Energiekonzept

für den Markt Feucht

Jahr 2021

Energiekonzept für den Markt Feucht

Auftraggeber:

Markt Feucht

Hauptstraße 33

90537 Feucht

Auftragnehmer

Institut für Energietechnik IfE GmbH

an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Kaiser-Wilhelm-Ring 23a

92224 Amberg

Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Bearbeitungszeitraum:

Oktober 2019 bis Februar 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 3

1 Einleitung 5

2 Maßnahmen zur Effizienzsteigerung auf der Kläranlage 6

2.1 Energetischer Ist-Zustand 6

2.2 Optimierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung 10

2.2.1 PV-Anlagen zur Eigenstromversorgung 11

2.2.1.1 BHKW Vorrang (aktuelles Regelungsschema) 11

2.2.1.2 Angepasste BHKW-Regelung 13

2.2.2 Wirkungsgradmessung BHKW 15

2.3 Zusammenfassung 16

3 Energetische Sanierung / Erweiterung des kommunalen Wohngebäudes Paul-Morath-Haus 18

3.1 Der künftige Wärmebedarf 18

3.2 Die künftige Energieversorgung 22

3.2.1 Die Energieversorgungsvarianten 22

3.2.1.1 Die Variante 1.0: Moderne Erdgasfeuerung mit Solarthermie (Referenz) 23

3.2.1.2 Die Variante 1.1: Pelletkessel 24

3.2.1.3 Die Variante 1.2: Erdsonden-Wärmepumpe 26

3.2.1.4 Die Variante 1.3: Luft-/Wasser-Wärmepumpe 27

3.2.1.5 Die Variante 1.4: Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gaskessel 28

3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 29

3.3.1 Die Grundannahmen 29

3.3.2 Allgemeine Fördermöglichkeiten 31

3.3.2.1 Marktanreizprogramm 2020 31

3.3.2.2 Zusammenfassung Förderungen 33

3.3.3 Die Investitionskosten der Varianten 33

3.3.4 Die jährlichen Einnahmen und Ausgaben 35

3.3.5 Die Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten 36

3.3.6 Die CO_2-Bilanz 37

3.4 Zusammenfassung 40

4 Energiemanagement für kommunale Liegenschaften 42

4.1 Zielsetzung 42

4.2 Energetischer Ist-Zustand 43
4.2.1 Allgemeine Beschreibung....43
4.2.2 Energetische Infrastruktur und TGA 46
4.2.3 Energieverbräuche und Kosten....53
4.2.4 CO_2-Bilanz 57
4.3 Schwachstellenanalyse/ Einsparmaßnahmen 58
4.3.1 Schwachstellenanalyse....58
4.3.2 Maßnahmen im Bereich Beleuchtung....59
4.3.3 Maßnahmen im Bereich Heizung 62
4.3.4 Zusammenfassung....64
4.4 Messtechnikkonzept 65
4.4.1 Übersicht Messgeräte 65
4.4.2 Zählertopologien 71
4.5 Beschreibung des Soll-Zustands der Messtechnik....72
4.5.1 Auswahl relevanter Messgeräte 72
4.5.2 Nötige Maßnahmen für automatisierte Verbrauchserfassung....73
4.5.3 Anpassungen und sinnvolle Erweiterungsmöglichkeiten der Messgeräteinfrastruktur....75
4.6 Zusammenfassung 76
5 Anhang 77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spezifischer Stromverbrauch 7
Abbildung 2: Spezifischer Gesamtstrombedarf nach (1) 8
Abbildung 3: Spezifischer Stromverbrauch zur Belüftung nach (1) 9
Abbildung 4: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie 10
Abbildung 5: Luftbild KA Feucht 11
Abbildung 6: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei bestehender BHKW-Regelung 12
Abbildung 7: Kumulierter Ertrag der PV-Anlage bei gleichbleibender BHWK-Regelung..... 13
Abbildung 8: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei angepasster BHKW-Regelung 14
Abbildung 9: Kumulierter Ertrag der PV-Anlage bei angepasster BHWK-Regelung..... 15
Abbildung 10: Vergleich der Herstellerangaben zur Messung..... 16
Abbildung 11: Die West-Ansicht 19
Abbildung 12: Die Ost-Ansicht..... 19
Abbildung 13: Die Transmissionswärmeverluste nach der Sanierung..... 20
Abbildung 14: Die monatlichen Gewinne und Verluste des sanierten Gebäudes 21
Abbildung 15: Die geordnete thermische Jahresdauerlinie für das sanierte Gebäude 22
Abbildung 16: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.0 (Erdgaskessel mit Solarthermie – Referenz)..... 23
Abbildung 17: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.1 (Pelletkessel)..... 24
Abbildung 18: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.2 (Sonden-Wärmepumpe) .. 26
Abbildung 19: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.3 (Luft-/Wasser-Wärmepumpe)..... 27
Abbildung 20: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.4 (Pelletkessel)..... 28
Abbildung 21: Förderübersicht BAFA Marktanreizprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien 2020“ [Quelle: BAFA]..... 32
Abbildung 22: Die Investitionskostenprognose der einzelnen Varianten 34
Abbildung 23: Die mittleren jährlichen Ausgaben der Varianten über den Betrachtungs-zeitraum..... 35
Abbildung 24: Die Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der einzelnen Varianten.. 36
Abbildung 25: Ökostrom-Zertifikat der Feuchter Gemeindewerke GmbH..... 38
Abbildung 26: Die CO_2-Bilanz der Energieversorgungsvarianten..... 39
Abbildung 27: Rathaus Feucht 43
Abbildung 28: Eingangsbereich Reichswaldhalle..... 44

Abbildung 29: Luftbild Grund- und Mittelschule Feucht (Satellitenbild Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de) 45
Abbildung 30: Schematische Darstellung der Heizungsverteilung 46
Abbildung 31: Lüftungsschema Sitzungssaal Rathaus 47
Abbildung 32: Fernwärmeanschluss Rathaus 47
Abbildung 33: Heizungsschema Reichswaldhalle 48
Abbildung 34: Erdgaskessel Reichswaldhalle 49
Abbildung 35: RLT-Anlage Foyer 49
Abbildung 36: Heizhauptverteiler Grundschule UG 51
Abbildung 37: Heizunterverteiler Grundschule EG 51
Abbildung 38: Heizunterverteiler Hauptschule EG 52
Abbildung 39: Fernwärmeübergabestation Grund- und Mittelschule 52
Abbildung 40: Aufteilung Stromverbrauch 2019 [kWh/a] 54
Abbildung 41: Aufteilung Nutzwärmeverbrauch 2019 [kWh/a] 54
Abbildung 42: Aufteilung Wasserverbrauch 2019 [m³/a] 54
Abbildung 43: Spezifischer Heizwärmeverbrauch 56
Abbildung 44: Spezifischer Stromverbrauch 56
Abbildung 45: Aufteilung CO_2-Emissionen 58
Abbildung 46: Lichtausbeute verschiedener Leuchtmittel [Quelle: https://licht.de] 59
Abbildung 47: Simulation Klassenzimmer 61
Abbildung 48: Verteilung Beleuchtungsstärke in Lux Simulation Klassenzimmer 62
Abbildung 49: Standort Zähler Untergeschoss Rathaus 65
Abbildung 50: Standort Zähler Untergeschoss Reichswaldhalle 66
Abbildung 51: Standort Zähler Grundschule Erdgeschoss 68
Abbildung 52: Standort Zähler Grundschule Untergeschoss 68
Abbildung 53: Standort Zähler Mittelschule Untergeschoss 69
Abbildung 54: Prinzipschema Automatische Datenerfassung 74

