

# Schwerpunktprojekt

## Sanierung Rathaus Forchheim

Erarbeitet im Rahmen des integrierten Energienutzungsplans  
für die Stadt Forchheim

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Die Bewertung der Gebäudehülle im Ist-Zustand mit Darstellung möglicher Sanierungsoptionen .....</b>	<b>6</b>
2.1	Allgemeine Begriffsdefinitionen .....	7
2.2	Maßnahmen zur energetischen Verbesserung der Gebäudehülle .....	9
<b>3</b>	<b>Die Ermittlung der energetischen und finanziellen Einsparpotentiale des Rathauses Forchheim.....</b>	<b>10</b>
3.1	Allgemeine Angaben zum Gebäude .....	11
3.1.1	Die wärmewirksame Hüllfläche des Gebäudes .....	12
3.2	Beschreibung der Sanierungsmaßnahmen .....	15
3.2.1	Energieeinsparpotentiale durch Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle 17	
3.2.2	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit .....	19
3.2.3	Auswirkung der Sanierungsmaßnahmen auf die CO <sub>2</sub> - Emissionen .....	22
<b>4</b>	<b>Schwachpunktanalyse und Energieeinsparpotentiale.....</b>	<b>23</b>
4.1	Gebäudeautomation.....	23
4.1.1	Effizienzsteigerung im Bereich der Heizenergie .....	25
4.1.2	Effizienzsteigerung im Bereich Beleuchtung .....	27
4.1.3	Effizienzsteigerung durch sonstige Maßnahmen .....	28
4.1.4	Kabelgebundenes Gebäudenetzwerk mit dezentraler Heizungssteuerung.....	29
4.1.5	Funkbasiertes Gebäudenetzwerk mit zentraler Heizungssteuerung .....	29
4.2	Heizungs- und Warmwasserverteilung.....	30
4.2.1	Nicht-investive Maßnahmen.....	30
4.2.2	Hydraulischer Abgleich .....	31

4.2.3	Heizungsumwälzpumpen .....	32
4.3	Datendokumentation und Ausbau der Zählerinfrastruktur .....	33
4.4	Beleuchtung .....	34
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>43</b>

# 1 Einleitung

Mit dem Bau des Rathauses Forchheim wurde um 1400 begonnen. Über die Jahrhunderte wurde das Gebäude erweitert und umgebaut. Das Gebäude steht unter Denkmalschutz. Abbildung 1 zeigt eine von einer Projektgruppe des Studiengangs „Heritage Conservation“ der Universität Bamberg im Jahr 2012 unter der Leitung von Prof. Dr. Vinken und Dr. Blocker erstellte Grundrisszeichnung des Rathauses, aufgeteilt in die verschiedenen Bauabschnitte. Die Zeichnung wurde vom Bauamt der Stadt Forchheim zur Verfügung gestellt.



Abbildung 1: Der Grundriss (EG) des Rathauses Forchheim [Quelle: Universität Bamberg]



## 2 Die Bewertung der Gebäudehülle im Ist-Zustand mit Darstellung möglicher Sanierungsoptionen

Im Folgenden werden mögliche Sanierungsoptionen an der Gebäudehülle des jeweiligen Gebäudes der Liegenschaft im Detail untersucht.

Die Bewertung der Hüllfläche erfolgt für die einzelnen Gebäude nach einer Vor-Ort-Besichtigung und anhand der Einordnung des Gebäudes aufgrund des Baualters, sowie der Bauweise. Sind detaillierte Pläne oder Baubeschreibungen vorhanden, werden die Bauteile entsprechend aufgenommen und die U-Werte berechnet. Soweit keine Detailpläne vorliegen werden Wandaufbauten angenommen die dem typischen Baualter entsprechen. Zugrunde gelegt wird hierfür die „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vom 30. Juli 2009“. Im Rahmen einer Umsetzungsplanung sind im Einzelfall die Wand-, Deckenaufbauten etc. zu prüfen. Dies erfolgt durch Probebohrungen, Öffnen von Wänden und Decken. So können detaillierte Sanierungsvorschläge erarbeitet werden. Dieses detaillierte Vorgehen kann jedoch im Rahmen der Studie nicht erfolgen, d. h. es wurden keine Wandaufbauten geöffnet und keine Probebohrung etc. vorgenommen.

Die folgende Einordnung der Möglichkeit zur Reduktion der Wärmeverluste durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen an den Gebäudehüllflächen basiert auf der Verbesserung des U-Wertes der einzelnen Bauteile. Es erfolgt eine Bewertung der Gebäude in Anlehnung an die EnEV 2014 und an die DIN 4108–6/4701-10 für Wohngebäude. Für Nichtwohngebäude, wie in diesem Fall ein Verwaltungsgebäude, gilt die DIN 18599. Das ermittelte Einsparpotential der betrachteten Sanierungsmaßnahmen wird auf den realen Endenergieverbrauch bezogen.

Die spezifischen Investitionskosten sind Vollkosten. D. h. die energiebedingten Mehrkosten für beispielsweise eine zusätzliche Fassadendämmung bei einer sowieso durchgeführten Sanierungsmaßnahme würden entsprechend geringer ausfallen. Ausnahme: Gerüstkosten sind in dieser Aufstellung nicht enthalten, da diese nicht konkret einer einzelnen Maßnahme zugeordnet werden können.

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Anbringung und Montage der Wärmedämmung bzw. erforderlichen Nacharbeiten (Versatz der Dachrinnen, Anpassung Dachüberstände, etc.) nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Investitionskosten von den realen Kosten abweichen können. Je nach Ausführungsstandards können bei einzelnen Positionen deutliche Preisunterschiede auftreten. Vor allem die Kosten

für Wand- und Bodenbekleidungen können je nach Ausführung deutlich nach oben oder unten abweichen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier kalkulierten abweichen.

## 2.1 Allgemeine Begriffsdefinitionen

### U-Wert

Sämtliche Hüllflächen werden in der folgenden bauphysikalischen Begutachtung auf so genannte U-Werte bezogen. Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) ist das Maß für den Wärmestromdurchgang durch eine ein- oder mehrlagige Materialschicht. Ein U-Wert einer Wand von beispielsweise  $2 \text{ W/m}^2\text{K}$  sagt aus, dass bei einem Kelvin Temperaturunterschied von Innen nach Außen, 2 Watt Wärmeleistung pro Quadratmeter durch die Wand verloren gehen. Im Folgenden werden die Bauteile und Wandaufbauten nach den jeweiligen Gebäudeteilen geordnet dargestellt und bewertet.

### Endenergie

Der Endenergiebedarf gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Warmwasser, eingebaute Beleuchtung, Lüftung und Kühlung an. Er wird unter Standardklima- und Standardnutzungsbedingungen errechnet und ist das Maß für die Energieeffizienz eines Gebäudes und seiner Anlagentechnik. Der Endenergiebedarf ist die Energiemenge, die dem Gebäude bei standardisierten Bedingungen unter Berücksichtigung der Energieverluste zugeführt werden muss, damit die standardisierte Innentemperatur, der Warmwasserbedarf, die notwendige Lüftung und eingebaute Beleuchtung sichergestellt werden können.

### Nutzenergie

Die Nutzenergie ist diejenige Energie, die dem Endnutzer für die gewünschte Energiedienstleistung zur Verfügung steht. Die Nutzenergie entspricht der Endenergie unter Abzug sämtlicher Verluste (Leitungsverluste, Anlagenverluste, etc.).

**Referenzklima:**

Klimareferenzort:	Deutschland
Norm-Außentemperatur $\vartheta_e$ :	-12 °C
Mittlere Außentemperatur $\vartheta_{e,mittel}$ :	8,9 °C
Außentemperatur Juli $\vartheta_{Jul}$ :	24,6 °C
Außentemperatur September $\vartheta_{Sep}$ :	18,9 °C

**Verbrauchsangaben:**

Der Berechnung dieses Berichts wurden das EnEV-Standardnutzerverhalten und die Standardklimabedingungen zugrunde gelegt. Daher können aus den Ergebnissen keine Rückschlüsse auf die absolute Höhe des Brennstoffverbrauchs gezogen werden. Die Ergebnisse der Betrachtung nach EnEV werden an die realen Verbrauchszahlen angepasst.

**Software:**

Zur Berechnung wird die Hottgenroth Energieberater 18599 Software verwendet.

## 2.2 Maßnahmen zur energetischen Verbesserung der Gebäudehülle

Bei der Sanierung von Gebäuden, insbesondere bei der Wärmedämmung, sind entsprechende Regeln zu beachten und Grenzwerte einzuhalten. Diese sind in der EnEV 2014 geregelt. Im Anhang 3 der EnEV sind die Anforderungen, die bei einer nachträglichen Änderung von Außenbauteilen gestellt werden enthalten.

Beim Forchheimer Rathaus handelt es sich allerdings um ein denkmalgeschütztes Gebäude. Eine Außendämmung der Fassade oder der Einbau von Fenstern mit Kunststoffrahmen ist hier nicht möglich. Oberste Priorität hat hier der Erhalt der Bausubstanz. Die im Folgenden angegebenen Maßnahmen wurden mit dem zuständigen Architekten der Stadt Forchheim abgestimmt. Es wurde dabei auch auf gute Durchführbarkeit und den Erhalt der Bausubstanz geachtet. Das Rathaus wird derzeit von Experten der Universität Bamberg vermessen und begutachtet. Eventuelle Sanierungsmaßnahmen sollten nur in enger Abstimmung mit den Bearbeitern seitens der Universität Bamberg geplant werden.

Die KfW schreibt in ihren Programmen 218 und 219 „Energetische Stadtsanierung - Energieeffizient Sanieren“ zur Gewährung von Krediten und Investitionskostenzuschüssen technische Mindestanforderungen für denkmalgeschützte Gebäude vor. Für folgende Maßnahmen an denkmalgeschützten Gebäuden gibt es gesonderte technische Mindestanforderungen an den U-Wert:

- Innendämmung an Denkmälern und sonstiger erhaltenswerter Bausubstanz  
→ 0,45 W/m<sup>2</sup>K
- Denkmalschutzbedingte Innendämmung bei Fachwerkwänden → 0,80 W/m<sup>2</sup>K
- Austausch von Fenstern an Denkmälern oder erhaltenswerter Bausubstanz  
→ 1,40 W/m<sup>2</sup>K
- Ertüchtigung von Fenstern an Denkmälern oder erhaltenswerter Bausubstanz  
→ 1,60 W/m<sup>2</sup>K

Die Konditionen sind über [www.kfw.de](http://www.kfw.de) abrufbar.

### 3 Die Ermittlung der energetischen und finanziellen Einsparpotentiale des Rathauses Forchheim

In der folgenden Betrachtung werden der energetische Ist-Zustand des Rathauses Forchheim dargestellt und die Energieeinsparpotentiale ermittelt. Abbildung 3 zeigt die Nordseite des Nordflügels und des Magistratsbaus.



Abbildung 3: Die Nordseite des Rathauses Forchheim

Die beheizten Flächen des Rathauses Forchheim (gesamt ca. 1.130 m<sup>2</sup>) wurden nach DIN 18599 in folgende Nutzungszonen aufgeteilt:

	$A_{NGF}$
Einzelbüro	243 m <sup>2</sup>
WC, Sanitärraum	59 m <sup>2</sup>
Besprechung, Sitzung, Seminar	442 m <sup>2</sup>
Verkehrsflächen	315 m <sup>2</sup>
Lager, Technik, Archiv	53 m <sup>2</sup>
Sonstige Aufenthaltsräume	18 m <sup>2</sup>

### 3.1 Allgemeine Angaben zum Gebäude

Der Nord- und Ostflügel wurde um 1400 errichtet. In den folgenden Jahrhunderten wurde das Gebäude durch Registratur, Magistratsbau und Zwischenbau erweitert. Das Gebäude ist nur teilweise unterkellert. Die Kellerräume sind nicht beheizt. Somit bildet der Fußboden des Erdgeschosses den Großteil des unteren Abschlusses der thermischen Gebäudehülle, bei den unbeheizten Kellerräumen unter dem Magistratsbau und dem Nordflügel ist es die Kellerdecke. Den oberen Abschluss der wärmeübertragenden Hüllfläche bildet die oberste Geschossdecke.

#### Gebäudegeometrie

Beheizte Nettogrundfläche $A_{NGF}$ :	1.130 m <sup>2</sup>
Beheiztes Luftvolumen ( $0,8 \cdot V_e$ ):	ca. 3.208 m <sup>3</sup>
Beheiztes Gebäudevolumen $V_e$ :	ca. 4.010 m <sup>3</sup>
Wärmeübertragende Hüllfläche:	2.575 m <sup>2</sup>
$A/V_e$ –Verhältnis (Hüllfläche zu Volumen):	0,64 1/m
Spezifischer Heizenergieverbrauch:	233 kWh/m <sup>2</sup> a

#### Angenommene Parameter:

Luftdichtheit:	Kategorie III – Gebäudebestand
Lage im Wind:	halbfreie Lage
Wärmebrücken:	pauschal - 0,10 W/m <sup>2</sup> K
Wärmespeicherung:	pauschal – schwer

### 3.1.1 Die wärmewirksame Hüllfläche des Gebäudes

Tabelle 1 zeigt die Bauteile der wärmewirksamen Gebäudehülle mit ihren Flächen und zugehörigen U-Werten.

