die Anforderung an die Raumautomation und das damit verbundene Einsparpotential ist auf die DIN EN 15232 aufgesetzt. Diese ist in Klassen eingeteilt.

Die Europäische Norm EN 15232 beschreibt Verfahren zur Abschätzung und Auswirkung der Gebäudeautomation auf die Effizienz der Energie.

Momentaner Zustand Raumautomation

		Definition der Klassen							
		Wohngebäude				Nicht-Wohngebäude			
		D	C	B	A	D	C	B	A
Automatische Regelung									
1	Regelung des Heizbetriebs								
1.1	Regelung der Übergabe								
	Die Regelfunktion ist am Heizkörper (Strahlungsgeräte, Fußbodenheizung, Gebläsekonvektoranlage, Gerät im Innenbereich) auf Raumebene installiert; bei Typ 1 kann eine Funktion mehrere Räume regeln								
	0	Keine automatische Regelung	x				x		
	1	Zentrale automatische Regelung	x				x		
	2	Einzelraumregelung	x	x			x	x	
	3	Einzelraumregelung mit Kommunikation	x	x	x	x ^a	x	x	x
	4	Einzelraumregelung mit Kommunikation und präsenzabhängiger Regelung (nicht geeignet bei Anlagen mit langsam reagierender Wärmeübergabe, z. B. Fußbodenheizung)	x	x	x	x	x	x	x

Abbildung 19: GA Effizienzklasse DIN EN 15232 Raumautomation Ist

Quelle: Selbstlernunterlage Lehrgangsmodul 12 – Seite 78 mit eigener Änderung

Zustand nach der Nachrüstung Raumautomation

		Definition der Klassen							
		Wohngebäude				Nicht-Wohngebäude			
		D	C	B	A	D	C	B	A
Automatische Regelung									
1	Regelung des Heizbetriebs								
1.1	Regelung der Übergabe								
	Die Regelfunktion ist am Heizkörper (Strahlungsgeräte, Fußbodenheizung, Gebläsekonvektoranlage, Gerät im Innenbereich) auf Raumebene installiert; bei Typ 1 kann eine Funktion mehrere Räume regeln								
0	Keine automatische Regelung	x				x			
1	Zentrale automatische Regelung	x				x			
2	Einzelraumregelung	x	x			x	x		
3	Einzelraumregelung mit Kommunikation	x	x	x	x ^a	x	x	x	x ^a
4	Einzelraumregelung mit Kommunikation und präsenzabhängiger Regelung (nicht geeignet bei Anlagen mit langsam reagierender Wärmeübergabe, z. B. Fußbodenheizung)	x	x	x	x	x	x	x	x

Abbildung 20: GA Effizienzklasse DIN EN 15232 Raumautomation Soll

Quelle: Selbstlernunterlage Lehrgangsmodul 12 – Seite 78 mit eigener Änderung

Momentaner Zustand Vorregelung Heizkreis

		Definition der Klassen							
		Wohngebäude				Nicht-Wohngebäude			
		D	C	B	A	D	C	B	A
Automatische Regelung									
1.2	Regelung der Übergabe für TABS (Heizbetrieb)								
0	Keine automatische Regelung	x				x			
1	Zentrale automatische Regelung	x	x			x	x		
2	Erweiterte zentrale automatische Regelung	x	x	x		x	x	x	
3	Erweiterte zentrale automatische Regelung mit intermittierendem Betrieb und/oder Raumtemperatur-Rückführregelung	x	x	x	x	x	x	x	x

Abbildung 21: GA Effizienzklasse DIN EN 15232 Heizkreis Ist

Quelle: Selbstlernunterlage Lehrgangsmodul 12 – Seite 79 mit eigener Änderung

Zustand nach der Nachrüstung bedarfsgerechte Regelung Heizkreis

			Definition der Klassen							
			Wohngebäude				Nicht-Wohngebäude			
			D	C	B	A	D	C	B	A
Automatische Regelung										
1.2	Regelung der Übergabe für TABS (Heizbetrieb)									
	0	Keine automatische Regelung	x				x			
	1	Zentrale automatische Regelung	x	x			x	x		
	2	Erweiterte zentrale automatische Regelung	x	x	x		x	x	x	
	3	Erweiterte zentrale automatische Regelung mit intermittierendem Betrieb und/oder Raumtemperatur-Rückführregelung	x	x	x	x	x	x	x	x