1 Einleitung

Im Rahmen dieses Energiekonzepts sollen die nachfolgenden Projekte umfassend auf technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit hin geprüft werden. Dies soll durch technische und wirtschaftliche Detailberechnungen mit Fördermittelprüfung sowie konkreter Gespräche mit allen verantwortlichen Akteuren erfolgen.

- Prüfung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung auf der Kläranlage
- Energetisches Sanierungskonzept für das kommunale Wohngebäude Heinrich-Schoberth-Weg 3
- Energiemanagement für kommunale Liegenschaften

2 Maßnahmen zur Effizienzsteigerung auf der Kläranlage

Der Markt Feucht betreibt zur Abwasserreinigung eine Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 28.000 EW. Im Rahmen des Konzepts wird die Kläranlage Feucht auf sinnvolle Einsparpotentiale und Optimierungsmaßnahmen hin untersucht.

Es sollen geeignete Maßnahmen aufgezeigt werden, welche zur Senkung des Energiebedarfs, verbunden mit CO_2-Einsparung, geeignet sind. Anhand von vorläufigen Kostenannahmen soll abgeschätzt werden, ob es sich bei den Maßnahmen um - im betriebswirtschaftlichen Sinn - rentable Maßnahmen handelt.

Der Schwerpunkt dieses Projekts soll unter anderem auf die Einordnung des energetischen Ist-Zustandes gelegt werden. Grundlage hierfür bildet eine Datenanalyse sowie die Ergebnisse der Vor-Ort-Besichtigung der Anlage. Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse und der definierten Systemgrenze der Kläranlage wird eine Energiebilanz zur Einordnung gegenüber anderen Kläranlagen erstellt. Aufbauend darauf werden im Anschluss Maßnahmen zur Optimierung des Energiebedarfs und zur CO_2-Einsparung definiert und bewertet.

2.1 Energetischer Ist-Zustand

Die Datengrundlage zur Bewertung des energetischen Ist-Zustandes basiert auf verschiedenen Informationsquellen. Hierzu zählen Jahresberichte, Monatsberichte und Energieabrechnungen. Der Gesamtstrombedarf der Kläranlage Feucht lag im Jahr 2018 bei ca. 477.000 kWh und im Jahr 2019 bei 487.500 kWh. Mit diesen Absolutwerten kann keine Einordnung hinsichtlich der Energieeffizienz der Anlage erstellt werden. Hierfür müssen spezifische Kennwerte gebildet werden, welche einen transparenten Vergleich zu unterschiedlichen Jahren und zu anderen Kläranlagen liefern. Diese Berechnung definiert der sogenannte Energiecheck.

Aus den Diagrammen des Energiechecks sollen augenscheinliche Defizite herausgestellt werden. Daraus lassen sich Potentiale für eine detaillierte, weiterführende energetische Bewertung in Form der Energieanalyse ableiten. Die Grundlagen zur Bewertung der Kläranlage Feucht liefert das DWA-Arbeitsblatt A-216 (1).

Der Quotient aus dem jährlichen Gesamtstrombedarf zur tatsächlichen Belastung der Kläranlage berechnet den spezifischen Strombedarf der Kläranlage. Die Belastung der Kläranlage wird in Einwohnerwerten (EW) angegeben und beschreibt, wie viele Einwohner den Zulauffrachten des Abwassers entsprechen. Der spezifische Strombedarf wird in nachfolgendem Diagramm zusammengefasst.

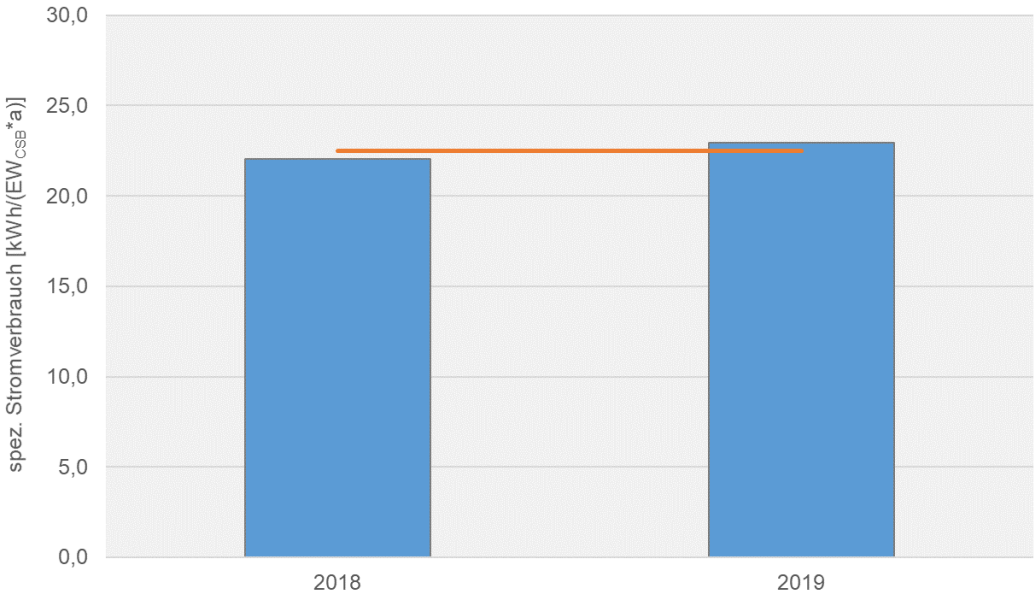


Abbildung 1: Spezifischer Stromverbrauch

Die waagrechte Linie kennzeichnet den Zielwert, welcher für Anlagen dieser Größenklasse erreicht werden soll. Die Grafik zeigt, dass die Kläranlage Feucht bereits in der Lage ist, diesen Zielwert zu erreichen. Dennoch können durch weitere Analysen des Energiebedarfs Einsparpotentiale und Maßnahmen ausgearbeitet werden.