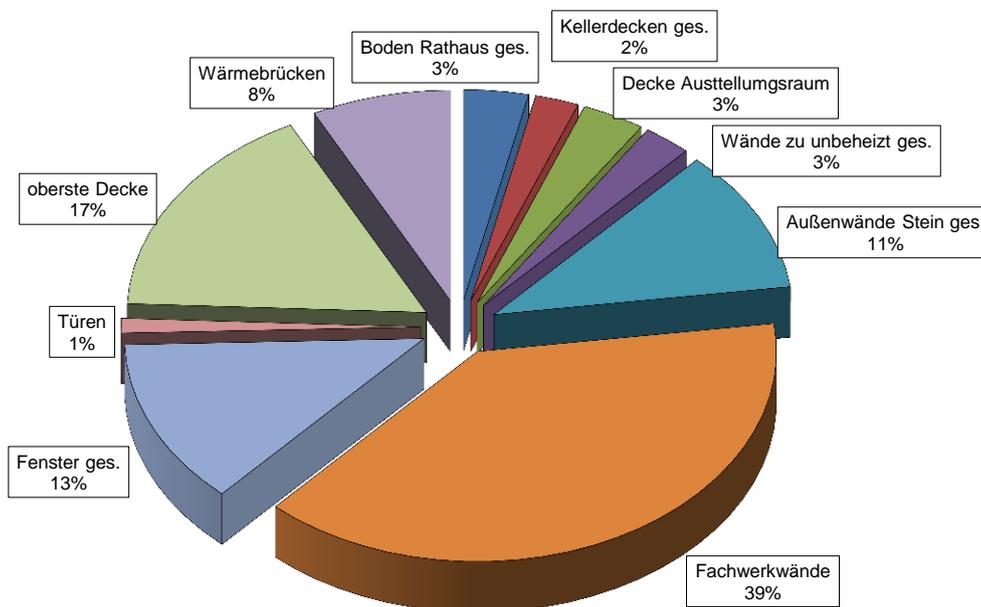
**Tabelle 1: Die Hüllflächentabelle für das Rathaus Forchheim**

<b>Gebäudegeometrie</b>			
<b>Objekt:</b>			
<b>Gebäudehüllfläche</b>		$\Sigma A_i = 2574,79 \text{ m}^2$	
<b>Ausrichtung und Bauteil</b>		<b>Fläche <math>A_i</math></b>	<b><math>U_i</math>-Wert</b>
		<b>m<sup>2</sup></b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)</b>			
90	OGD Magistratsbau (inkl. Anbau Teeküche)	120,00	1,061
91	OGD Nordflügel	422,00	1,061
92	OGD Zwischenbau	53,00	1,061
93	OGD Registratur	78,00	1,061
<b>Zwischensumme =</b>		<b>673,00</b>	
<b>Wand gegen Außenluft</b>			
14	N EG Magistratsbau	18,35	1,540
18	W EG Magistratsbau	19,81	1,540
20	S EG Magistratsbau	26,77	1,540
23	N 1.OG - 2.OG Magistratsbau	61,29	2,000
25	W 1.OG - 2.OG Magistratsbau	38,75	2,000
27	S 1.OG - 2.OG Magistratsbau	63,00	2,000
29	N EG - 1.OG "Nordflügel"	41,17	1,208
43	S EG - 1.OG Südseite Nordflügel (zu Registratur)	48,15	1,208
46	W 1.OG Westseite Nordflügel	6,80	1,208
48	N 2.OG Nordflügel	69,03	2,000
50	O 2.OG Ostseite Nordflügel	88,61	2,000
52	S 2.OG Südseite Nordflügel (Bühne Rathausaal)	55,09	2,000
54	S 2.OG Südseite Nordflügel (Treppenhaus)	33,68	2,000
56	W 2.OG Westseite Nordflügel	14,11	2,000
58	N EG Zwischenbau	9,56	2,597
61	S EG Zwischenbau	16,06	1,689
63	N 1.OG - 2.OG Zwischenbau	24,54	2,000
65	S 1.OG - 2.OG Zwischenbau	28,87	2,000
68	W 2.OG Zwischenbau	12,30	2,000
71	N EG Registratur	23,97	1,112
73	W EG Registratur	29,52	1,112
76	S EG Registratur	27,54	1,112
78	N 1.OG - 2.OG Registratur	44,05	2,000
82	S 1.OG - 2.OG Registratur	56,32	2,000
85	W 1.OG - 2.OG Registratur	50,36	2,000
88	S 1.OG - 2.OG Magistratsbau zu Nordflügel (bei Teeküche)	10,26	2,000
89	W 1.OG - 2.OG Magistratsbau zu Nordflügel (bei Teeküche)	9,72	2,000
<b>Zwischensumme =</b>		<b>927,67</b>	
<b>Wand gegen Außenluft</b>			
36	O EG - 1.OG Ostseite Nordflügel	97,36	1,208
39	S EG - 1.OG Südseite Nordflügel (inkl. zugesetztem Tor)	67,01	1,208
41	W EG - 1.OG Westseite "Nordflügel"	12,94	1,208
<b>Zwischensumme =</b>		<b>177,30</b>	
<b>Wand gegen Keller/unbeheizten Raum</b>			
9	O Wand zu unbeheiztem Ausstellungsraum (Zwischenbau)	40,70	1,700
10	O Wand zu unbeheiztem Ausstellungsraum (Pforte)	38,05	1,400
12	O Wand zu unbeheiztem Ausstellungsraum	39,15	1,400
47	W EG Westseite Nordflügel (zu unbeheiztem Anbau mit WC's)	14,57	1,089
<b>Zwischensumme =</b>		<b>132,47</b>	

<b>Gebäudegeometrie</b>				
<b>Objekt:</b>				
<b>Ausrichtung und Bauteil</b>			<b>Fläche A<sub>i</sub></b>	<b>U<sub>f</sub>-Wert</b>
			<b>m<sup>2</sup></b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fenster (nach außen)</b>				
16	N	Fenster EG Magistratsbau	11,40	2,700
19	W	EG Magistratsbau	1,25	2,700
21	S	EG Magistratsbau	5,35	2,700
22	S	EG Magistratsbau	1,90	2,700
24	N	1.OG - 2.OG Magistratsbau	18,90	2,700
26	W	1.OG - 2.OG Magistratsbau	3,38	2,700
28	S	1.OG - 2.OG Magistratsbau	11,25	2,700
30	N	Nordflügel (Büro/Pforte)	6,30	2,700
31	N	Nordflügel (zu Magistratsbau)	2,00	2,700
32	N	Nordflügel (2 kleine Fenster im 1.OG)	1,39	2,700
44	S	Nordflügel (zu Registratur)	2,30	2,700
49	N	2.OG Nordflügel (Rathaussaal hinter Trennwand)	14,63	2,700
51	O	2.OG Nordflügel (Rathaussaal)	20,90	2,700
53	S	2.OG Nordflügel (Bühne Rathaussaal)	8,36	2,700
55	S	2.OG Nordflügel (Treppenhaus)	6,27	2,700
57	W	2.OG Nordflügel (Treppenhaus)	1,87	2,700
59	N	EG Zwischenbau	0,80	2,700
62	S	EG Zwischenbau	0,74	2,700
64	N	1.OG - 2.OG Zwischenbau	3,30	2,700
66	S	1.OG Zwischenbau	2,75	2,700
67	S	2.OG Zwischenbau	3,18	2,700
69	W	2.OG Zwischenbau	1,20	2,700
72	N	Rundbogenfenster	1,60	2,700
74	W	EG Registratur	0,84	2,700
75	W	EG Registratur	1,32	2,700
77	S	EG Registratur	2,16	2,700
79	N	1.OG Registratur	2,66	2,700
80	N	2.OG Registratur	1,26	2,700
81	N	2.OG Registratur	2,52	2,700
83	S	1.OG Registratur (hinter Schrankwand Sitzungssaal)	1,80	2,700
84	S	2.OG Registratur	0,95	2,700
86	W	1.OG Registratur	5,80	2,700
87	W	2.OG Registratur	5,88	2,700
<b>Zwischensumme =</b>			<b>156,21</b>	
<b>Tür (nach außen)</b>				
11	O	Tür zu Ausstellungsraum	2,10	2,233
13	O	Türe zu Ausstellungsraum	2,10	2,233
15	N	Holztüre Magistratsbau	2,75	2,233
33	N	Eingang Rathaus (Stadtverwaltung)	7,10	2,233
45	S	Eingang/Ausgang Nordflügel (zu Registratur)	4,20	2,233
60	N	EG Zwischenbau	3,08	2,233
<b>Zwischensumme =</b>			<b>21,33</b>	
<b>Boden gegen Keller/unbeheizten Raum</b>				
2		Gewölbekeller (16. Jh.)	37,90	1,200
3		Kellerdecke bei Heizraum (1959/60)	39,90	1,000
4		Decke Heizraum (1959/60)	27,30	1,000
5		Decke Ausstellungshalle	90,00	0,856
6		Decke Ausstellungshalle (abgehängt)	130,00	0,668
8		Boden Teeküche	1,60	1,000
<b>Zwischensumme =</b>			<b>326,70</b>	
<b>Boden gegen Erdreich</b>				
1		Rathaus gesamt (14. - 19. Jh.)	276,80	1,200
7		BodenRegistratur	46,50	1,200
<b>Zwischensumme =</b>			<b>323,30</b>	
<b>Boden gegen Außenluft</b>				
70		2. OG Zwischenbau (Verbindungsgang Treppenhäuser)	6,10	1,200
<b>Zwischensumme =</b>			<b>6,10</b>	

Gebäudegeometrie		
Objekt:		
Ausrichtung und Bauteil	Fläche $A_i$ m <sup>2</sup>	$U_i$ -Wert W/m <sup>2</sup> K
<b>Heizkörpernische</b>		
17 N Heizkörpernische (EG Mag.)	8,00	4,200
<b>Zwischensumme =</b>	<b>8,00</b>	

Abbildung 4 zeigt die Aufteilung der Wärmeverluste über die Gebäudehülle auf die einzelnen Hüllflächenelemente.



**Abbildung 4: Die Aufteilung der Transmissionswärmeverluste**

Wie in Abbildung 4 ersichtlich ist, haben die Fachwerkwände mit knapp 40% den größten Anteil am Transmissionswärmeverlust. Der Gesamtanteil der Außenwände (Fachwerk & Sandstein) am Transmissionswärmeverlust beträgt ca. 50 %. Den nächst größeren Anteil hat die oberste Geschossdecke mit rund 17 %. Die Fenster haben einen Anteil von ca. 13 % am gesamten Wärmeverlust über die Gebäudehülle.

## 3.2 Beschreibung der Sanierungsmaßnahmen

### Dämmung der Außenwände (Dämmung der Innenseite)

Bei älteren Gebäuden oder Gebäuden mit Sichtmauerwerk sowie denkmalgeschützten Gebäuden ist eine Fassadendämmung von außen meist nicht möglich. Hier bietet sich im Rahmen energetischer Sanierungen nur die Innenwanddämmung an. Die Dämmung von innen weist einige Vorteile, aber auch Nachteile auf. Diese müssen im Rahmen einer Detailplanung berücksichtigt werden.

#### Vorteile der Innenwanddämmung:

- Tauwasserfreiheit an Oberfläche
- Schimmelfreiheit an Oberfläche
- Erhöhung des Komforts
- schnelles Aufheizen (Winter, temporäre Nutzung)
- Energieeinsparung
- Installation wetterunabhängig

#### Nachteile der Innenwanddämmung:

- Sommerlicher Wärmeschutz
- Außenwand kälter
- Wärmebrücken
- Sorgfältige Ausführung erforderlich
- Raumverlust
- Befestigung, Installation
- Behinderung der Austrocknung nach innen
- Brandschutz

Zudem ist die Nutzflächenverringeringung zu beachten. Vor allem in den Büroräumen des Magistratsbaus könnte eine Dämmung zu Platzproblemen führen. Die Möglichkeit zur Durchführung sollte, in Bezug auf den Erhalt der Bausubstanz, vorher eng mit den Experten der Universität Bamberg besprochen werden.

### **Fenstertausch**

Zur Ermittlung der energetischen Qualität eines Fensters müssen zum einen die bauphysikalischen Eigenschaften sowie die mechanischen Eigenschaften des Bauteils betrachtet werden. Die bauphysikalische Betrachtung erfolgt über den U-Wert, die mechanischen Eigenschaften beziehen sich auf die Dichtheit des Fensters. Bei nicht richtig schließenden Fenstern entsteht ein unkontrollierter Luftaustausch, die sogenannte Infiltration. Dies führt zu unnötigem Wärmeverlust. Heizenergieverluste durch undichte Fenster lassen sich im Rahmen dieses Konzeptes nicht detailliert ermitteln. In der folgenden Betrachtung werden deshalb diejenigen Fenster ersetzt, bei denen der Austausch durch die dann eintretende Reduktion des U-Wertes sinnvoll erscheint. Die Bestandsfenster werden im Sanierungsfall auf einen U-Wert kleiner  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  ertüchtigt (Verglasung und Dichtungen erneuern). Mit diesem U-Wert werden die Anforderungen an Einzelmaßnahmen nach KfW erreicht.

Bei einem Fenstertausch werden Investitionskosten von  $400,- \text{ €/m}^2$  angesetzt.

### **Dämmung der Decke des Ausstellungsraumes**

Ein Teil der Decke des Ausstellungsraumes ist bereits angehängt, allerdings nicht gedämmt. Hier bietet es sich an Dämmstoff einzublasen, damit die Gipskartonplatten der Abhängung nicht entfernt werden müssen. Für den nicht abgehängten Teil der Decke sind eine Dämmung mit Mineralwolle und die Verkleidung mit Gipskartonplatten vorgesehen. Die Schichtaufbauten für die Varianten befinden sich im Anhang. Es bietet sich an, bei Durchführung der Maßnahme Deckenluftheritzer zu installieren um den Ausstellungsraum bei Bedarf über die zentrale Heizungsanlage zu versorgen. Momentan werden die Räumlichkeiten bei Bedarf (z.B. Weihnachtsmarkt) über eine mobile Gas-Gebälse-Heizung mit Wärme versorgt.

Die spezifischen Kosten der Maßnahme betragen  $45,- \text{ €/m}^2$ .

### **Dämmung der obersten Geschossdecken (OGD)**

Es wird die Holzbalkendecke des Rathauses gedämmt. Dies erfolgt durch den Austausch der Sand- bzw. Schuttauffüllung zwischen den tragenden Balken Verlegung durch eine Schüttung aus Bläherlit. Die bestehende Schüttung soll ohnehin im Rahmen der Untersuchung der Holzkonstruktion entfernt werden. Diese Maßnahme wurde in Abstimmung mit dem zuständigen Architekten erarbeitet.

Für die Dämmung werden Investitionskosten von  $55,- \text{ €/m}^2$  angesetzt.