Abbildung 22: GA Effizienzklasse DIN EN 15232 Heizkreis Soll

Quelle: Selbstlernunterlage Lehrgangsmo­dul 12 – Seite 78 mit eigener Änderung

3.4.2 Nutzwertmatrix

Bei der Nutzwertmatrix werden drei Lösungsvorschläge miteinander verglichen. Durch die erreichte Punktzahl kann dann eine Empfehlung für eine Entscheidung mit dem Auftraggeber besprochen werden. Die Kriterien sind mit einer Gewichtung versehen. Diese gliedert sich in einer Skala von 1 (nicht wichtig) bis 9 (sehr wichtig) und sind:

- **Investitionskosten:** Für die Planung und die Entscheidung der Umbaumaßnahme ist dieses Kriterium hoch bewertet
Gewichtung: 9
- **Ausführungszeit:** Für die Nachrüstung der Einzelraumregelung ist der Zeitaufwand entscheidend, da die Maßnahme kurzfristig und ohne große Behinderung des Schulbetriebes umgesetzt werden soll.
Gewichtung: 9
- **Betriebskosten:** Die Betriebskosten dieser Maßnahme werden nicht sehr hoch angesetzt, daher auch kein entscheidendes Kriterium.
Gewichtung: 4
- **Amortisationszeit:** Wie auch die Investitionskosten spielt auch die Amortisationszeit eine große Rolle und ist daher auch hoch bewertet.
Gewichtung: 7
- **Energieeinsparung:** Die Energiekosten sind ein absolut wichtiger Faktor. Da diese immer weiter ansteigen werden, ist dieser Punkt hoch bewertet. Das Einsparpotential ist enorm hoch.
Gewichtung: 9
- **Vereinfachung der Bedienung:** Eine zentrale und einfache Bedienung ist ein wichtiger Baustein für die Identifizierung des Bedienpersonals mit diesem System. Am besten ist es, wenn das System vollautomatisch läuft.
Gewichtung: 8
- **Verbrauchsdatenerfassung:** Für die Nachvollziehbarkeit und die Optimierung der Anlage sind Verbrauchsdaten ein weiterer Baustein. Dieser wird im mittleren Bereich angesetzt.
Gewichtung: 5

- **Verknüpfung mit Schulkalender:** Um das System weitgehend zu optimieren sollte auch eine Verbindung mit den Schulkalendern Untis möglich sein. Somit könnte die Eingabe der Zeiten für die Raumbellegung optimiert werden. Die Priorität ist dem mittleren Bereich eingeordnet.

Gewichtung: 5

- **Herstellerunabhängigkeit:** Um bei der Nachrüstbarkeit offen zu bleiben, sollte das System eine offene Kommunikation (KNX, BACnet, LoRaWAN) haben. Der offene Gedanke in Richtung ausführende Firma sollte hier Ansatz finden.

Gewichtung:5

- **Erweiterbarkeit:** Die Eigenschaft das System leicht erweitern zu können, ist ein Kriterium mittlerer Bewertung.

Gewichtung:6

- **Offene Kommunikation:** Eine Fähigkeit, das System mit anderen Systemwelten zu kommunizieren, ist ein wichtiger Punkt. Die Übergabe von Parametern an das zentrale Heizsystem ist ein wichtiger Baustein für die Energieeinsparung, daher auch eine hohe Gewichtung.

Gewichtung: 8

Anforderung (Kriterium)	Gewichtung (Faktor 1-9)	Erfüllungsgrad (0-9)					
		Variante 1	G x A	Variante 2	G x A	Variante 3	G x A
Investitionskosten	9	9	81	9	81	9	81
Ausführungszeit	9	4	36	5	45	9	81
Betriebskosten	4	2	8	2	8	7	28
Amortisationszeit	7	7	49	7	49	7	49
Energieeinsparung	9	9	81	7	63	9	81
Vereinfachung der Bedienung	8	7	56	5	40	8	64
Verbrauchsdatenerfassung	5	7	35	5	25	9	45
Verknüpfung mit Schulkalender	5	7	35	3	15	7	35
Herstellerunabhängigkeit	5	4	20	9	45	9	45
Erweiterbarkeit	6	5	30	5	30	9	54
Offene Kommunikation	8	5	40	6	48	8	64
Ergebnis			471		449		627