Referenzjahr für die weitere Bewertung ist das Jahr 2019, hier liegt ein Gesamtenergiebedarf von etwa 487.500 kWh vor. Der spezifische Energiebedarf beträgt 22,99 kWh/(EW_{CSB}*a). Verglichen zu anderen Kläranlagen ähnlicher Größe und Reinigungsart zeichnet sich folgendes Bild ab.

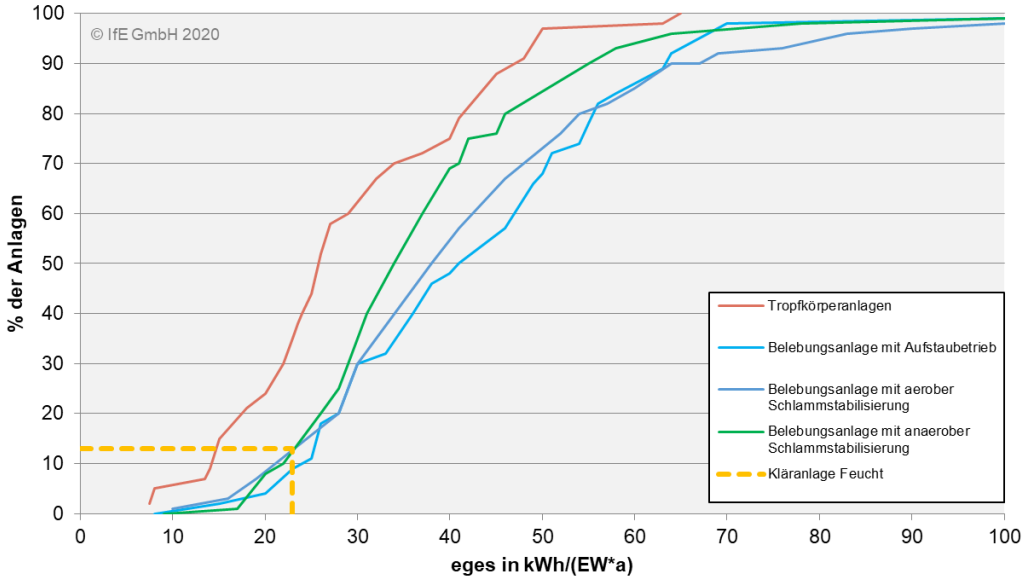


Abbildung 2: Spezifischer Gesamtstrombedarf nach (1)

Demzufolge können etwa 13 % der vergleichbaren Kläranlagen einen besseren spezifischen Gesamtstromverbrauch vorweisen als die Kläranlage Feucht. Maßnahmen zur Verbesserung des Energiebedarfs können anhand dieser Einordnung nicht erörtert werden. Hierzu ist eine weiterführende Energieanalyse einzelner Verbraucher notwendig.

Ergänzend zum Gesamtstromverbrauch können noch weitere spezifische Kennwerte gebildet und verglichen werden. Im Rahmen dieses Konzeptes wird der spezifische Stromverbrauch zur Belüftung sowie der Grad der Eigenstromversorgung berechnet und evaluiert.

Im Jahr 2019 wurden rund 191.200 kWh zur Belüftung eingesetzt. Die Einordnung dieses Strombedarfs zeigt Abbildung 3.

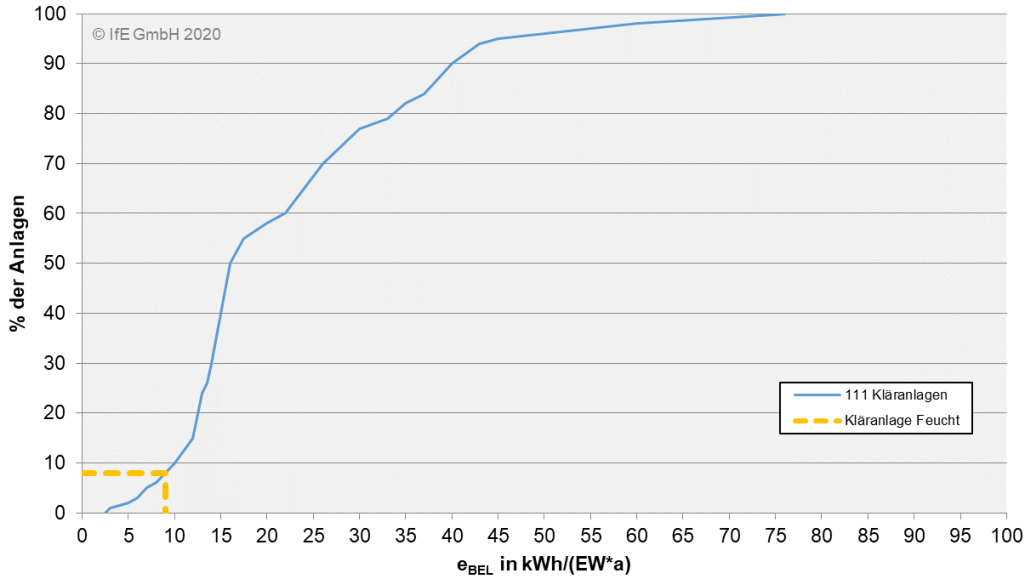


Abbildung 3: Spezifischer Stromverbrauch zur Belüftung nach (1)

Im Vergleich zu anderen Kläranlagen können lediglich 8 % einen effizienteren Betrieb des Belüftungssystems vorweisen. Demzufolge ist das Einsparpotential in diesem Verfahrensabschnitt als gering einzustufen.

Ein zentrales Element zur Abwasserreinigung und zur Energieerzeugung ist die Klärschlammfaulung. Das darin gewonnene Klärgas wird mittels Kraft-Wärme-Kopplung zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Zusammen mit anderen Energieerzeugern, z.B. PV-Anlagen, kann ein hoher Anteil der Energie am Standort der Kläranlage erzeugt und genutzt werden.