### 3.2.1 Energieeinsparpotentiale durch Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

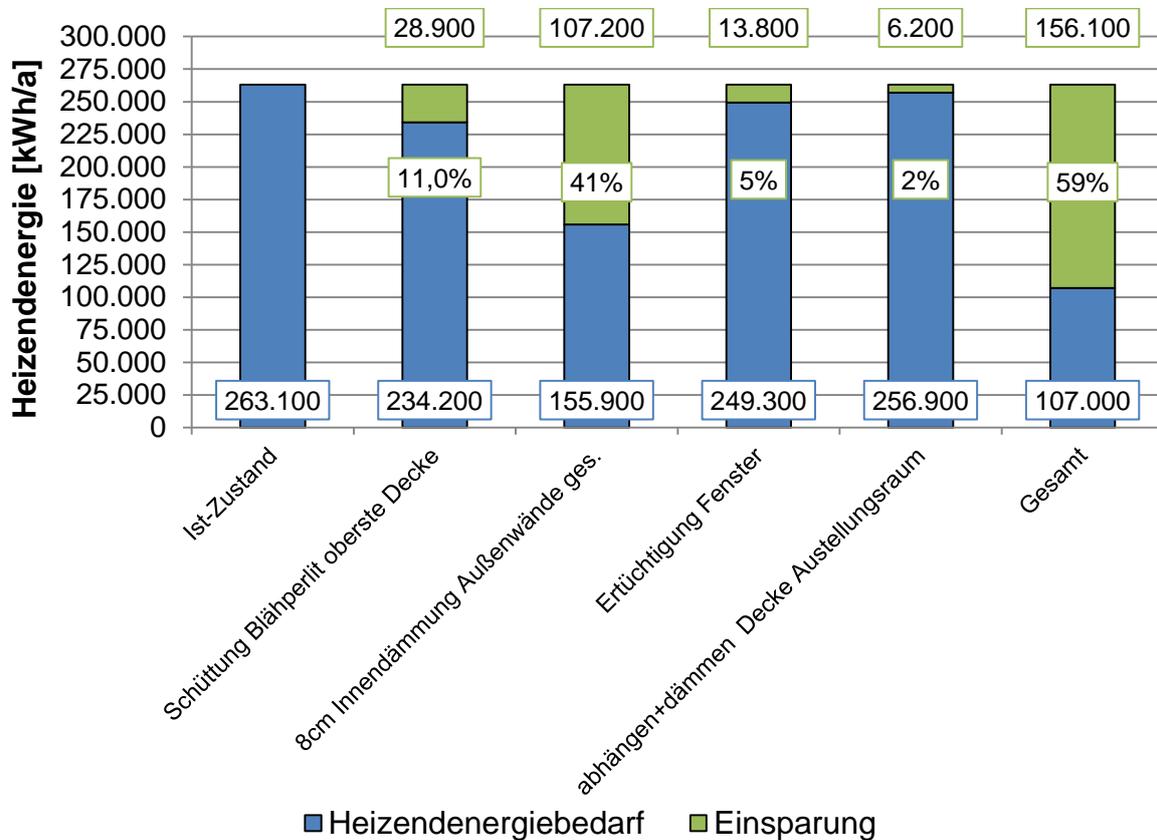
In Tabelle 2 werden die U-Werte der sanierten Bauteile und die durch die Sanierungsmaßnahmen eintretende Verbrauchsreduktion an Heizenergie dargestellt.

**Tabelle 2: Die U-Werte der sanierten Bauteile und die eintretende Heizenergieeinsparung**

Bauteil	Fläche	Maßnahme	U-Wert Ist-Zustand	U-Wert Saniert	Einsparung Heizenergie
	[m <sup>2</sup> ]		[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[kWh/a]
oberste Decke	673	Schüttung Blähperlit	1,06	0,39	28.900
Außenwände ges.	928	8cm Innendämmung	> 1,74	< 0,40	107.200
Fenster	154	Austausch Verglasung	2,70	1,60	13.800
Decke Ausstellungsraum	220	abhängen+dämmen	> 0,67	0,24	6.200
<b>Gesamt</b>	<b>1.975</b>				<b>156.100</b>

Bei Umsetzung aller Sanierungsmaßnahmen an den Hüllflächenelementen ist eine Reduktion des Heizenergieverbrauchs um rund 156.100 kWh/a möglich. Insgesamt sind für 1.975m<sup>2</sup> der Hüllfläche Sanierungsmaßnahmen vorgesehen. Dies entspricht bei einer Gesamthüllfläche von 2.575 m<sup>2</sup> einem Anteil von ca. 77 %. Wie aus Tabelle 2 ersichtlich wird, weist die Montage einer Dämmung an den Außenwänden das größte Einsparpotential in Höhe von insgesamt rund 107.000 kWh/a auf. Eine Dämmung der obersten Geschossdecken spart insgesamt ca. 29.000 kWh/a Heizenergie ein. Die berechnete Heizenergieerduktion bezieht sich hierbei auf eine Schüttung von Blähperlit zwischen den Tragbalken. Eine Ertüchtigung der Fenster verringert den Heizenergieverbrauch insgesamt um rund 13.800 kWh/a. Eine Dämmung der Decke des Ausstellungsraumes reduziert den Heizenergieverbrauch um rund 6.200 kWh/a.

In Abbildung 5 sind die energetischen Auswirkungen der einzelnen Sanierungsmaßnahmen bezogen auf das Gesamtgebäude dargestellt.



**Abbildung 5: Die Einsparpotentiale der einzelnen Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf den Gesamtheizenergieverbrauch**

Wie aus obiger Darstellung ersichtlich wird, weist die Montage Innenwanddämmung mit einer möglichen Reduktion des Heizenergieverbrauchs von insgesamt ca. 41 % das größte Potential aller vorgestellten Sanierungsmaßnahmen auf. Eine Ertüchtigung der Fenster ermöglicht eine Einsparung von rund 5 % des Gesamtheizenergieverbrauchs im Vergleich zum Ist-Zustand. Eine Dämmung der obersten Geschosdecke reduziert den Heizenergieverbrauch um ca. 11 %. Die Dämmung der Ausstellungsraumdecke spart rund 2 % des Energieverbrauchs für Heizzwecke ein.

### 3.2.2 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

Im Folgenden werden die verschiedenen Sanierungsmaßnahmen dargestellt und die Investitionskosten prognostiziert. Für die einzelnen Bauteile werden folgende spezifische Sanierungskosten angenommen:

- Ertüchtigung der Fenster: 400,- €/m<sup>2</sup>
- Innenwanddämmung: 120,- €/m<sup>2</sup>
- Dämmung der obersten Geschossdecke: 50,- €/m<sup>2</sup>
- Dämmung der Ausstellungsraumdecke: 100,- €/m<sup>2</sup>

Die statische Amortisation der Investitionskosten wird über die jeweilige Einsparung an Heizkosten durch die Sanierungsmaßnahme berechnet. Kapitalkosten, Teuerungsraten etc. werden nicht berücksichtigt. Der angesetzte Erdgaspreis beträgt **0,07 €/kWh H<sub>i</sub>**. Die energetischen und somit auch finanziellen Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen sind in Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3: Die statische Amortisationsdauer<sup>1</sup> in Abhängigkeit von der Heizkosteneinsparung**

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Maßnahme	U-Wert Saniert [W/m <sup>2</sup> K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisation [a]
oberste Decke	673	Schüttung Blähperlit	0,39	28.900	1.730	33.700	20
Außenwände ges.	928	8cm Innendämmung	< 0,40	107.200	6.430	116.000	20
Fenster	154	Austausch Verglasung	1,60	13.800	830	61.800	> 40
Decke Ausstellungsraum	220	abhängen+dämmen	0,24	6.200	370	22.000	> 40
<b>Gesamt</b>	<b>1.975</b>			<b>156.100</b>	<b>9.360</b>	<b>233.500</b>	<b>25</b>

<sup>1</sup> Die Rückflussdauer der Investitionskosten allein durch die jeweilige Heizkosteneinsparung.

Die in Tabelle 3 aufgeführten Amortisationszeiten zeigen, dass die energetischen Sanierungsmaßnahmen unter gegebenen Bedingungen nur teilweise wirtschaftlich darstellbar sind. Die Rückflussdauer der Investitionskosten durch die entstehende Heizkosteneinsparung beträgt bei Fenstern und Ausstellungsraumdecke meist mehr als 40 Jahre. Bei der Durchführung von ohnehin erforderlichen baulichen Sanierungsmaßnahmen können die energetischen Eigenschaften allerdings durch einen geringen Kostenmehraufwand verbessert werden.

Generell sollte allerdings nicht allein die Möglichkeit zur Energieeinsparung im Vordergrund stehen, sondern der Erhalt der wertvollen Bausubstanz. Die Planung von Sanierungsmaßnahmen sollte in enger Abstimmung mit dem Denkmalamt erfolgen. Die Ergebnisse der Begutachtung der Universität Bamberg können, gerade in Bezug auf die Innenwanddämmung und die Dämmung der obersten Geschossdecke, wichtige Erkenntnisse liefern.

Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Amortisationsdauer sind der Brennstoff- bzw. Wärmepreis und die Investitionskosten der jeweiligen Sanierungsmaßnahme. Um den Einfluss dieser Parameter zu verdeutlichen, werden die Maßnahmen mit Amortisationszeiten im Bereich von unter 30 Jahren einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Abbildung 6 zeigt die Sensitivitätsanalyse für eine begehbare Dämmung der obersten Geschossdecke.

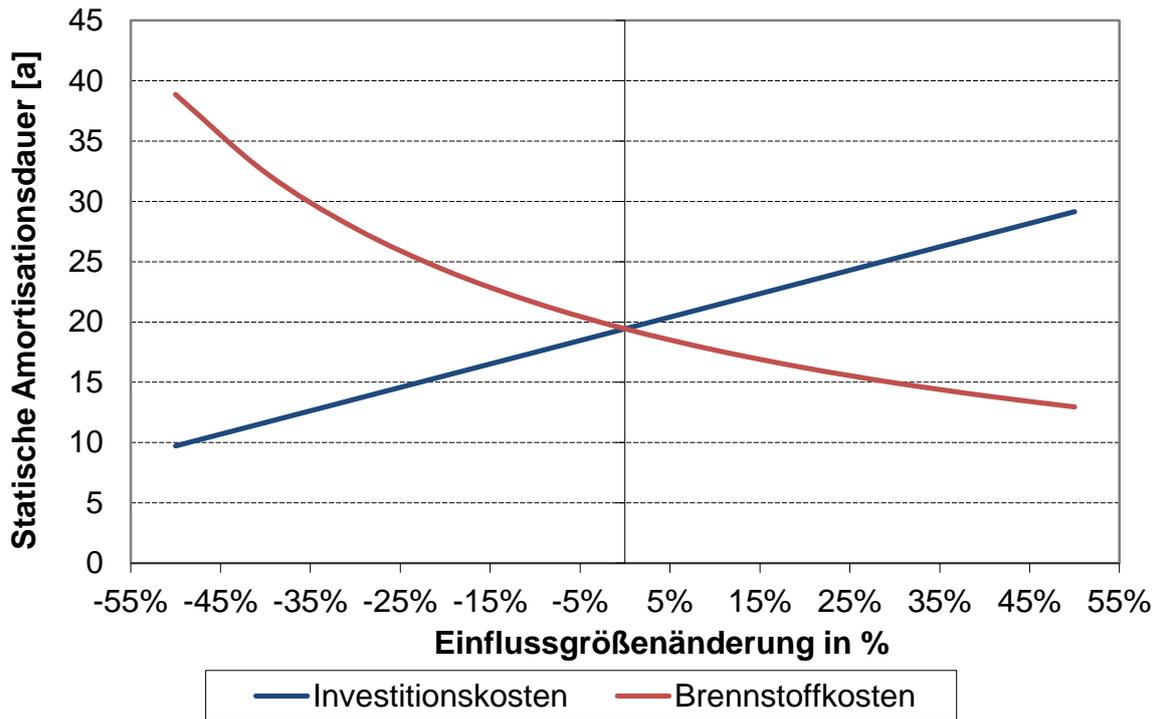


Abbildung 6: Die Sensitivitätsanalyse für eine Dämmung der obersten Geschossdecke

Abbildung 7 zeigt die Sensitivitätsanalyse für die Montage einer Innenwanddämmung in allen beheizten Räumen.