Tabelle 2: Nutzwertmatrix
Quelle: Eigene Darstellung

3.4.3 Wirtschaftliche Gegenüberstellung – Investition

	Lösungsvorschlag 1 <i>Raumautomation GA-Hersteller</i>	Lösungsvorschlag 2 <i>Raumautomation über KNX-System</i>	Lösungsvorschlag 3 <i>Raumautomation LoRa Funk</i>
Raumautomation	45.695,00 €	41.706,00 €	34.121,00 €
Hardware	31.680,00 €	28.356,00 €	32.621,00 €
Elektroinstallation	14.015,00 €	13.350,00 €	1.500,00 €
<i>Alternativ: Mehrpreis Fenster- kontakte</i>	25.000,00 €	25.000,00 €	32.750,00 €
Nachrüstung Heizzentrale	5.500,00 €	5.500,00 €	5.500,00 €
Hardware	500,00 €	500,00 €	500,00 €
Nachrüstung Schaltschrank	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €
Software	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €
Inbetriebnahme	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €
Dienstleistungen	34.900,00 €	42.500,00 €	11.520,00 €
Software	7.800,00 €	15.400,00 €	4.900,00 €
Inbetriebnahme	25.600,00 €	25.600,00 €	5.120,00 €
Einweisung	1.500,00 €	1.500,00 €	1.500,00 €
Gesamtsumme	86.095,00 €	89.706,00 €	51.141,00 €

Tabelle 3: Berechnung Investitionskosten

Quelle: Eigene Darstellung

3.4.4 Gewinnvergleichsrechnung

	Lösungsvorschlag 1 <i>Raumautomation GA Hersteller</i>	Lösungsvorschlag 2 <i>Raumautomation über KNX-System</i>	Lösungsvorschlag 3 <i>Raumautomation LoRa Funk</i>
Investition	86.095,00 €	89.706,00 €	86.095,00 €
Kapitaleinsatz	86.095,00 €	89.706,00 €	51.141,00 €
Nutzungsdauer	15 Jahre	15 Jahre	15 Jahre
Zinssatz	3,00%	3,00%	3,00%
Fixkosten ¹	7.031,09 €	7.325,99 €	4.176,52 €
Abschreibung	5.739,67 €	5.980,40 €	3.409,40 €
Zinsen	1.291,42 €	1.345,59 €	767,12 €
Energiekosten/Jahr ²	22.559,20 €	22.559,20 €	22.559,20 €
Energiekosten ohne Raumauto- mation	28.199,00 €	28.199,00 €	28.199,00 €
Einsparung Energie 20% ³	-5.639,80 €	-5.639,80 €	-5.639,80 €
Gesamtsumme Kosten (aus ¹ und ²)	29.590,29 €	29.885,19 €	26.735,72 €
Gesamtsumme Erlöse (aus ³)	5.639,80 €	5.639,80 €	5.639,80 €

Tabelle 4: Gewinnvergleichsrechnung

Quelle: Eigene Darstellung

3.4.5 Lebenszykluskosten

	Lösungsvorschlag 1 <i>Raumautomation GA Hersteller</i>	Lösungsvorschlag 2 <i>Raumautomation über KNX-System</i>	Lösungsvorschlag 3 <i>Raumautomation LoRa Funk</i>
Investition	86.095,00 €	89.706,00 €	51.141,00 €
Kapitaleinsatz	86.095,00 €	89.706,00 €	51.141,00 €
Nutzungsdauer	15 Jahre	15 Jahre	15 Jahre
Zinssatz	3,00%	3,00%	3,00%
Fixkosten ¹	25.111,04 €	26.164,25 €	14.916,13 €
Abschreibung	5.739,67 €	5.980,40 €	3.409,40 €
Zinsen	19.371,38 €	20.183,85 €	11.506,73 €
Anlagenbetreuung ²	-6.300,00 €	-6.300,00 €	-6.300,00 €
Anlagenbetreuung 1,0/Tag Winterbetrieb	-6.300,00 €	-6.300,00 €	-6.300,00 €
Energiekosten/Jahr ³	338.388,00 €	338.388,00 €	338.388,00 €
Energiekosten ohne Raumauto- mation ⁴	422.985,00 €	422.985,00 €	422.985,00 €
Einsparung Energie 20%	-84.597,00 €	-84.597,00 €	-84.597,00 €
Gesamtsumme Kosten ohne RA (aus ⁴)	422.985,00 €	422.985,00 €	422.985,00 €
Gesamtsumme Kosten mit RA (aus ^{1,2} und ³)	357.199,04 €	358.252,25 €	347.004,13 €
Ersparnis durch RA	65.785,96 €	64.732,75 €	75.980,88 €