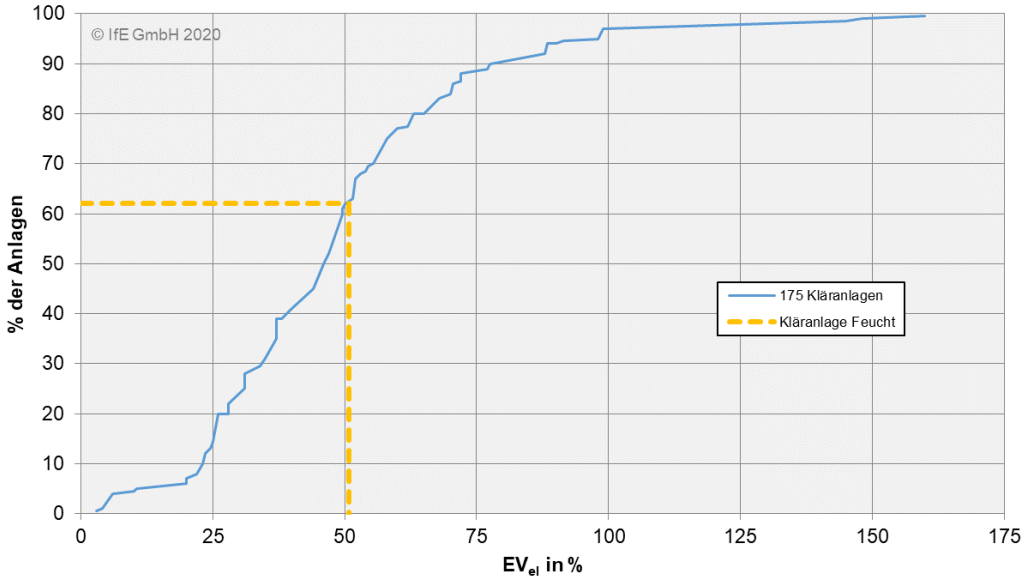


Abbildung 4: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie

Der Eigenversorgungsgrad der Kläranlage Feucht liegt bei knapp 51 % und zeigt, dass knapp 2/3 vergleichbarer Anlagen einen geringeren Anteil an Eigenstrom nutzen. Dennoch sollte der Eigenversorgungsgrad durch Erneuerbare Energien am Standort ausgebaut bzw. hinsichtlich der Effizienz weiter verbessert werden. Auf einigen Dachflächen der Betriebsgebäude sind bereits PV-Anlagen installiert, diese dienen allerdings der Einspeisung und sind verpachtet. Daher sollte der Ausbau von PV-Anlagen zur optimierten Eigenstromnutzung geprüft werden.

2.2 Optimierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung

Der Energiecheck aus Kapitel 2.1 zeigt, dass die Kläranlage Feucht gegenüber vergleichbaren Kläranlagen eine sehr gute Gesamtenergieeffizienz vorweisen kann. Diese wird durch das Erreichen des spez. Zielwertes von 23 kWh/(EW*a) im Ist-Zustand bestätigt. Aus den Erkenntnissen des Energiechecks können keine signifikanten Verbesserungsmaßnahmen erstellt werden. Hierfür ist eine detaillierte Betrachtung der Verbraucher nach dem Vorbild einer Energieanalyse notwendig. Trotz des guten spez. Verbrauchswertes können Einsparpotentiale gegeben sein und sollten daher genutzt werden.

Der Grad der Eigenstromversorgung liegt bei 51 %, der Zielwert ist bei 70 % angesetzt. Zur Steigerung der Eigenversorgung sollten auf vorhandenen Dachflächen PV-Anlagen installiert werden. Die Potentiale eines Ausbaus von PV-Strom werden in den nachfolgenden Kapiteln erörtert. Zudem wird eine Wirkungsgradmessung des bestehenden Klärgas-BHKW durchgeführt, wodurch Verbesserungspotentiale identifiziert werden sollen.

2.2.1 PV-Anlagen zur Eigenstromversorgung

Am Standort könnten mehrere Dächer für PV-Strom genutzt werden, diese sind in nachfolgender Abbildung gekennzeichnet.

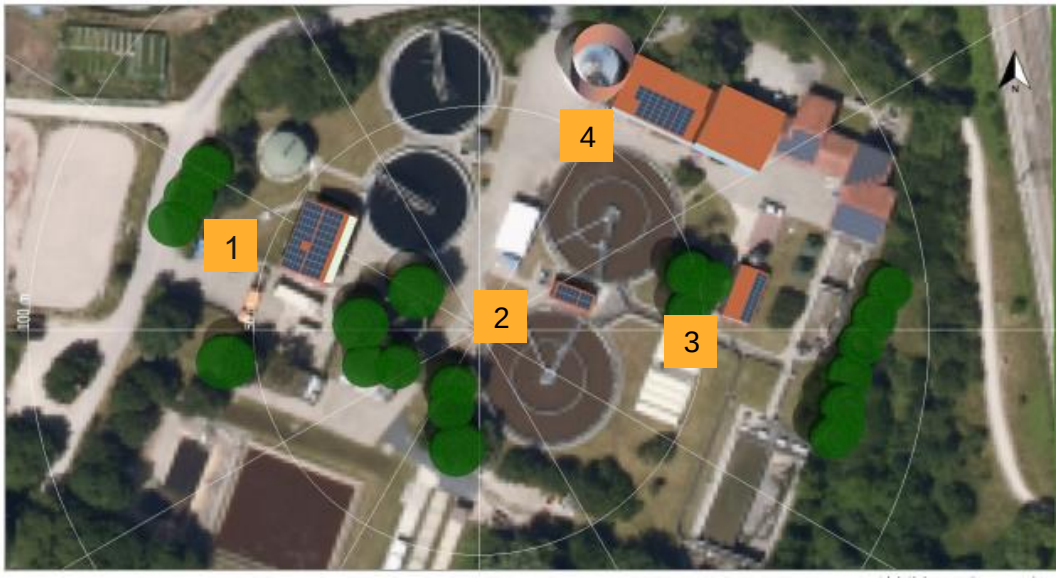


Abbildung 5: Luftbild KA Feucht

Bei diesen Gebäuden handelt es sich um Gebläsestation (1), Rücklaufschlammhebewerk (2), Fällmittelstation (3) und Betriebsgebäude (4). Durch maximale Belegung der vorhandenen Flächen, unter Berücksichtigung von Verschattungsverlusten, kann eine PV-Leistung von 51 kWp installiert werden, welche jährlich etwa 48.000 kWh an Strom generiert. Ziel des Betriebs einer PV-Anlage sollte sein, möglichst viel Strom am Standort zu nutzen. Der Hauptgrund hierfür liegt in einer sinkenden Einspeisevergütung für überschüssigen Strom. Die Eigenstromnutzung hängt maßgeblich davon ab, ob die Regelung der BHKW-Stromerzeugung angepasst werden kann, sodass Strom aus PV vorrangig genutzt werden kann oder der aktuelle Regelungsstand beibehalten werden soll. Daher wird in zwei Varianten unterschieden.

2.2.1.1 BHKW Vorrang (aktuelles Regelungsschema)

Die Regelung des BHKW bleibt in dieser Variante unberührt. Strom aus PV-Anlagen wird am Standort genutzt, wenn mehr Energie benötigt wird, als durch BHKW-Strom gedeckt werden kann. Überschüssige Energie aus PV wird in das Stromnetz eingespeist. Zur Berechnung der Eigenstromnutzung wird auf den Bezugslastgang und den Erzeugungslastgang der BHKW zurückgegriffen. Nachfolgende Abbildung stellt die durchschnittliche Zusammensetzung des täglichen Energiebedarfs über das gesamte Jahr dar.