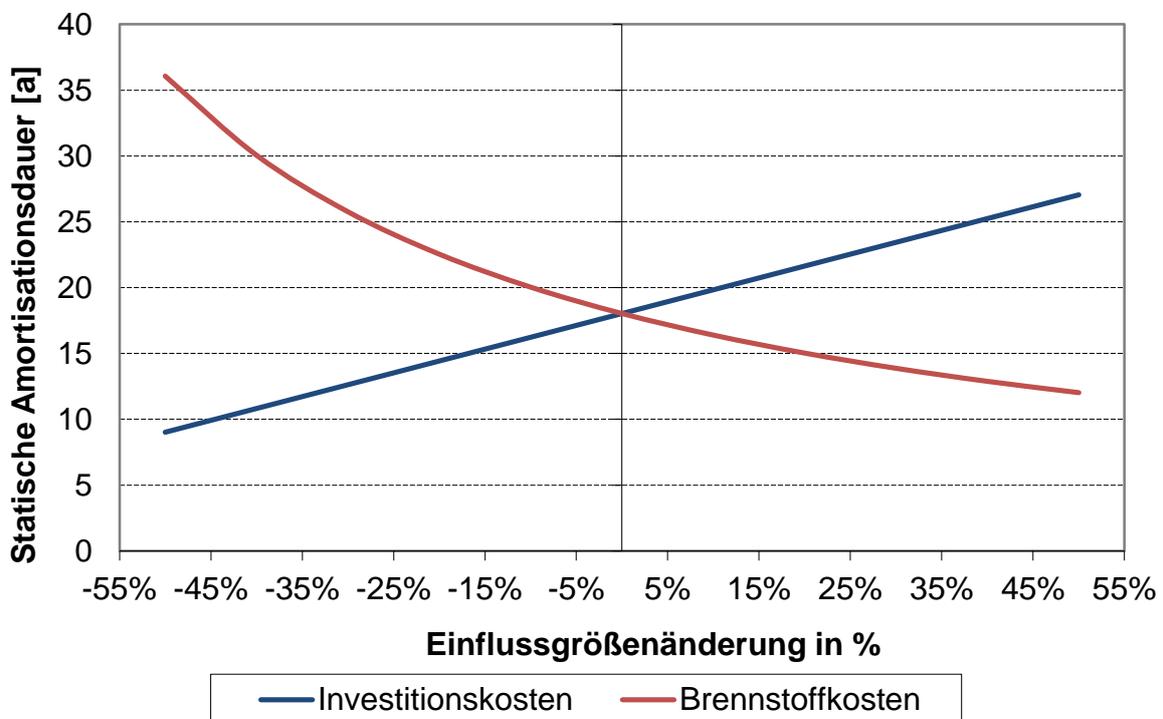
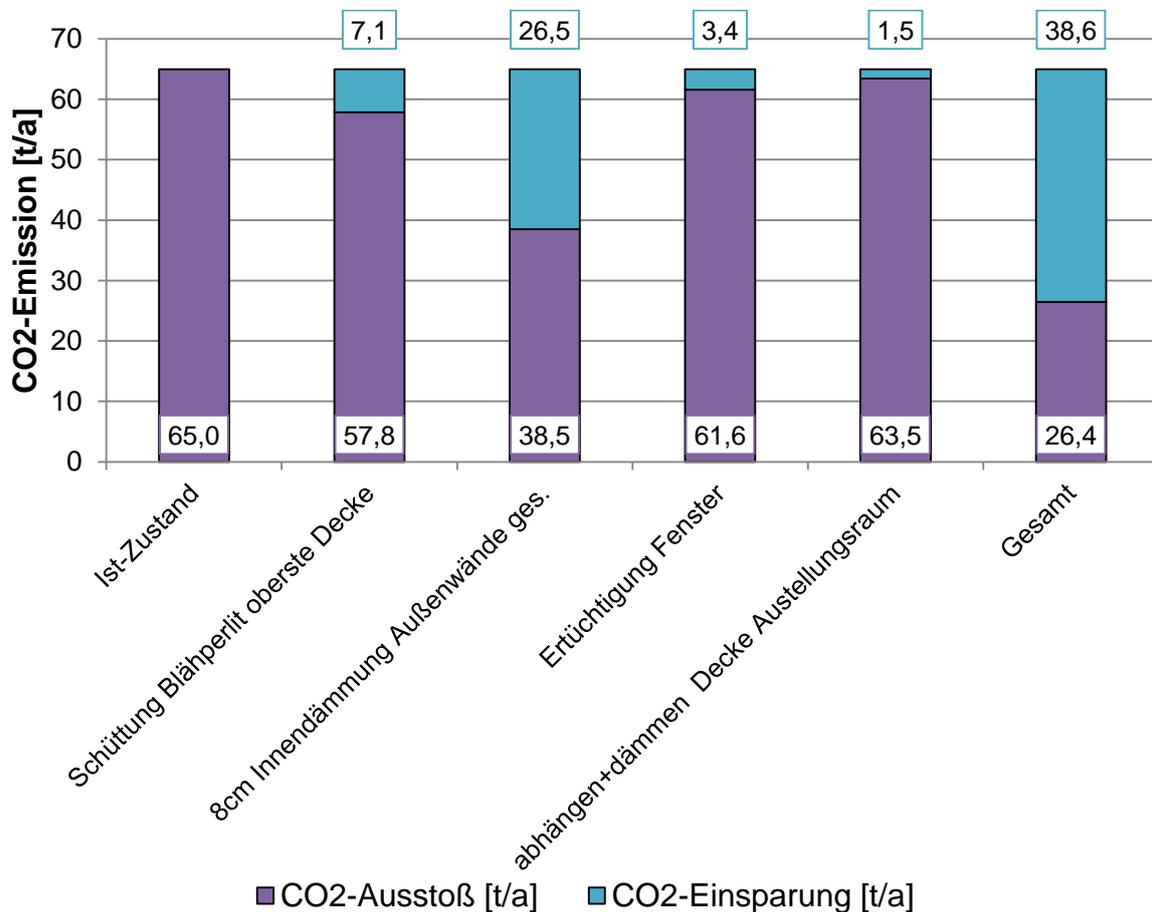


Abbildung 7: Die Sensitivitätsanalyse für eine Innenwanddämmung

### 3.2.3 Auswirkung der Sanierungsmaßnahmen auf die CO<sub>2</sub>- Emissionen

Abbildung 8 zeigt die bei Durchführung aller vorgestellten Sanierungsmaßnahmen eintretende jährliche Reduktion des heizenergiebezogenen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.



**Abbildung 8: Die Reduzierung des CO<sub>2</sub>- Ausstoßes durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen**

Die Einsparpotentiale in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß verteilen sich analog zur Heizenergieeinsparung auf die einzelnen Hüllflächenelemente. Die Montage einer Innenwanddämmung weist mit einer möglichen jährlichen Einsparung von insgesamt rund 26,5 t CO<sub>2</sub> das größte Einsparpotential zur Reduktion der heizenergiebezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Bei Durchführung aller vorgestellten Sanierungsmaßnahmen lässt sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Jahr um ca. 38,6 t<sub>absolut</sub> verringern.

## 4 Schwachpunktanalyse und Energieeinsparpotentiale

In diesem Kapitel wird auf verschiedene Schwachstellen eingegangen und es werden weitere Energieeinsparmöglichkeiten aufgezeigt, die bei einer Vor-Ort-Begehung und in Abstimmung mit den betreffenden Akteuren identifiziert wurden. Dabei werden einzelne Maßnahmen dargestellt, die evtl. sinnvoll miteinander kombiniert werden können. Bei übergeordneten Optimierungsmöglichkeiten, z. B. im Bereich der Gebäudeleittechnik, ist zu prüfen ob dadurch andere Einzelmaßnahmen an Bedeutung und Sinn verlieren.

### 4.1 Gebäudeautomation

Dieser Abschnitt widmet sich einem weiteren wichtigen Baustein hin zum energetisch optimierten Gebäude: der Raum- und Gebäudeautomation.

Mit Hilfe der Raum- und Gebäudeautomation ist es möglich, verschiedene Prozesse durch Einsatz von Informationstechnologie (IT) und ständiger Vernetzung zu optimieren. Dabei werden einst getrennte Anlagen z.B. zur Beleuchtungssteuerung, zur Temperaturregelung oder aber auch zur Sicherheitsüberwachung unter einem zentralen System zusammengeführt, überwacht und miteinander in Verbindung gebracht. In Abbildung 9 werden die interdisziplinären Felder der Gebäudeautomation aufgezeigt.

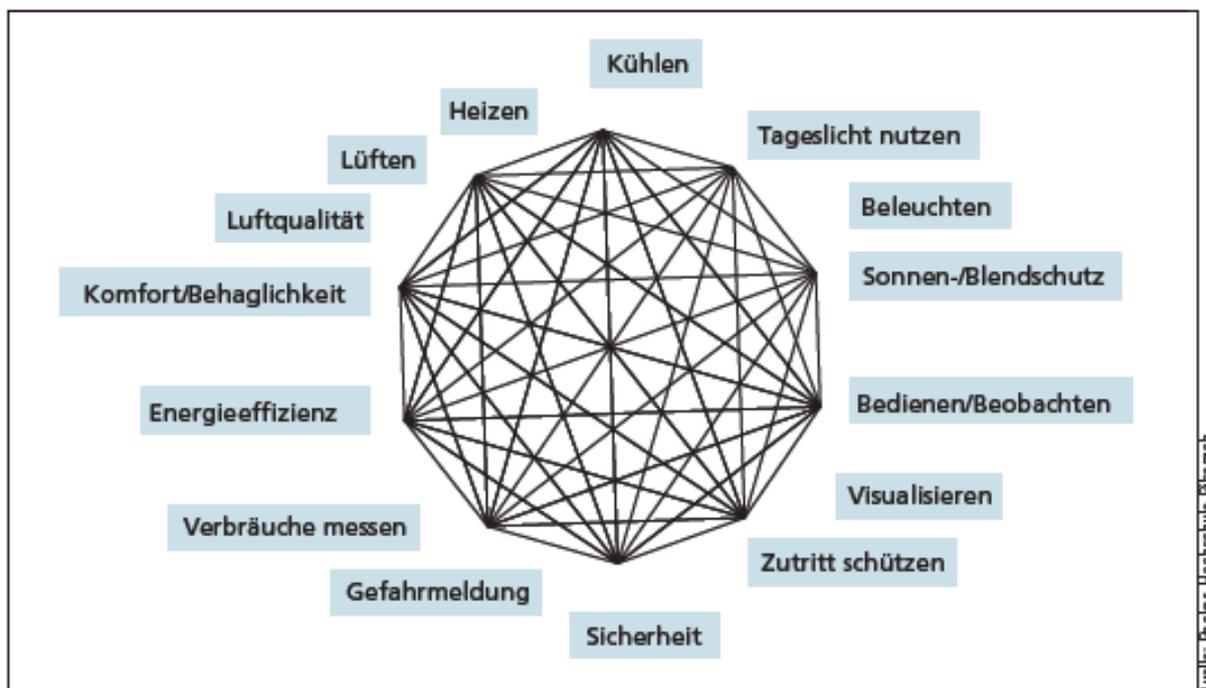


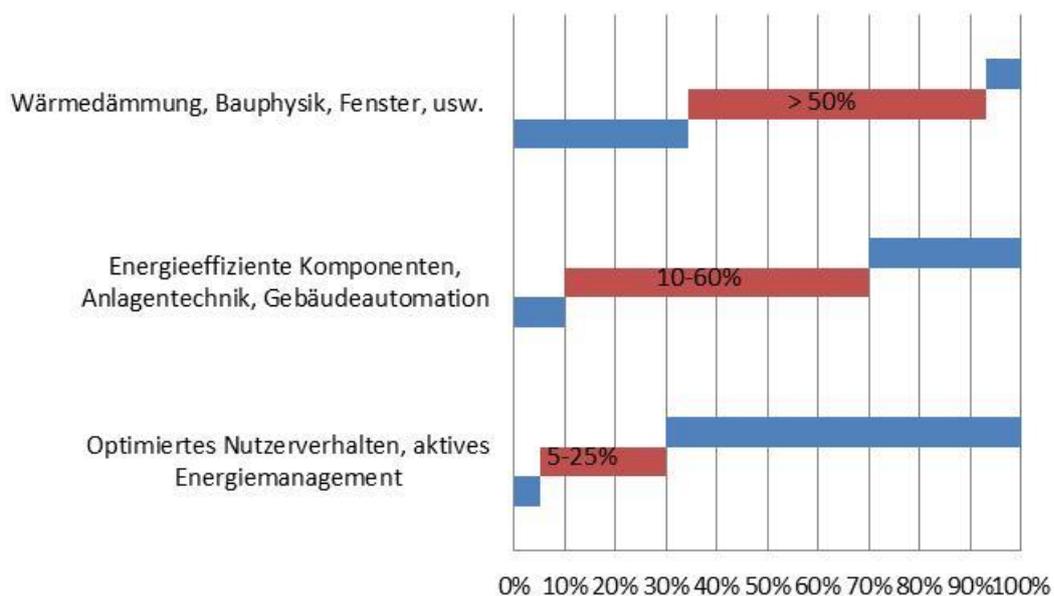
Abbildung 9: Interdisziplinäre Felder der Gebäudeautomation [Quelle: Hochschule Biberach]

Sensoren erfassen Temperatur, Luftqualität und Lichtverhältnisse in einem Raum. Auch registrieren sie die Anwesenheit von Personen und kontrollieren den Status der Fenster. Der Austausch von Daten sowie die Kommunikation aller Teilnehmer untereinander erfolgt über kabelgebundene oder funkbasiert Gebäudenetzwerke.

Eine zentrale Steuerungseinheit überwacht ständig alle Messwerte und Aktivitäten, bei Bedarf gibt es konkrete Anweisungen an die Aktoren im System weiter. Sie dimmen beispielsweise bei Bedarf das Licht oder regeln die Heizung.

Als Ergebnis der Gebäudeautomation soll ein intelligentes Gebäude hervorgehen, welches an das vorherrschende Nutzerverhalten direkt angepasst werden kann und die äußeren Umstände in dessen Betrieb einfließen lässt.

Besondere Bedeutung besitzt die Gebäudeautomation bei Verwaltungsgebäuden, in denen viele unterschiedliche Anwendungen kombiniert werden können und somit ein Maximum an Effizienz erreicht werden kann. Wie aus Abbildung 10 ersichtlich wird, liegt das Energieeinsparpotential von Maßnahmen der Gebäudeautomation je nach Ausgangslage und Rahmenbedingungen allgemein bei 10-60%.



**Abbildung 10: Energieeinsparpotentiale in Prozent durch unterschiedliche Maßnahmen**  
[Quelle: nach Ausführung von GIRA]

Unter Annahme dieser Einspareffekte geht hervor, dass sich Amortisationszeiten im Bereich von 6 bis 15 Jahren realisieren lassen. Anhand dieser Gesichtspunkte sind Maßnahmen im Bereich der Gebäudeautomation durchaus als wirtschaftlich einzustufen und sollten mehr Beachtung bei Sanierung und Neubau finden.

Im Folgenden werden konkrete Systeme zur Effizienzsteigerung durch Gebäudeautomation im Bereich der Heiz-/Kühlenergie, der Beleuchtungsenergie und der sonstigen Energieverbräuche betrachtet.

#### 4.1.1 Effizienzsteigerung im Bereich der Heizenergie

Die Abbildung 11 zeigt, dass durch eine intelligente Heizungssteuerung große Effekte zu erzielen sind, da bereits durch eine Raumtemperaturabsenkung von  $\Delta T=1^\circ\text{C}$  eine Energieeinsparung von bis zu 6% erreicht werden kann.