Tabelle 5: Lebenszykluskosten

Quelle: Eigene Darstellung

3.4.6 Rentabilitätsrechnung

	Lösungsvorschlag 1 <i>Raumautomation GA-Hersteller</i>	Lösungsvorschlag 2 <i>Raumautomation über KNX-System</i>	Lösungsvorschlag 3 <i>Raumautomation LoRa Funk</i>
Rentabilitätsberechnung			
Ersparnis	11.939,80 €	11.939,80 €	11.939,80 €
Kapitaleinsatz	86.095,00 €	89.706,00 €	51.141,00 €
Ergebnis	13,87%	13,31%	23,35%

Tabelle 6: Rentabilitätsrechnung

Quelle: Eigene Darstellung

3.4.7 Amortisationsberechnung

	Lösungsvorschlag 1 <i>Raumautomation GA-Hersteller</i>	Lösungsvorschlag 2 <i>Raumautomation über KNX-System</i>	Lösungsvorschlag 3 <i>Raumautomation LoRa Funk</i>
Rentabilitätsberechnung			
Kapitaleinsatz	86.095,00 €	89.706,00 €	51.141,00 €
Ersparnis	11.939,80 €	11.939,80 €	11.939,80 €
Ergebnis	7,21 Jahre	7,51 Jahre	4,28 Jahre