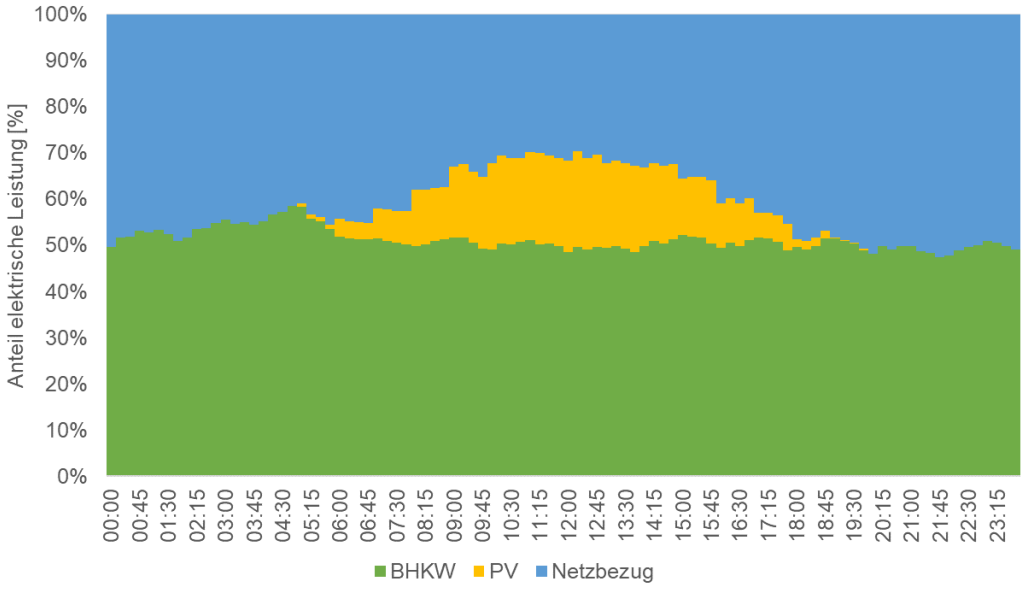


Abbildung 6: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei bestehender BHKW-Regelung

Von der zuvor beschriebenen PV-Anlage mit 51 kWp kann etwa 75 % des erzeugten Stroms in der Kläranlage genutzt werden. Dies entspricht 36.000 kWh und einer jährlichen CO_2 - Einsparung von etwa 20[1] Tonnen. Die Darstellung zeigt, dass BHKW-Strom unabhängig von PV-Strom erzeugt wird.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden folgende Rahmenbedingungen angesetzt:

- Alle Kosten in Netto
- Spez. Investitionskosten 1.100 €/kWp
- Sonstiges (elektrische Anbindung, Zusammenschluss, Messeinrichtung) 10.000 €
- Betriebsgebundene Kosten 581 €/a
- Versicherung 233 €/a
- EEG-Umlage 6,76 ct/kWh
- Strombezug (ohne fixe Netznutzungsentgelte) 18,62 ct/kWh
- Einspeisevergütung (Mischkalkulation) 8,06 ct/kWh

[1] CO_2-Äquivalente nach GEMIS 4.95 und Berechnungen IfE

Der Betrachtungszeitraum umfasst 20 Jahre. Die Gesamtinvestitionskosten der Anlage werden nach der Annuitätenmethode in jährliche, kapitalgebundene Kosten umgerechnet. Es wird angenommen, dass die Anlage nicht fremdfinanziert wird. Aus den genannten Rahmenbedingungen wird das kumulierte Jahresergebnis dargestellt.

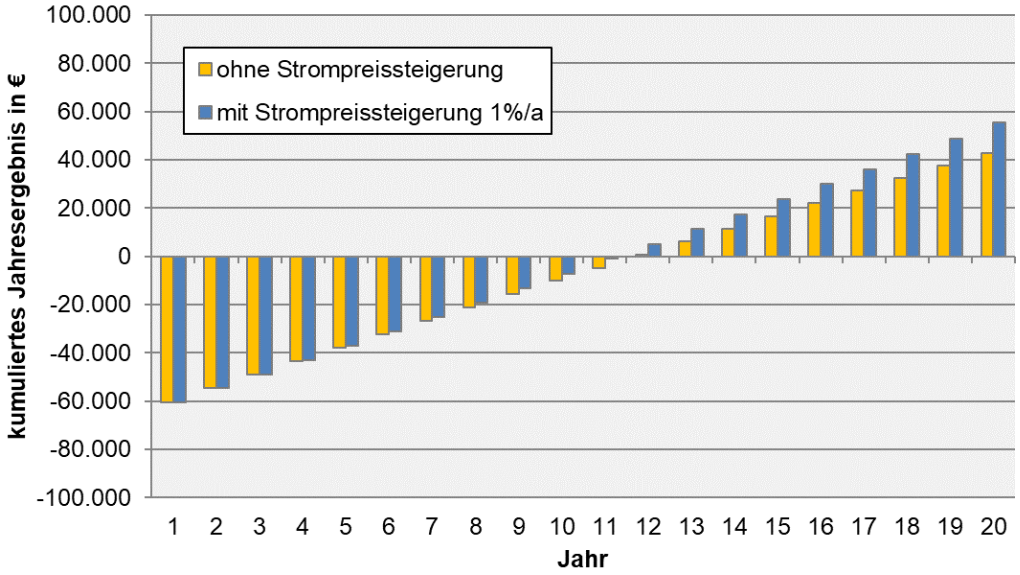


Abbildung 7: Kumulierter Ertrag der PV-Anlage bei gleichbleibender BHWK-Regelung

Das Diagramm zeigt, dass die Anlage nach einem Zeitraum von ca. 12 Jahren amortisiert ist. Der Gesamtertrag der Anlage (ohne Strompreissteigerung) beträgt nach 20 Jahren knapp 42.700 €.

2.2.1.2 Angepasste BHKW-Regelung

Durch ein aufeinander abgestimmtes Regelungskonzept von BHKW und PV-Anlage kann die Stromeigennutzung aus PV maximiert werden. Das BHKW wird in diesem Fall zweitrangig betrachtet, d.h. ist die Energie aus PV ausreichend, wird das BHKW im Teillastbetrieb gefahren oder abgeschaltet. In diesem Zeitraum wird der Gasspeicher so weit genutzt, bis er vollständig gefüllt ist. Ab diesem Zeitpunkt sollte das BHKW wieder starten, überschüssiger Strom (PV) wird eingespeist.

Durch diese Regelung könnten theoretisch bis zu 100 % des PV-Stroms genutzt werden, bei nahezu gleichbleibender Stromerzeugung bzw. -eigennutzung durch BHKW, dargestellt in Abbildung 8. Durch die zusätzliche regenerative Energie aus PV können etwa 26.7[2] Tonnen CO_2 pro Jahr kompensiert werden.