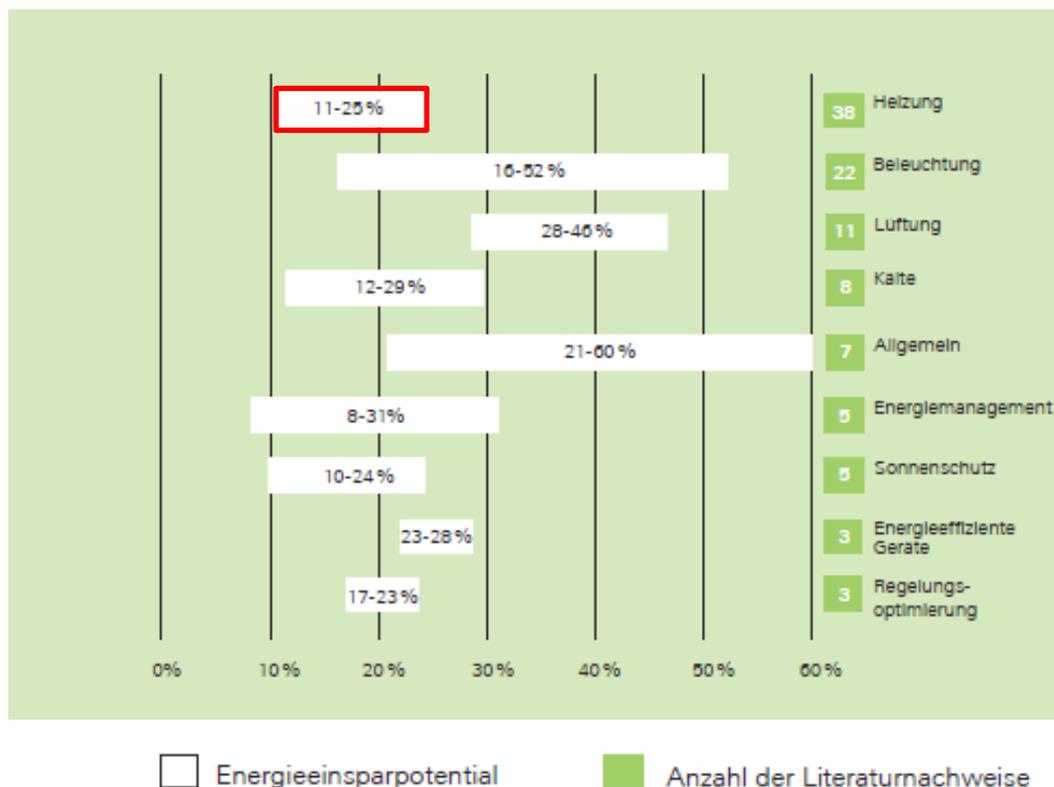


Abbildung 11: Übersicht zur Einsparung der einzelnen Gewerke innerhalb der Gebäudeautomation [Quelle: GIRA]

Eine Temperaturabsenkung kann detailliert für jeden Raum im Gebäudeleitsystem hinterlegt werden. Dabei kann es jedoch trotzdem vorkommen, dass manche Räume geheizt werden, obgleich sie nicht in Benutzung sind. Geschickter ist es daher auf eine präsenzgesteuerte Temperaturabsenkung bei ungenutzten Räumen zurückzugreifen. Des Weiteren kann der Heizenergiebedarf durch Verwendung von Fensterkontakten verringert werden. Diese sind an das Gebäudenetzwerk angebunden und melden, wenn ein Fenster offen steht. Das Gebäudeleitsystem kann darauf reagieren und die Heizung um einen voreingestellten Wert absenken. Außerhalb von Kernzeiten (z.B. Ferien, Nachtzeiten, usw.) ist es weiterhin sinnvoll auf eine Nachtabenkung zurückzugreifen.

Unter Anwendung der oben genannten Varianten sind gemäß einschlägiger Literatur Energieeinsparpotentiale in Höhe von 11 bis zu 25 Prozent zu erzielen. Jedoch variieren diese Angaben sehr stark in Abhängigkeit von örtlichen Gegebenheiten, Nutzerverhalten und verwendeter Technik.

Die erzielten Einsparpotentiale müssen jedoch immer unter dem Aspekt der anfallenden Lebenszykluskosten gesehen werden. Von diesen Gesamtkosten fallen nur 20% während der Planungs- und Errichtungsphase an, 80% hingegen entfallen auf die späteren Kosten für Betrieb, Bewirtschaftung, Wartung, Sanierung sowie Entsorgung. Aufgrund dieser Tatsache übersteigen die laufenden Betriebskosten bei Zweck- und Bürogebäuden bereits nach 5 bis 8 Jahren die einmal getätigten Kosten. Somit relativiert sich der Mehr-Invest für eine aufwendige Gebäudeautomation und die Tatsache der Energie- und Betriebskosteneinsparung überwiegt.

## 4.1.2 Effizienzsteigerung im Bereich Beleuchtung

In der Gebäudeautomation sind unterschiedliche Einsparvarianten möglich:

### 1. Präsenzgesteuerte Beleuchtung

Im Raum installierte Präsenzmelder registrieren, ob eine Person im Raum anwesend ist. Ist keine Aktivität mehr zu verzeichnen, wird nach einer vorher im System hinterlegten Zeit die Beleuchtung in diesem Raum abgeschaltet. Ein Wiedereinschalten ist danach nur manuell möglich.

### 2. Bedarfsgerechte Beleuchtung

In selten genutzte Räume und Durchgangsbereiche wie Treppenhäuser und Flure ist eine bedarfsgerechte Steuerung der Beleuchtung sinnvoll. Diese kann entweder über Bewegungsmelder oder über Zeitschaltungen erfolgen. Beide Varianten basieren auf der Tatsache, dass nach Ablauf einer definierten Zeit die Beleuchtung automatisch ausgeschaltet wird. Der Unterschied zu präsenzgesteuerten System ist besonders in der Sensibilität der Geräte zu sehen.

### 3. Konstantlicht-Regelung

Bei der Konstantlicht-Regelung wird die Helligkeit im Raum mittels eines Lichtfühlers gemessen. Für Büroräume ist ein Wert von 500 Lux gängig. Wird diese Beleuchtungsstärke durch Sonnenstrahlung verstärkt oder bei Dunkelheit verringert, kann dies durch eine künstliche Beleuchtung stufenlos ausgeglichen werden. Dazu wird der betrachtete Raum in unterschiedliche Zonen unterteilt, wodurch eine noch effektivere Regelung ermöglicht wird.

### 4.1.3 Effizienzsteigerung durch sonstige Maßnahmen

Im Bereich der Gebäudeautomation sind noch weitere effizienzsteigernde Maßnahmen gängige Praxis. Mit der geeigneten Auswahl des Gebäudemanagement-Systems ist eine intelligente Verschaltung der Einzelmaßnahmen möglich, um somit das Potential eines Gebäudes voll auszunutzen. Denkbare Erweiterungen sind:

- Energieverbrauchszähler für einzelne Räume
- Erfassung des Wasserverbrauchs
- Abschaltung elektrischer Geräte durch Funk-/Netzwerkgesteuerte Systeme
- Lüftungssteuerung (z.Z. ist im Rathaus keine Lüftungsanlage in Betrieb)

Durch eine geschickte Verknüpfung aller möglichen Funktionen in einem Raum (vgl. Abbildung 12) sind die größten Einsparpotentiale zu erreichen.

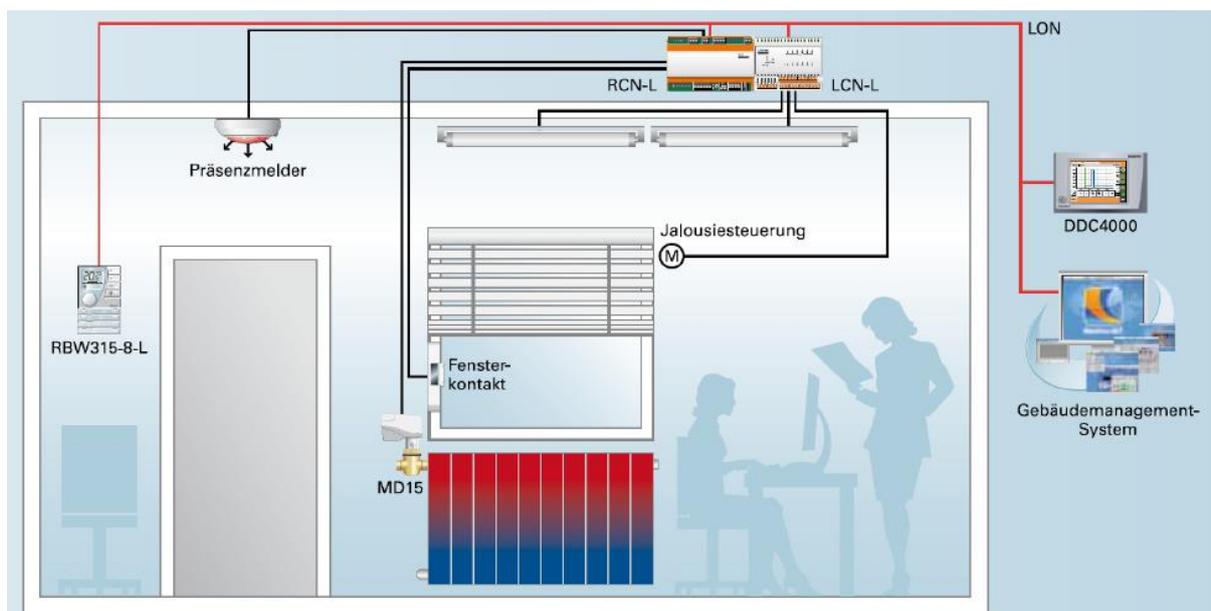


Abbildung 12: Zusammenspiel der einzelnen Funktionen in einem Raum [Quelle: Kieback&Peter]

#### 4.1.4 Kabelgebundenes Gebäudenetzwerk mit dezentraler Heizungssteuerung

Auf Basis dieser Systemvariante ist eine störungssichere Kommunikation der unterschiedlichen Busteilnehmer untereinander möglich. Auch stellt eine Erweiterung um zusätzliche Komponenten oder Funktionen kein großes Problem dar, solange die Gebäudeleittechnik (GLT)-Software die Daten verarbeiten und aufbereiten kann. Somit können fast sämtliche Funktionen der Gebäudeautomation mit entsprechend angepassten Systemen erfasst, verarbeitet und gesteuert werden.

Jedoch benötigt jeder einzelne Teilnehmer einen Feldbus- und Stromanschluss, was mit hohem Verlegungsaufwand und –kosten verbunden ist und sich besonders bei Sanierungsmaßnahmen im Bestand als Herausforderung erweist. Nicht zu Letzt entstehen durch die umfangreichen Material-, Arbeits- und Anschaffungskosten hohe Systemkosten für den Betreiber.

#### 4.1.5 Funkbasiertes Gebäudenetzwerk mit zentraler Heizungssteuerung

Sämtliche Teilnehmer im System besitzen eine autarke Energieversorgung, wodurch hohe Installationskosten bei der Anschaffung entfallen. Die Kommunikation erfolgt mittels eines Funksystems mit zentraler Bedieneinheit.

Diese Systemvariante besitzt jedoch den Nachteil, dass es nur eine begrenzte Signalreichweite und anbieterspezifische Erweiterungsfähigkeit aufweist. Zwar kann mittels Signalverstärker die Reichweite erhöht werden, dies ist jedoch mit höheren Kosten für Zusatzgeräte verbunden. Sollen in das System weitere Gebäudedaten und Funktionen (z.B. Beleuchtungssteuerung, Lüftungssteuerung, Sicherheitstechnik, usw.) eingebunden werden, kann dies zu Problemen in der Datenverarbeitung führen.

#### **Fazit:**

Im Forchheimer Rathaus bieten Gebäudenetzwerke mit Heizungssteuerung hohes Einsparpotential. Die Installation eines Systems, ob zentral oder dezentral, sollte im Zuge einer Generalsanierung erfolgen, um Synergieeffekte auszunutzen.

## 4.2 Heizungs- und Warmwasserverteilung

Im Folgenden werden Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Bereich der technischen Heizungs- und Warmwasserversorgung vorgestellt.

### 4.2.1 Nicht-investive Maßnahmen

Nicht-investive Maßnahmen zur Energieeinsparung bauen auf der Änderung der Nutzungsgewohnheiten auf. Hierzu zählt die Information der Mitarbeiter bzw. Nutzer, wie und wo Energie gespart werden kann. Nicht-investive Maßnahmen sind zum einen richtiges Lüften, Abschaltung nicht genutzter Geräte/Maschinen und effizienter Einsatz vorhandener Heizungstechnik.

#### **Lüften:**

Richtiges Lüften ist vor allem in Gebäuden ohne geregelte Lüftungstechnik wichtig, um ein gesundes Raumklima zu schaffen, Pilzbefall zu vermeiden und die Heizkosten möglichst niedrig zu halten.

Das Heizkörperthermostat unter dem Fenster sollte geschlossen werden, um unnötige Wärmeverluste während des Lüftens zu vermeiden. Querlüften (Lüften bei weit geöffneten, gegenüberliegenden Fenstern) ist effektiver als die Fenster über lange Zeit gekippt zu lassen. Zu empfehlen sind grundsätzlich Lüftungszeiten von ca. 15 Minuten. Je niedriger die Außentemperatur, desto kürzer die benötigte Lüftungsdauer.

#### **Optimale Raumtemperatur/ -bedingungen:**

Grundsätzlich gilt, dass Temperaturen von 19 bis 22°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 35 bis 60 % eingehalten werden sollten, um das Raumklima als behaglich zu empfinden. Die optimale Luftfeuchtigkeit kann mit einem Hygrometer überprüft werden.

Häufig werden Räume überheizt, d. h. es werden Temperaturen von über 22° bis 24°C eingestellt. Durch die Absenkung der Raumtemperatur um 1°C kann der Energieverbrauch um bis zu 6% gesenkt werden. Die Einstellung der Raumtemperaturen kann z. B. durch den Hausmeister in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden. Des Weiteren sollte die Raumtemperatur nach Nutzungsende um rund 5°C abgesenkt werden.

## 4.2.2 Hydraulischer Abgleich

Warmwasserpumpenheizungen sind aus verzweigten Rohrleitungssystemen aufgebaut. Durch diese Systeme muss überall gleich viel Wasser fließen, um ein gleichmäßiges Aufheizen zu gewährleisten und einem schlechten Regelverhalten der Thermostatventile vorzubeugen. Durch die Rohrreibung und verschiedene Einbauten in dieses Rohrsystem kommt es zum Druckverlust. Die Folge kann sein, dass nicht mehr durch alle Heizkörper die gleiche Menge an Warmwasser fließt und einige Heizkörper mehr Wärme, andere weniger Wärme abgeben. Dies hat zur Folge, dass der Pumpendruck erhöht wird (höhere Pumpenstufe, größere Pumpe). Die Folge falsch dimensionierter Pumpen sind Fließgeräusche, denen durch so genannte Überströmventile entgegengewirkt werden kann, d. h. überschüssige Energie wird vernichtet. Zudem steigt bei erhöhtem Druck die Rücklauftemperatur, wodurch der Brennwert (bei Brennwertheizungen) nicht genutzt werden kann. Aus diesen Gründen ist es sinnvoll die Heizanlage hydraulisch abzugleichen. Dies erfolgt durch Begrenzung des Durchflusses an den entsprechenden Stellen des Rohrleitungssystems. Durch diese Begrenzung wird erreicht, dass jedem Heizkörper der tatsächlich benötigte Volumenstrom zur Verfügung gestellt wird. Anschließend sollten die Pumpenleistungen überprüft werden und gegen elektronisch geregelte Heizungsumwälzpumpen ausgetauscht werden.