Tabelle 7: Amortisationsberechnung

Quelle: Eigene Darstellung

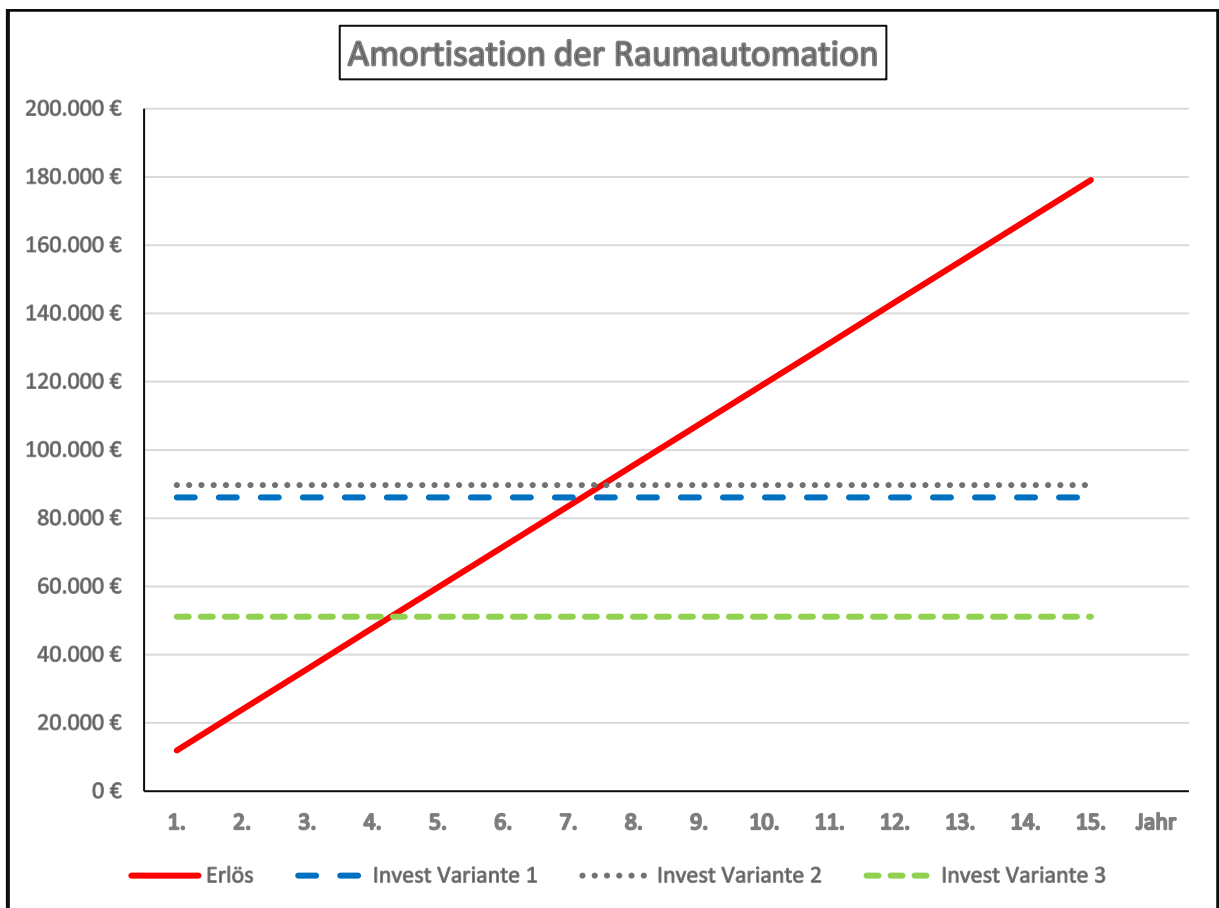


Diagramm 1: Darstellung Amortisation im Diagramm

Quelle: Eigene Darstellung

Amortisationsrechnung bei einer Energiepreissteigerung von 10 Prozent. Bei dieser Beispielrechnung verkürzt sich die Amortisationszeit auf 4,09 Jahre.

<u>Beispielrechnung</u> Energiepreissteigerung um 10 Prozent	Lösungsvorschlag 1	Lösungsvorschlag 2	Lösungsvorschlag 3
	<i>Raumautomation GA-Hersteller</i>	<i>Raumautomation über KNX-System</i>	<i>Raumautomation LoRa Funk</i>
Rentabilitätsberechnung			
Kapitaleinsatz	86.095,00 €	89.706,00 €	51.141,00 €
Ersparnis	12.503,78 €	12.503,78 €	12.503,78 €
Ergebnis	6,89 Jahre	7,17 Jahre	4,09 Jahre

Tabelle 8: Amortisationsberechnung bei einer Energiepreissteigerung
Quelle: Eigene Darstellung

4 Fazit

Durch die im Vorfeld ausgeführten Erläuterungen und die steigenden Energiepreise im Jahr 2023, kann der Stadt Germersheim nur die Empfehlung gegeben werden, die Raumautomation einbauen zu lassen. Es wurden drei Varianten mit verschiedenen Techniken kalkuliert und bewertet. Es wurde für jede der drei Varianten die Rentabilitäts-, die Amortisations- und die Gewinnvergleichsrechnung erstellt.

Die Nutzwertmatrix zeigt eine klare Richtung der Variante 3 - LoRa Funktechnik. Bei den steigenden Energiepreisen wird sich diese Zeit noch verkürzen, was in der Beispielrechnung in Tab. 8, Seite 36 ersichtlich ist. Durch die kurze Einbauzeit vor Ort, kann das LoRaWAN-System kurzfristig und ohne Behinderung des Schulbetriebes installiert werden.

Die Amortisationszeit liegt bei 4,28 Jahren. Steigen die Energiekosten weiter an, verkürzt sich die Amortisationszeit bei 10 Prozent Steigerung auf 4,09 Jahre. Da die Energierechnung für das Jahr 2022 noch nicht vorlag, ist mit nur 10 Prozent gerechnet.