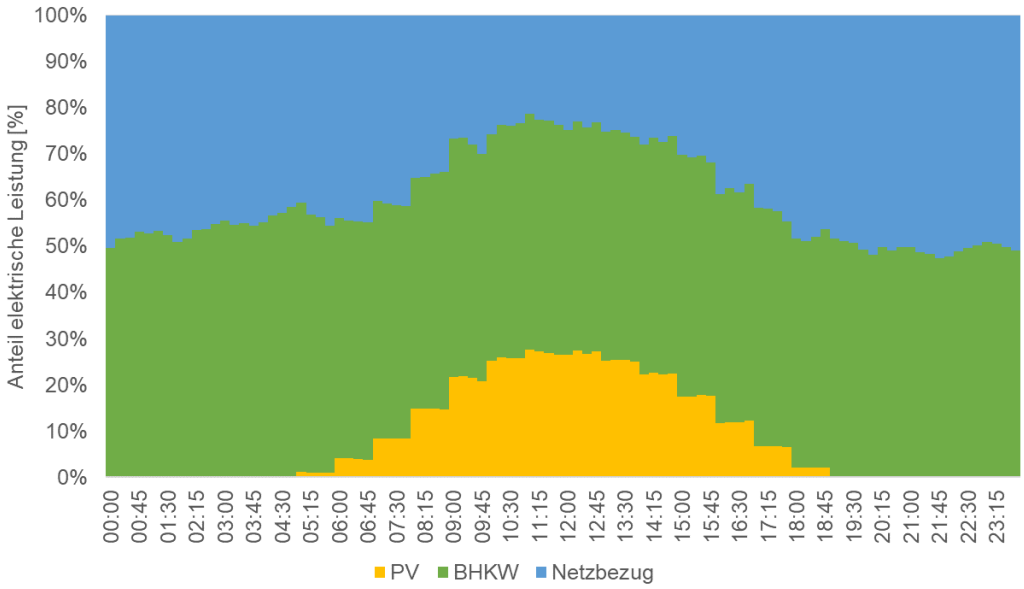


Abbildung 8: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei angepasster BHKW-Regelung

Die angepasste Regelung verbessert die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage deutlich, wie nachfolgendes Diagramm zusammenfasst.

[2] CO_2-Äquivalente nach GEMIS 4.95 und Berechnungen IfE

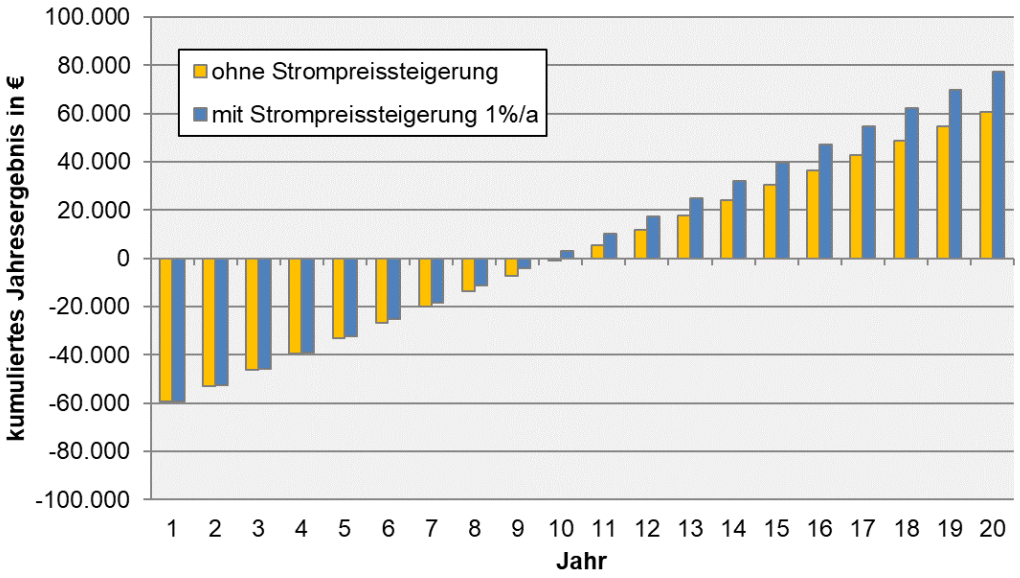


Abbildung 9: Kumulierter Ertrag der PV-Anlage bei angepasster BHWK-Regelung

Der Gesamtertrag der PV-Anlage kann auf ca. 60.700 € über den Zeitraum von 20 Jahren gesteigert werden. Die Amortisation reduziert sich auf knapp 11 Jahre.

Mit Hilfe der PV-Anlage kann, abhängig von der Regelung des BHKW, ein Eigenversorgungsgrad von 58 – 61 % erreicht werden. Zusätzliche Flächen zur PV-Stromnutzung könnten diese Quote noch weiter verbessern.

2.2.2 Wirkungsgradmessung BHKW

Für das Klärgas-BHKW (Smartblock 33) soll eine Wirkungsgradmessung durchgeführt werden. Hierfür werden drei Messungen für je 30 Minuten durchgeführt. Dabei wurde jeweils die eingesetzte Brennstoffmenge, der erzeugte Strom und die ausgekoppelte Wärmemenge der KWK-Anlage gemessen. Bei den Ergebnissen der Wirkungsgradmessung handelt es sich um Mittelwerte aus den drei erfolgten Messungen.

Tabelle 1: Ergebnisse Wirkungsgradmessung

	Soll-Wert	Ist-Wert
Elektrische Leistung [kW]	31	30,4
Thermische Leistung [kW]		64
Ist-Feuerungswärmeleistung [kW]		100,9

Die elektrische Leistung beträgt nach händischer Vorgabe 31 kW. Aus den gewonnenen Daten berechnet sich ein Gesamtwirkungsgrad von 93,5 %. Der thermische Wirkungsgrad beträgt 63,4 %, der elektrische liegt bei 30,1 %. Verglichen zu den Herstellerangaben ergibt sich folgendes Bild.