Laut dem Abschlussbericht des Forschungsprojekts „Optimus – Optimal Energie nutzen“ ist für einen Hydraulischen Abgleich in Abhängigkeit von den umgesetzten Maßnahmen mit spezifischen Kosten von ca. 2,5 bis 4,0 Euro pro beheiztem Quadratmeter zu rechnen. Im Rathaus Forchheim (ca. 1.130 m<sup>2</sup> beheizte Fläche) belaufen sich die Gesamtkosten für den Hydraulischen Abgleich demnach auf rund 2.900 € bis 4.500 €. Der Abschlussbericht nennt als mittlere Heizenergieeinsparung 8 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), wodurch sich der Erdgasbezug des Forchheimer Rathauses um jährlich rund 630 € reduziert. Basierend auf den hohen Rücklauftemperaturen im Heizungssystem im Ist- Zustand erscheint eine Einsparung in dieser Größenordnung konservativ. Durch die Einsparung beim Erdgasbezug und den verringerten Hilfsenergiebedarf beläuft sich die statische Amortisationszeit, in Abhängigkeit der bei der Umsetzung anfallenden Kosten, auf 7 bis 11 Jahre.

### **Fazit:**

Es wird empfohlen verschiedene Angebote für den Hydraulischen Abgleich einzuholen und die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen anhand dieser Angebote zu analysieren. Die Durchführung des hydraulischen Abgleichs sollte im Idealfall mit der Sanierung der Heizungsverteilung einhergehen, um Synergieeffekte bestmöglich zu nutzen.

### 4.2.3 Heizungsumwälzpumpen

Um den Verbrauch von Hilfsenergie sowie die Wärmeverteilungsverluste zu reduzieren, empfiehlt sich ein möglichst kurzer Betrieb der Umwälzpumpen, die darüber hinaus bedarfsangepasst ausgelegt und drehzahl geregelt sein sollten. Durch die Installation von elektronisch geregelten Pumpen mit neuen Hocheffizienzmotoren und Differenzdruckregelung kann der Energieverbrauch in der Regel um bis zu 75 Prozent reduziert werden. Durch die Differenzdruckregelung werden die Pumpen immer nur im benötigten Leistungsbereich, je nach Anforderung betrieben.

Es ist festzuhalten, dass in der gesamten Heizungsverteilung bereits elektronisch geregelte Umwälzpumpen vorhanden sind. Der Leistungsbereich der installierten Umwälzpumpen bewegt sich bei der untersuchten Liegenschaft zum Großteil im kleineren Leistungsbereich. Die Leistungsbereiche der Heizungspumpen bewegen sich im Bereich unter 1 kW.

Im Folgenden wird eine Bestandspumpe untersucht. Es wird die Hauptpumpe der Heizungsverteilung, eine Wilo TOP-E 65/1-10, betrachtet. Die genannte Vorgehensweise entspricht einer überschlägigen Pumpenauslegung. Die Tauschpumpe sollte im Rahmen einer Rohrnetzrechnung auf den erforderlichen Pumpendruck ausgelegt werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass die eingesetzte Pumpe im optimalen Betriebsbereich arbeiten kann.

Mit Hilfe des LCC-Pumpenchecks des Pumpenherstellers Wilo wird eine entsprechende Tauschpumpe ausgewählt und die Wirtschaftlichkeit des Pumpentausches ermittelt. In Tabelle 4 ist die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Bestandspumpe dargestellt. Als Grundannahme wird ein Strompreis von 21,0 Cent/kWh (netto) berücksichtigt.

**Tabelle 4 Die Einsparung beim Tausch einer Wilo TOP-E 65/1-10 gegen eine Hocheffizienzpumpe**

		Bestandspumpe	Tauschpumpe
Typ	[-]	Wilo TOP-E 65/1-10	Wilo Stratos 65/1-9
Leistung (max.) <sup>1</sup>	[W]	980	588
Stromverbrauch <sup>1</sup>	[kWh/a]	2.450	890
CO <sub>2</sub> -Ausstoß <sup>1</sup>	[kg/a]	1.522	555
Investition <sup>2</sup>	[€]		2.860
Amortisationszeit	[a]		10

<sup>1</sup>) Den technischen Daten des Wilo- LCC- Check entnommen.

<sup>2</sup>) Die Investitionskosten sind dem Wilo- LCC- Check entnommen. (Nettokosten)

Wie aus der vorangegangenen Tabelle ersichtlich ist, würde sich unter den genannten Annahmen ein Austausch der vorhandenen Umwälzpumpe gegen eine entsprechende Hocheffizienzpumpe nach ca. 10 Jahren amortisieren.

**Fazit:**

Bevor ein Pumpentausch jedoch erfolgt, sollte die gesamte Heizungsanlage einem hydraulischem Abgleich unterzogen werden. Dies stellt sicher, dass die neuen Pumpen nicht überdimensioniert werden und verhindert unnötig hohen Energieverbrauch

### **4.3 Datendokumentation und Ausbau der Zählerinfrastruktur**

Insbesondere bei den leitungsgebundenen Energieträgern Erdgas und Strom ist eine regelmäßige Dokumentation und Auswertung der vorliegenden Daten von großer Bedeutung um Verschwendungen oder Schwachstellen im System erkennen zu können. Aus diesem Grund wird empfohlen, dass eine Dokumentation der Verbrauchsdaten aufgebaut wird. Als sinnvoll hat sich erwiesen, die Zählerstände wöchentlich oder monatlich aufzuzeichnen und abzugleichen. Vor diesem Hintergrund empfiehlt sich auch der Ausbau der vorhandenen Zählerinfrastruktur im Bereich Strom, Erdgas und (Warm-)Wasser, insbesondere im Rahmen der Erneuerung der Heizzentrale.

Als geringinvestive Maßnahme ist der Einbau einer sog. Wasseruhr beim Kaltwasserzufluss der Warmwasserboiler zu verstehen. Durch diese Maßnahme kann der Warmwasserverbrauch im Gebäude dokumentiert werden und Verschwendung besonders einfach nachgewiesen werden.

Wenn hohe oder steigende Verbräuche identifiziert werden, können frühzeitig Maßnahmen zur Eindämmung oder Verbesserung der Situation gesucht werden.

## 4.4 Beleuchtung

Im Rathaus Forchheim ist die Beleuchtung einer der Hauptstromverbraucher, weshalb eine energetisch optimierte Beleuchtung von großer Bedeutung ist. Eine nicht-investive Optimierungsmaßnahme ist die Reduzierung der Betriebszeiten der Beleuchtung auf ein Minimum durch eine Umstellung des Nutzerverhaltens. So sollte z. B. in den WC-Räumen und wenig frequentierten Gebäudeteilen das Licht bewusst ausgeschaltet werden. Oftmals sind in WC-Bereichen die Beleuchtungen den ganzen Tag in Betrieb. Bei einer angenommenen Nutzungszeit von rund 10 Stunden am Tag ergibt sich bei drei 60 Watt Glühbirnen ein täglicher Energieverbrauch von 1,8 kWh/d bzw. 450 kWh/a. Unter der Annahme, dass bei regelmäßigem Ausschalten der WC-Beleuchtung die tägliche Betriebsdauer auf rund 3 Stunden gesenkt werden kann, ergibt sich eine jährliche Energieeinsparung von 315 kWh/a. Bei einem Strompreis von rund 21 Cent/kWh können jährlich rund 66 € und 200 kg CO<sub>2</sub> eingespart werden. Um die Sensibilisierung der Nutzer zu erhöhen, sollten in diesen Bereichen Hinweisschilder angebracht werden.

Alternativ kann die Nachrüstung von Bewegungsmeldern oder insb. in den Sanitärräumen eine anwesenheitsgesteuerte Verknüpfung von Beleuchtung und Ablufführung sinnvoll sein.

### Optimierung der Beleuchtungstechnik

Im Rathaus Forchheim wird das benötigte Licht hauptsächlich über Leuchtstofflampen und Glühbirnen bereitgestellt. Erstere sind zum Großteil mit einem konventionellen Vorschaltgerät ausgestattet. Hierbei wird grundsätzlich unterschieden zwischen:

KVG (konventionelles Vorschaltgerät)

VVG (verlustarmes Vorschaltgerät)

EVG (elektronischen Vorschaltgerät)

Einsparpotentiale bieten bei Leuchtstofflampen in erster Linie die Vorschaltgeräte. So haben beispielsweise konventionelle Vorschaltgeräte hohe Verlustleistungen im Vergleich zu elektronischen Vorschaltgeräten. Abbildung 13 zeigt die mögliche Einsparung durch Ersatz energiesparender Leuchtstofflampen und Vorschaltgeräten.

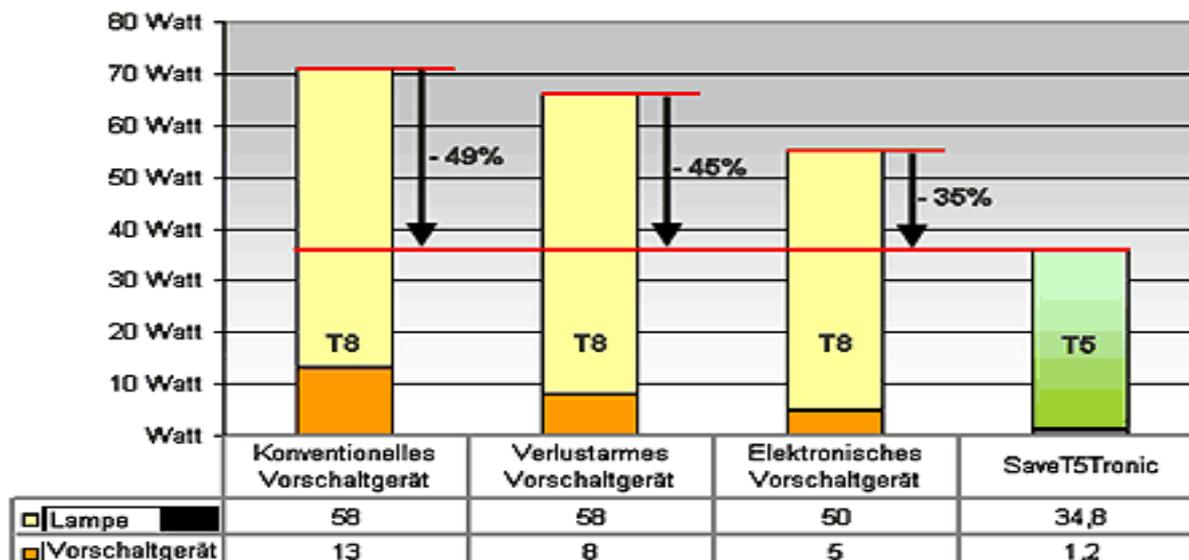


Abbildung 13: Einsparpotential bei Leuchtstofflampen [Quelle: <http://www.energiespar-basar.de>, 2009]

Es ist jedoch zu beachten, dass bei Leuchten, die 15 Jahre und älter sind, eine Umrüstung der Vorschaltgeräte zum Teil aus technischen Gründen nicht möglich oder nicht wirtschaftlich ist.

Bevor ein Tausch des Vorschaltgerätes in Betracht gezogen wird, sollte auch berücksichtigt werden, dass sich bei Leuchten über die Jahre der Wirkungsgrad verschlechtert hat und die Leuchtmittel zudem den größten Teil ihrer Betriebsdauer hinter sich haben. Ferner sind die Raster und Reflektoren häufig verschmutzt oder verblichen. Aus diesen Gründen ist die Lichtausbeute gegenüber neuer Leuchten bis zu 40% geringer. Bei Leuchten diesen Alters ist auch zu bedenken, dass es oftmals keine Ersatzteile wie Abdeckungen, Raster usw. mehr gibt. Durch Austausch der bestehenden Leuchten gegen neue Leuchtkörper mit einer höheren Lichtausbeute, kann zudem die Anzahl der benötigten Leuchten reduziert werden und die geforderten Werte für die Beleuchtungsstärke trotzdem erreicht werden.

Teilweise können die Bestandsleuchtmittel durch LED-Technik ersetzt werden. Der Einsatz von LED-Leuchtstoffröhren und LED-Birnen kann den Stromverbrauch deutlich senken. Es ist zu beachten, dass bei KVG und VVG der vorhandene Starter gegen einen entsprechenden Überbrückerstarter zu tauschen ist. Der Einsatz von LED-Leuchtstoffröhren bei EVG ist nicht ohne weitere Umbaumaßnahmen möglich.

Bei LED-Röhren ist darauf zu achten, dass die Röhren eine VDE oder TÜV Zertifizierung aufweisen. LED-Röhren müssen die aktuellen VDE-Direktiven einhalten und mit VDE oder TÜV zertifiziert sein. Mit zugelassenen LED-Röhren gibt es aktuell keine rechtlichen und versicherungstechnischen Probleme mehr.

Vorbeugend ist es jedoch ratsam die Haftpflicht-Versicherung über Umbaumaßnahmen von Leuchtstoffröhren auf LED-Röhren zu informieren, um die Schadensdeckung zu klären.

Die folgende Tabelle zeigt die nutzungsabhängigen Anforderungen und die Beleuchtungszeiten für das Rathaus Forchheim gemäß DIN 18599.