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Eduard-Orth-Schule.....	4
Abbildung 2: Gedenktafel in der Schule	5
Abbildung 3: Organigramm Stadtverwaltung Germersheim	6
Abbildung 4: Gebäude der Stadtverwaltung Germersheim	7
Abbildung 5: Installierte Heizkörperthermostate	8
Abbildung 6: Heizzentrale Hauptgebäude	10
Abbildung 7: Heizverteiler in Heizzentrale Hauptgebäude	11
Abbildung 8: Schaltschrank Regelungstechnik Heizzentrale Hauptgebäude	12
Abbildung 9: Technikzentrale Anbau – Heizverteiler	13
Abbildung 10: Technikzentrale Anbau – Warmwasserbereitung	13
Abbildung 11: Lüftungsgeräte Dachbereich Anbau	14
Abbildung 12: Klassenraum mit Installationskanälen	16
Abbildung 13: Klassenraum mit Installationskanälen	16
Abbildung 14: Dynamisches Diagramm der Sollwertoptimierung MSR-Controller	19
Abbildung 15: Klassenzimmer mit Automatisierung Variante 1	20
Abbildung 16: Klassenzimmer mit Automatisierung Variante 2	22
Abbildung 17: Klassenzimmer mit Automatisierung Variante 3	24
Abbildung 18: Effizienzklasse Gebäudeautomation	26
Abbildung 19: GA Effizienzklasse DIN EN 15232 Raumautomation Ist.....	26
Abbildung 20: GA Effizienzklasse DIN EN 15232 Raumautomation Soll	27
Abbildung 21: GA Effizienzklasse DIN EN 15232 Heizkreis Ist	27
Abbildung 22: GA Effizienzklasse DIN EN 15232 Heizkreis Soll	28

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energieverbrauch 2018 – 2021	9
Tabelle 2: Nutzwertmatrix.....	30
Tabelle 3: Berechnung Investitionskosten	31
Tabelle 4: Gewinnvergleichsrechnung	32
Tabelle 5: Lebenszykluskosten	33
Tabelle 6: Rentabilitätsrechnung	34
Tabelle 7: Amortisationsberechnung	35
Tabelle 8: Amortisationsberechnung bei einer Energiepreissteigerung.....	36

IV. Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Darstellung Amortisation im Diagramm.....	35
---	----

V. Abkürzungsverzeichnis

°C	- Grad Celsius
Abb.	Abbildung
Abs.	- Absatz
AG	- Aktiengesellschaft
BatiBus	- Feldbus der Gebäudeautomation, der nach dem Jahre 2000 nicht mehr vermarktet wurde.
CAD Pläne	- computer-aided design – rechnerunterstütztes Konstruieren
DDC	- Direct-Digital-Control-Gebäudeautomation – Frei programmierbare Steuerung
EHS	- European Home Systems, ein Standard in der Gebäudeautomatisierung, abgelöst durch den KNX-Standard
EN (→CEN)	- Europäische Norm (→Comité Européen de Normalisation)
GA	- Gebäudeautomation
K	Kelvin - Temperaturdifferenz
KNX	- Konnex – Europäischer Installationsbus
KW	- Kilowatt
KWh	- Kilowattstunden
LoRaWAN	- Long Range Wide Area Network - Funknetzwerk

MSR	- Mess- Steuer und Regelungstechnik
MWh	- Megawattstunden
RA	- Raumautomation
S.	- Seite
Tab.	- Tabelle
TGA	- Technische Gebäudeausrüstung
Untis	- Stundenplanprogramm für Schulen
vgl.	- vergleiche

VI. Quellenverzeichnis

badenova vertreten durch badenova AG & Co. KG (22.01.2023) badenova: Ihr Energieversorger für Ökostrom und Biogas Von <https://www.badenova.de/blog/lorawan-einfach-erklaert/> abgerufen.

DEOS AG vertreten durch Dipl.-Kfm. Thomas Patzelt (22.01.2023). DEOS AG - Startseite (deos-ag.com) Von <https://www.deos-ag.com/de/unternehmen/ueberuns/> abgerufen.

WIKIPEDIA vertreten durch Wikimedia Foundation Inc. (22.01.2023). <https://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Hauptseite> Von <https://de.wikipedia.org/wiki/KNX-Standard> abgerufen.

VII. Eidesstattliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.“

Bellheim, den 27.01.2023

Klaus Keck