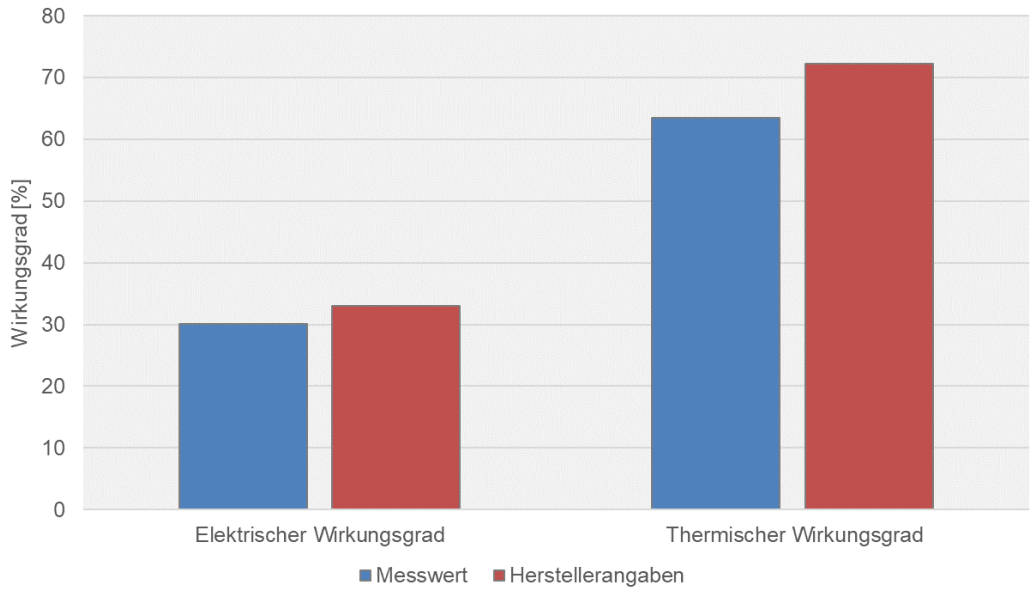


Abbildung 10: Vergleich der Herstellerangaben zur Messung

Unter Berücksichtigung der geleisteten Betriebsstunden des KWK-Systems von 26.000 h ist diese Anlage, verglichen zu den Herstellerangaben einer Neuanlage, als gut zu bewerten. Verbesserungspotential zur Steigerung der Energieeffizienz ist nicht vorhanden.

2.3 Zusammenfassung

Der Energiecheck zur Positionsbestimmung der Energieeffizienz der Kläranlage Feucht hat gezeigt, dass diese bereits im Ist-Zustand sehr gute Werte gegenüber vergleichbaren Anlagen vorweisen kann. Basierend auf dieser Erkenntnis konnten keine signifikanten Mängel in der Anlagentechnik festgestellt werden. Es wird empfohlen, eine weiterführende, detaillierte Energieanalyse der Kläranlage auszuarbeiten, anhand derer Verbesserungsmaßnahmen erörtert und bewertet werden können.

Eine Maßnahme zur Steigerung der Eigenstromnutzung und damit einhergehenden Reduktion von CO_2-Emissionen bildet der Ausbau von PV-Anlagen am Standort der Kläranlage. Bislang vorhandene Erzeugungsanlagen sind verpachtet und können nicht zur Deckung des Strombedarfs genutzt werden. Zum Ende der Vertragslaufzeit sollte geprüft werden, ob der Markt Feucht diese Anlagen zur Eigennutzung übernimmt. Dies ist derzeit noch nicht der Fall, weshalb eine PV-Simulation durchgeführt wurde, welche freie Dachflächen zur PV-Stromerzeugung nutzt.

Theoretisch kann eine Gesamtleistung von ca. 51 kWp installiert werden. In Abhängigkeit zur Regelungsstrategie vorhandener BHKW-Systeme können zwischen 36.000 – 48.000 kWh an Strom zusätzlich direkt in der Kläranlage genutzt werden, die Amortisationszeit beträgt 9 bis 11 Jahre. Aus ökologischer Sicht kann mit einer CO_2-Ersparnis von 26,7[3] Tonnen pro Jahr gerechnet werden.

Durch Überprüfung der Wirkungsgrade des BHKW zur Klärgasverwertung konnte festgestellt werden, dass dieses, verglichen mit den Daten einer Neuanlage, als gut zu bewerten ist.

[3] CO_2-Äquivalente nach GEMIS 4.95 und Berechnungen IfE

3 Energetische Sanierung / Erweiterung des kommunalen Wohngebäudes Paul-Morath-Haus

Der Markt Feucht plant die Erweiterung (Dachausbau) und Sanierung des bestehenden Paul-Morath-Hauses. Das Gebäude wurde Ende der 70er Jahre errichtet und bisher keiner größeren Sanierung unterzogen. Im Rahmen des Konzeptes soll aus der bauphysikalischen Optimierung der Gebäudehülle der künftige Wärmebedarf ermittelt werden. Darauf basierend können unterschiedliche Energieversorgungskonzepte dimensioniert und einer Vollkostenrechnung und Fördermittelprüfung unterzogen werden. Im Gesamtergebnis steht der wirtschaftlich optimale Weg mit Kombination aus Wärmedämmung der Hülle, Lüftungskonzept, Eigenstromnutzung und Wärmeversorgung. Dabeistehen nicht nur die Erstinvestitionskosten, sondern vielmehr die Vollkosten für den Nutzer im Fokus.

3.1 Der künftige Wärmebedarf

Nach derzeitigem Planungsstand soll das Dachgeschoss des Gebäudes zu weiteren Wohnungen ausgebaut werden. Das restliche Bestandsgebäude soll mit einem Wärmedämmverbundsystem ausgestattet werden.

Der Wärmebedarf wird anhand einer Wärmebedarfsberechnung ermittelt. Hierbei wird zunächst die thermische Gebäudehülle erfasst und die Wärmeverluste über die Gebäudehülle ermittelt. In Abbildung 11 und Abbildung 12 sind 3D-Modelle dargestellt.

Abbildung 11: Die West-Ansicht

Abbildung 12: Die Ost-Ansicht

Die nachfolgende Tabelle zeigt die U-Werte des Gebäudes mit den bereits geplanten Sanierungsmaßnahmen.

Tabelle 2: Die U-Wert-Tabelle nach Sanierung

Bezeichnung Bauteil	Fläche	U-Wert Ist-Zustand	Anteil am Transissions-wärmeverlust
oberste Geschossdecke	314	0,21	8%
oberste Geschossdecke - Gauben	41	0,27	1%
Schrägdach	155	0,15	4%
Flachdach TRH	25	0,15	1%
Wände Dachgauben	59	0,38	4%
Außenwände 16cm WDVS	951	0,18	27%
Decke gegen Außenluft unten	34	0,24	1%
Kellerdecke	443	0,26	15%
Außenfenster/Dachflächenfenster	209	0,90	30%
Außentüren	49	1,30	10%
Gesamtfläche:	**2280,14**		**100%**

Die Aufteilung der Transmissionswärmeverluste sind in Abbildung 13 dargestellt. Es zeigt sich, dass die größten Wärmeverluste immer noch über die Außenwände und die Fensterflächen entstehen.