**Tabelle 5: Nutzungsdauer und Anforderungen an die Beleuchtung nach DIN 18599**

Zone	Beleuchtungsstärke [lx]	tägl. Nutzungszeit [h]	rel. Abwesenheit [%]	Nutzungstage [d/a]	Nutzungsstunden [h/a]
Büro	500	11	30%	250	1.925
WC	200	11	90%	250	275
Verkehrsflächen	100	11	80%	250	550
Lager, Technik, Archiv	100	11	98%	250	55
Besprechung, Sitzung	500	11	50%	150	450
sonst. Aufenthaltsräume	300	11	50%	250	1.375
Ausstellungshalle	abhängig von jeweiliger Ausstellung	11	20%	250	2.200

Wie in Tabelle 5 ersichtlich ist, weisen die einzelnen Nutzungsbereiche des Rathauses unterschiedliche jährliche Nutzungszeiten auf. Auch die Anforderung an die Beleuchtungsstärke variiert je nach Nutzungsart. So ist in einem Büro beispielsweise eine Lichtstärke von 500 lx erforderlich, während auf den Verkehrsflächen bereits 100 lx ausreichen. Tabelle 6 zeigt die Anzahl und die installierte Gesamtleistung der Leuchtmittel, sowie den Stromverbrauch bei einer Brenndauer gemäß DIN 18599 in den verschiedenen Nutzungsbereichen für den Ist-Zustand.

**Tabelle 6: Die installierten Leuchtmittel und der Stromverbrauch im Ist-Zustand**

Zone	Glühbirnen		Leuchtstoffröhren & -lampen		Energiesparlampen		Stromverbrauch [kWh/a]
	Anzahl [-]	Leistung [W]	Anzahl [-]	Leistung [W]	Anzahl [-]	Leistung [W]	
Büro	8	368	61	2.818	16	240	6.595
WC	4	320	8	582			248
Verkehrsflächen	20	958	11	687	29	435	1.144
Lager, Technik, Archiv	5	300	7	428			40
Besprechung, Sitzung	132	7.520	40	2.577	40	624	4.824
sonst. Aufenthaltsräume	1	40	4	188			314
Ausstellungshalle	32	1.280	25	1.775			6.721
<b>Gesamt</b>	<b>202</b>	<b>10.786</b>	<b>156</b>	<b>9.055</b>	<b>85</b>	<b>1.299</b>	<b>19.886</b>

Wie in obiger Tabelle ersichtlich ist, beträgt der Stromverbrauch bei Nutzungszeiten nach DIN 18599 knapp 19.900 kWh/a. Der Strom wird hauptsächlich in den Büros (33 %), den Sitzungsräumen (24 %) und in der Ausstellungshalle (34 %) verbraucht. Die restlichen Nutzungsbereiche haben einen Anteil am Gesamtverbrauch von rund 9 %. Tabelle 7 zeigt die Anzahl und die installierte Gesamtleistung der Leuchtmittel, sowie den Stromverbrauch bei einer Brenndauer gemäß DIN 18599 in den verschiedenen Nutzungsbereichen nach einer Umstellung auf LED.

**Tabelle 7: Die installierten Leuchtmittel und der Stromverbrauch nach einer Umstellung auf LED**

Zone	LED-Birnen		LED-Röhren		LED-Birnen		Stromverbrauch [kWh/a]
	Anzahl [-]	Leistung [W]	Anzahl [-]	Leistung [W]	Anzahl [-]	Leistung [W]	
Büro	8	48	61	1.042	16	160	2.406
WC	4	32	8	176			57
Verkehrsflächen	20	100	11	226	29	290	339
Lager, Technik, Archiv	5	30	7	142			9
Besprechung, Sitzung	132	752	40	816	40	400	886
sonst. Aufenthaltsräume	1	4	4	72			105
Ausstellungshalle	32	128	25	550			1.492
<b>Gesamt</b>	<b>202</b>	<b>1.094</b>	<b>156</b>	<b>3.024</b>	<b>85</b>	<b>850</b>	<b>5.293</b>

Tabelle 7 zeigt, dass durch die Umstellung auf LED die installierte Gesamtleistung der Beleuchtung um etwa 74 % von ca. 21 kW auf rund 5 kW gesenkt werden kann. Der Stromverbrauch sinkt bei einem Ersatz aller bestehenden Leuchtmittel gegen LED um etwa 73 % von ca. 19.900 kWh/a auf rund 5.300 kWh/a.

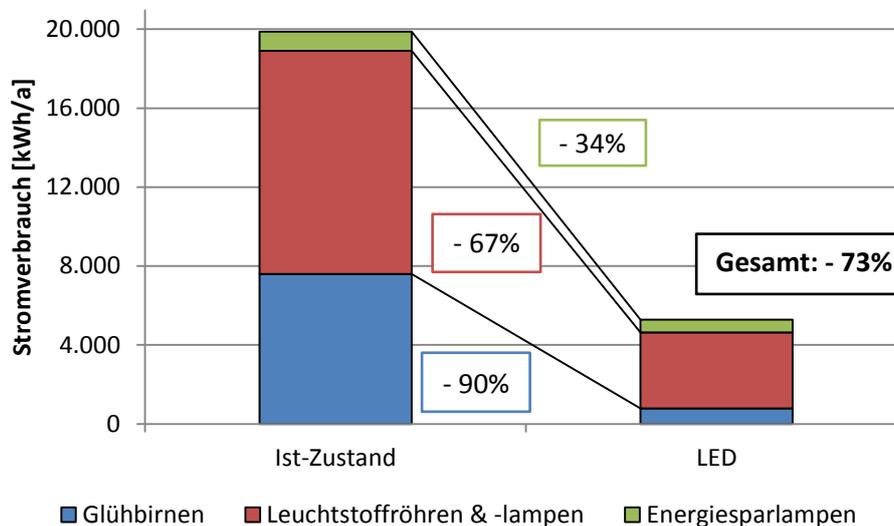
Folgende Tabelle zeigt eine detaillierte Auflistung der einzelnen Leuchtmittel im Ist-Zustand und die elektrische Leistungsaufnahme der Ersatz-Birne bzw. Ersatz-Röhre mit LED-Technik. Die angegebenen Investitionskosten sind einem unverbindlichen Angebot der Firma T.E.O. aus Weidhausen bei Coburg an das Bauamt der Stadt Forchheim entnommen und beziehen sich allein auf die Leuchtmittel (Birnen & Röhren). Kosten für Montage, Umrüstung von Leuchten, Lichtplanung usw. sind nicht enthalten und können im Rahmen dieses Konzeptes nicht detailliert ermittelt werden.

**Tabelle 8: Detaillierte Auflistung der Leuchtmittel im Ist-Zustand und nach der Umrüstung auf LED**

Leuchtmittel Ist-Zustand	Anzahl [-]	Leistung ges. [W]	Leuchtmittel nach Tausch	Anzahl [-]	Leistung ges. [W]	Invest (netto) [€]
Glühbirne 40 W	69	2.760	LED-Birne 4 W	69	276	311
Glühbirne 46 W	11	506	LED-Birne 6 W	11	66	54
Glühbirne 60 W	117	7.020	LED-Birne 6 W	117	702	573
Glühbirne 100 W	5	500	LED-Birne 10 W	5	50	33
Leuchtstoffröhre 36 W + KVG	14	588	LED-Röhre 18 W	14	252	273
Leuchtstoffröhre 38 W + KVG	13	598	LED-Röhre 18 W	13	234	254
Leuchtstoffröhre 40 W + KVG	6	288	LED-Röhre 18 W	6	108	117
Leuchtstoffröhre 58 W + KVG	94	6.674	LED-Röhre 22 W	94	2.068	2.021
Leuchtstoffröhre 65 W + KVG	6	468	LED-Röhre 22 W	6	132	129
Leuchtstofflampe 18 W	23	439	LED-Röhre 10 W	23	230	389
Energiesparlampe 15 W	82	1.230	LED-Birne 10 W	82	820	533
Energiesparlampe 23 W	3	69	LED-Birne 10 W	3	30	20
<b>Gesamt</b>	<b>443</b>	<b>21.140</b>		<b>443</b>	<b>4.968</b>	<b>4.705</b>

Wie in Tabelle 8 ersichtlich ist, belaufen sich die Kosten für den Austausch aller bestehenden Leuchtmittel gegen LED-Röhren bzw. LED-Birnen sich auf rund 4.700,- € (ohne MwSt.) belaufen. Die angegebenen Kosten gelten nur für den alleinigen Austausch der Lampen und Röhren. Die Angaben in der Tabelle ersetzen keine detaillierte Lichtplanung, d.h. eine ausreichende Beleuchtungsstärke ist mit den aufgelisteten Ersatzleuchtmitteln in LED-Technik nur bedingt gewährleistet. Abhängig vom Zustand und der Position der Leuchten im Raum kann die Beleuchtungsstärke variieren und den in Tabelle 5 angegebenen Mindestwert für die jeweilige Nutzungszone unterschreiten.

Abbildung 14 zeigt die Strom-Einsparpotentiale durch die Umstellung der gesamten Beleuchtung auf LED-Technik.



**Abbildung 14: Die Einsparpotentiale durch die Umstellung der Beleuchtung auf LED**

Wie in Abbildung 14 ersichtlich ist, bergen die Glühbirnen mit einer Einsparung von rund 90 % an elektrischer Leistungsaufnahme das größte Potential, den beleuchtungsbedingten Stromverbrauch zu senken. Bei der Umstellung von Leuchtstoffröhren und -lampen ist eine Einsparung von ca. zwei Dritteln des Stromverbrauchs im Ist-Zustand zu erreichen. Der Wechsel von Energiesparlampen auf LED spart rund ein Drittel des ursprünglichen Verbrauchs ein. Insgesamt ist beim Austausch aller Bestandsleuchtmittel eine Einsparung von rund 73 % des beleuchtungsbedingten Stromverbrauchs möglich

#### **Fazit:**

Die vorgestellten Tauschoptionen basieren nicht auf einer detaillierten Lichtplanung. Es kann daher zu Unterschieden in der Beleuchtungsstärke kommen. Angesichts des erreichbaren Einsparpotentials wird eine Lichtplanung empfohlen. Diese sollte als Grundlage für die Möglichkeit zur Umstellung auf LED in den einzelnen Räumen des Rathauses herangezogen werden.

## 5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie die vorigen Berechnungen zeigen, ist die Durchführung energetischer Sanierungsmaßnahmen bei den betrachteten Gebäuden teilweise in einem wirtschaftlichen Rahmen darstellbar.

### Vorgehensempfehlung für bauliche Sanierungsmaßnahmen:

1. Ertüchtigung der undichten oder in sonst einer Weise beschädigten Fensterelemente. Der Zustand der Bestandsfenster sollte zuvor durch einen Sachverständigen überprüft werden. Im Zuge dessen sollte eine Kostenabschätzung erfolgen.
2. Die Montage einer Innenwanddämmung spart zwar über 40 % des momentanen Heizenergieverbrauchs ein, bringt aber auch Probleme mit sich. Neben der Verringerung der Nutzfläche ist vor allem die mögliche Schädigung der Bausubstanz (vor allem die Tragbalken der Holzbalkendecke) ein Grund von dieser Maßnahme abzusehen. Falls doch gewünscht, sollte die Planung nicht ohne die vorherige Konsultierung eines Sachverständigen des Denkmalamts erfolgen.
3. Der Ersatz der Sandschüttung in der obersten Geschossdecke durch eine Schüttung aus Bläherlit sollte vorgenommen werden. Eine vorherige Abstimmung mit dem Denkmalamt ist auch hier sinnvoll.
4. Eine Dämmung der Decke des Ausstellungsraumes sollte in Verbindung mit einer Generalsanierung bzw. einer Umgestaltung des Raumes erfolgen. Die freiliegenden Rohrleitungen der Heizungsverteilung sollten dabei entfernt werden. Bei der Durchführung der Maßnahme können beispielsweise Deckenluftheritzer in die abgehängte Decke integriert werden, um bei Bedarf den Raum über die Heizungsanlage anstatt über eine mobile Gas-Gebläse-Heizung mit Wärme zu versorgen.

Bei der Durchführung von notwendigen baulichen Maßnahmen oder einer Generalsanierung sollte auf eine Verbesserung der wärmetechnischen Eigenschaften des jeweiligen Bauteils geachtet werden.

Weitere Vorgehensempfehlungen:

1. Der Wärmeerzeuger wurde bereits im Jahr 2010 erneuert. Schwachstelle der Heizungsanlage sind die ungedämmten Rohrleitungen. Generell ist die Heizungsverteilung nicht mehr zeitgemäß. Eine Erneuerung sollte aber nur im Zuge einer Generalsanierung erfolgen.
2. Eine Schulung und somit Sensibilisierung in Bezug auf energiesparende Gebäudenutzung (z.B. richtiges Lüften) der Mitarbeiter des Rathauses kann helfen den Energieverbrauch ohne großen Kostenaufwand zu verringern
3. Das Rathaus Forchheim weist rund 65 t/a CO<sub>2</sub> –Ausstoß für Heizzwecke und ca. 12 t/a CO<sub>2</sub> für den Stromverbrauch der Beleuchtung auf. Durch die Umrüstung auf LED kann dieser auf rund 3 t/a gesenkt werden. Da eine Umstellung auf Biomasse aus Platzgründen nicht möglich ist und sonstige energetische Maßnahmen nur im Zuge einer Generalsanierung sinnvoll sind, kann die Umstellung von Erdgas auf Biomethan und von konventionellem Strom auf Ökostrom den CO<sub>2</sub> –Ausstoß wesentlich reduzieren.
4. Die Umrüstung von Glühbirnen auf LED wird empfohlen, da hier in der Regel nur die Birnen getauscht werden müssen. Bei den Leuchtstoffröhren sollte vorher der tatsächlich entstehende Aufwand ermittelt werden. Voraussetzung für die Umrüstung auf LED ist in jedem Fall eine ausreichende Beleuchtungsstärke in den betreffenden Räumen. Eine detaillierte Lichtplanung wird deshalb empfohlen.

Allgemein ist festzuhalten, dass Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Anlagentechnik im Zuge einer Generalsanierung aufgrund der entstehenden Synergieeffekte den größten Kosten-Nutzen-Faktor aufweisen. Bei Durchführung einer Generalsanierung sollten die Heizungsverteilung und, je nach Bedarf, die Heizkörper erneuert werden. Die Installation eines Gebäudenetzwerks wäre, mit Hinblick auf eine bedarfsgerechte Beheizung der einzelnen Räume ebenfalls sinnvoll.

## 6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Grundriss (EG) des Rathauses Forchheim [Quelle: Universität Bamberg]..	4
Abbildung 2: Die Einteilung der Bauabschnitte des Rathauses Forchheim [Quelle: Universität Bamberg].....	5
Abbildung 3: Die Nordseite des Rathauses Forchheim.....	10
Abbildung 4: Die Aufteilung der Transmissionswärmeverluste.....	14
Abbildung 5: Die Einsparpotentiale der einzelnen Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf den Gesamtheizenergieverbrauch .....	18
Abbildung 6: Die Sensitivitätsanalyse für eine Dämmung der obersten Geschosdecke .....	21
Abbildung 7: Die Sensitivitätsanalyse für eine Innenwanddämmung .....	21
Abbildung 8: Die Reduzierung des CO <sub>2</sub> - Ausstoßes durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen .....	22
Abbildung 9: Interdisziplinäre Felder der Gebäudeautomation [Quelle: Hochschule Biberach] .....	23
Abbildung 10: Energieeinsparpotentiale in Prozent durch unterschiedliche Maßnahmen [Quelle: nach Ausführung von GIRA].....	24
Abbildung 11: Übersicht zur Einsparung der einzelnen Gewerke innerhalb der Gebäudeautomation [Quelle: GIRA].....	25
Abbildung 12: Zusammenspiel der einzelnen Funktionen in einem Raum [Quelle: Kieback&Peter] .....	28
Abbildung 13: Einsparpotential bei Leuchtstofflampen [Quelle: <a href="http://www.energiesparbasar.de">http://www.energiesparbasar.de</a> , 2009] .....	35
Abbildung 14: Die Einsparpotentiale durch die Umstellung der Beleuchtung auf LED .....	39

## 7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Hüllflächentabelle für das Rathaus Forchheim.....	12
Tabelle 2: Die U-Werte der sanierten Bauteile und die eintretende Heizenergieeinsparung .	17
Tabelle 3: Die statische Amortisationsdauer in Abhängigkeit von der Heizkosteneinsparung .....	19
Tabelle 4 Die Einsparung beim Tausch einer Wilo TOP-E 65/1-10 gegen eine Hocheffizienzpumpe.....	32
Tabelle 5: Nutzungsdauer und Anforderungen an die Beleuchtung nach DIN 18599.....	36
Tabelle 6: Die installierten Leuchtmittel und der Stromverbrauch im Ist-Zustand.....	36
Tabelle 7: Die installierten Leuchtmittel und der Stromverbrauch nach einer Umstellung auf LED.....	37
Tabelle 8: Detaillierte Auflistung der Leuchtmittel im Ist-Zustand und nach der Umrüstung auf LED.....	38

## Anhang: ermittelte Schichtaufbauten im Ist-Zustand

### Decke Ausstellungshalle (nicht abgehängt)



U-Wert = 0,86 W/m²K

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

A Gefachanteil 1 66,7%

- 1 Parkettboden Rathaussaal (inkl. Ausgleich)
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Sand, Kies, Splitt trocken (lose Schüttung, abgedeckt)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk

B Gefachanteil 2 33,3%

- 1 Parkettboden Rathaussaal (inkl. Ausgleich)
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 700 kg/m³)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk

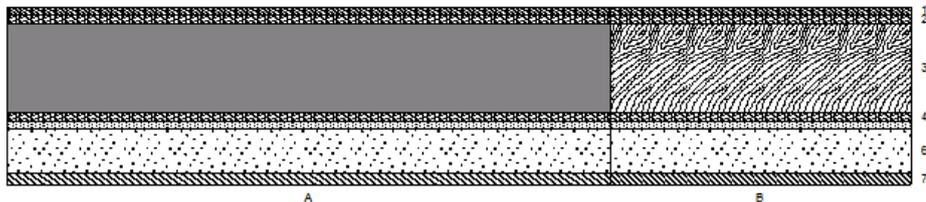
Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl $\lambda$ (W/mK)
-----------------------------	--

1,50	0,180
2,00	0,130
20,00	0,700
2,00	0,130
1,50	1,000

1,50	0,180
2,00	0,130
20,00	0,180
2,00	0,130
1,50	1,000

Gesamtdicke : 27,00 cm

### Decke Ausstellungshalle (abgehängt)



U-Wert = 0,67 W/m²K

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

A Gefachanteil 1 66,7%

- 1 Parkettboden Rathaussaal (inkl. Ausgleich)
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Sand, Kies, Splitt trocken (lose Schüttung, abgedeckt)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 6 ruhende Luftschicht (horizontal) bis 300mm Dicke
- 7 Gipskartonplatten (abgehängte Decke)

B Gefachanteil 2 33,3%

- 1 Parkettboden Rathaussaal (inkl. Ausgleich)
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 700 kg/m³)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 6 ruhende Luftschicht (horizontal) bis 300mm Dicke
- 7 Gipskartonplatten (abgehängte Decke)

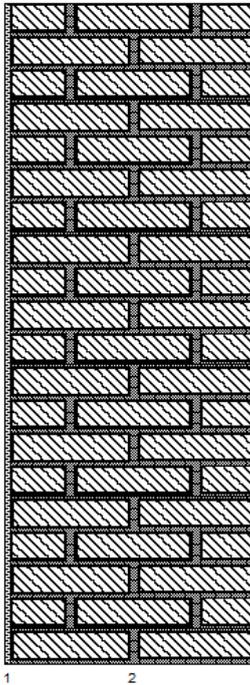
Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl $\lambda$ (W/mK)
-----------------------------	--

1,50	0,180
2,00	0,130
20,00	0,700
2,00	0,130
1,50	1,000
10,00	0,220
2,50	0,250

1,50	0,180
2,00	0,130
20,00	0,180
2,00	0,130
1,50	1,000
10,00	0,220
2,50	0,250

Gesamtdicke : 39,50 cm

## Außenwände EG Magistratsbau



U-Wert = 1,54 W/m<sup>2</sup>K

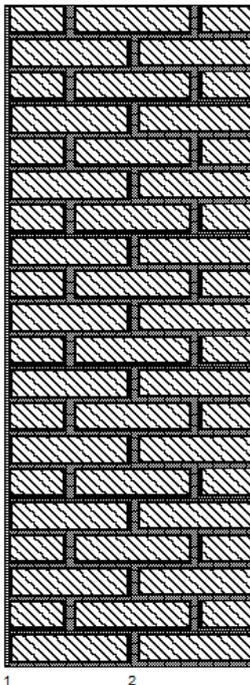
Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Sandsteinmauerwerk

Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl $\lambda$ (W/mK)
1,50	1,000
65,00	1,400

Gesamtdicke : 66,50 cm

## Außenwände EG bis 1.OG Nordflügel



U-Wert = 1,21 W/m<sup>2</sup>K

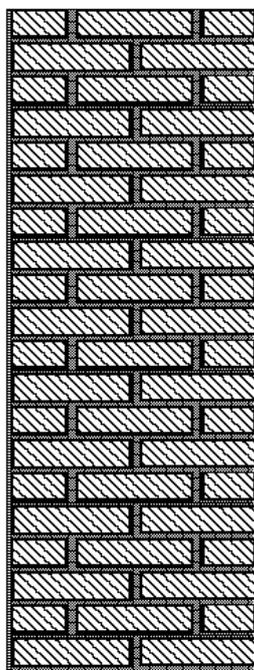
Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Sandsteinmauerwerk

Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl $\lambda$ (W/mK)
1,50	1,000
90,00	1,400

Gesamtdicke : 91,50 cm

## Außenwand EG Westseite Nordflügel (zu unbeheizt)



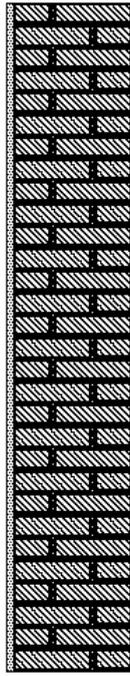
U-Wert = 1,09 W/m<sup>2</sup>K

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Sandsteinmauerwerk

Schicht-	Wärme-
dicke	leit-
s (cm)	zahl
	$\lambda$ (W/mK)
1,50	1,000
90,00	1,400
Gesamtdicke : 91,50 cm	

## Außenwand EG Zwischenbau (Nord)



1 2

U-Wert = 2,60 W/m²K

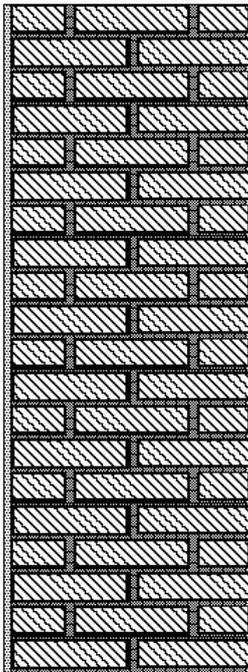
Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Sandsteinmauerwerk

Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl $\lambda$ (W/mK)
1,50	1,000
28,00	1,400

Gesamtdicke : 29,50 cm

## Außenwand EG Zwischenbau (Süd)



1 2

U-Wert = 1,69 W/m²K

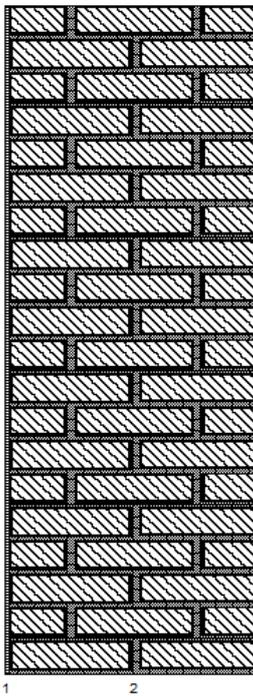
Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Sandsteinmauerwerk

Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl $\lambda$ (W/mK)
1,50	1,000
57,00	1,400

Gesamtdicke : 58,50 cm

## Außenwände EG Registratur



U-Wert = 1,11 W/m²K

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Sandsteinmauerwerk

Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ (W/mK)
1,50	1,000
100,00	1,400
Gesamtdicke : 101,50 cm	

## Oberste Geschossdecke



U-Wert = 1,06 W/m²K

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

A Gefachanteil 1 33,3%

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 700 kg/m³)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)

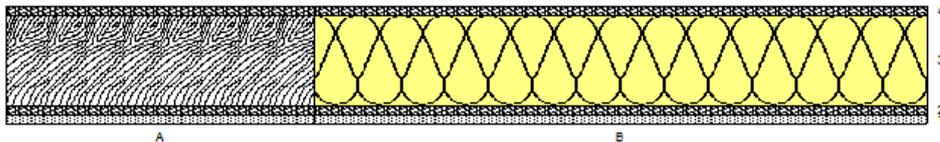
B Gefachanteil 2 66,7%

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Sand, Kies, Splitt trocken (lose Schüttung, abgedeckt)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)

Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ (W/mK)
2,00	1,000
2,00	0,130
20,00	0,180
2,00	0,130
Gesamtdicke : 26,00 cm	

## Ermittelte Schichtaufbauten im sanierten Zustand:

### Oberste Geschossdecke (Schüttung Bläperlit)



**U-Wert = 0,39 W/m²K**

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

A Gefachenteil 1 33,3%

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 700 kg/m³)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)

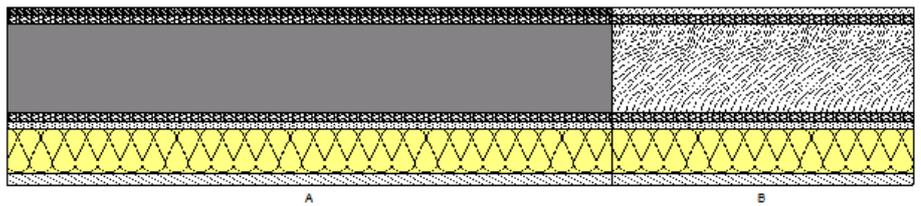
B Gefachenteil 2 66,7%

- 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Bläperlit (lose Schüttung, abgedeckt)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)

Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl $\lambda$ (W/mK)
2,00	1,000
2,00	0,130
20,00	0,180
2,00	0,130
2,00	1,000
2,00	0,130
20,00	0,060
2,00	0,130

Gesamtdicke : 26,00 cm

### Decke Ausstellungshalle



**U-Wert = 0,24 W/m²K**

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

A Gefachanteil 1 66,7%

- 1 Parkettboden Rathaussaal (inkl. Ausgleich)
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Sand, Kies, Splitt trocken (lose Schüttung, abgedeckt)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 6 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 035)
- 7 Gipskartonplatten (abgehängte Decke)

B Gefachanteil 2 33,3%

- 1 Parkettboden Rathaussaal (inkl. Ausgleich)
- 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 3 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 700 kg/m³)
- 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)
- 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 6 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 035)
- 7 Gipskartonplatten (abgehängte Decke)

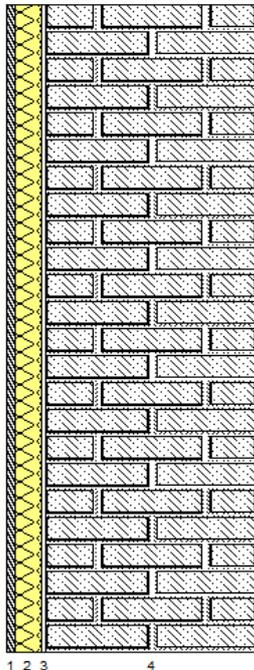
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)
---------------------	-----------------------------

1,50	0,180
2,00	0,130
20,00	0,700
2,00	0,130
1,50	1,000
10,00	0,035
2,50	0,250

1,50	0,180
2,00	0,130
20,00	0,180
2,00	0,130
1,50	1,000
10,00	0,035
2,50	0,250

Gesamtdicke : 39,50 cm

### Außenwände EG Magistratsbau



**U-Wert = 0,33 W/m²K**

Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen

- 1 Gipskartonplatten
- 2 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 035)
- 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk
- 4 Sandsteinmauerwerk

Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)
---------------------	-----------------------------

2,50	0,250
8,00	0,035
1,50	1,000
65,00	1,400

Gesamtdicke : 77,00 cm

Bei den anderen Außenwänden ändert sich lediglich die Dicke des Sandsteinmauerwerks. Auf eine gesonderte Darstellung der einzelnen Schichtaufbauten wird deshalb verzichtet.