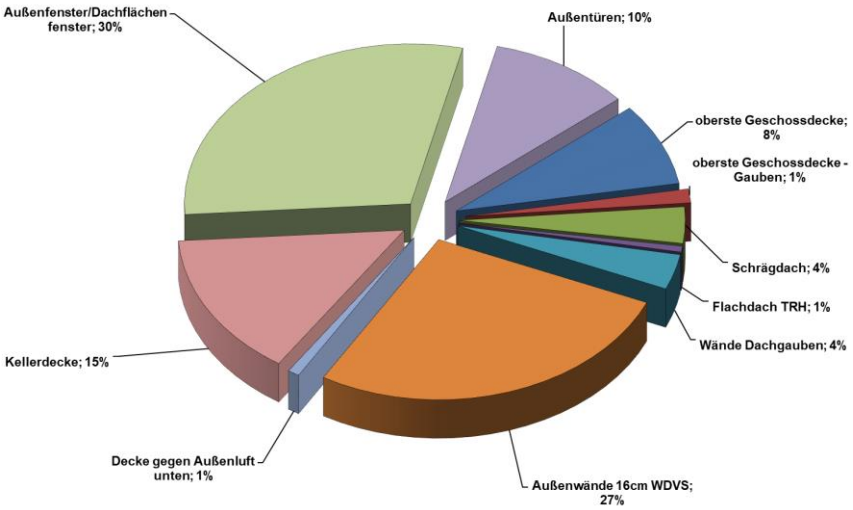


Abbildung 13: Die Transmissionswärmeverluste nach der Sanierung

Auf dieser Grundlage wird der künftige Wärmebedarf des Gebäudes ermittelt. Der künftige Heizwärmebedarf beträgt rund 75.500 kWh/a. Zusätzlich ist ein Warmwasserbedarf von rund 20.100 kWh/a zu berücksichtigen. Abbildung 14 zeigt den monatlichen Verlauf der Gewinne und Verluste des Gebäudes nach erfolgter Sanierung.

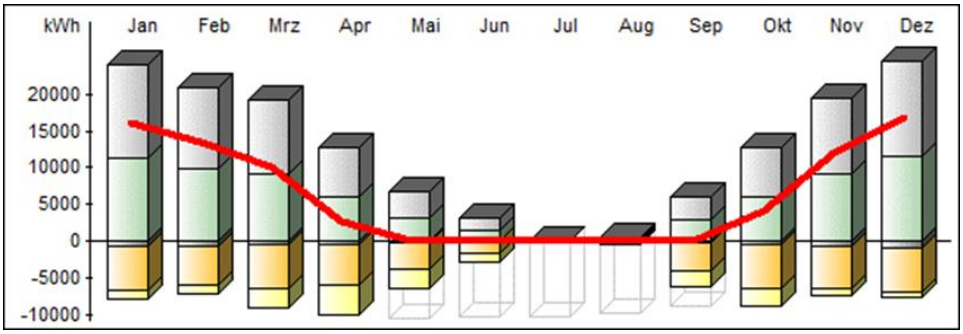


Abbildung 14: Die monatlichen Gewinne und Verluste des sanierten Gebäudes

Anhand des monatlichen Wärmebedarfs wird die geordnete Jahresdauerlinie des thermischen Energiebedarfs erstellt, siehe Abbildung 15. Die geordnete thermische Jahresdauerlinie ist das zentrale Instrument für den Anlagenplaner. Die Fläche unter der Jahresdauerlinie entspricht dem Jahresnutzwärmebedarf. Idealerweise sollten sich die meist modular aufgebauten, d.h. in Grund- und Spitzenlastabdeckung unterteilten Heizanlagensysteme, der Jahresdauerlinie annähern.

Werden Wärmeerzeuger in der Grafik flächendeckend eingetragen, kann auf die Laufzeiten und den Anteil an der Jahreswärmebereitstellung der einzelnen Wärmeerzeuger geschlossen werden. Die zu installierende Spitzenleistung richtet sich nach Kennwerten der Kesselvollbenutzungsstunden und dem Wärmebedarf. Dies beruht nicht auf einer Heizlastberechnung und ersetzt nicht die technische Detailplanung.

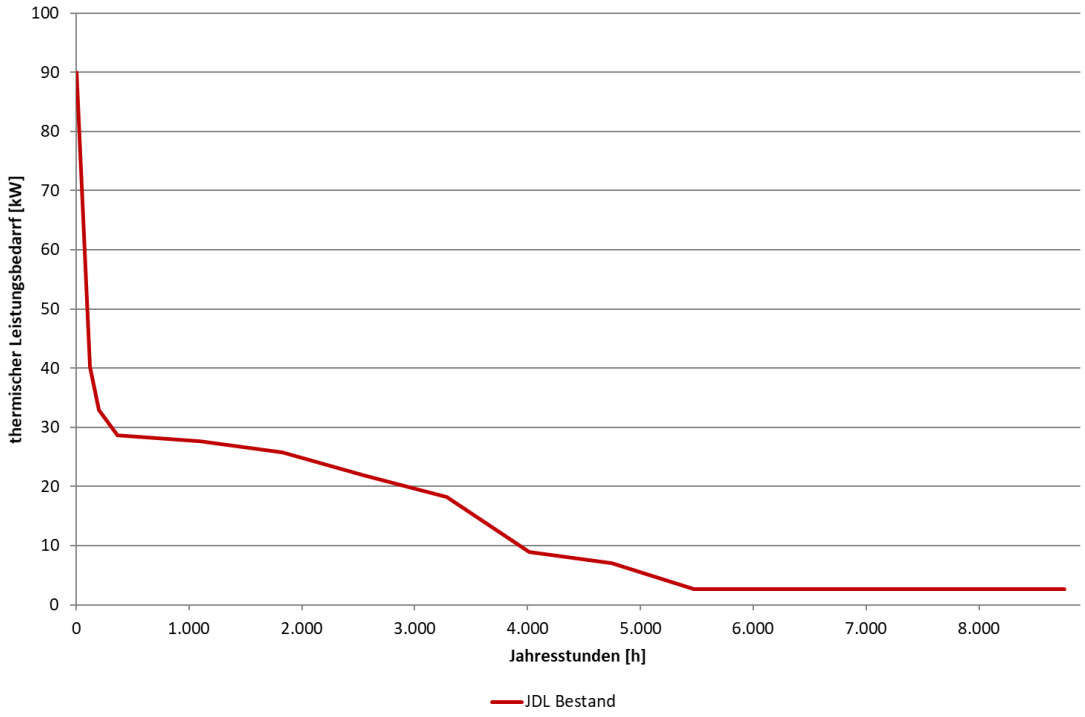


Abbildung 15: Die geordnete thermische Jahresdauerlinie für das sanierte Gebäude

3.2 Die künftige Energieversorgung

3.2.1 Die Energieversorgungsvarianten

Im Folgenden werden, auf den ermittelten Bedarfsdaten aufbauend, verschiedene effiziente und moderne Energieversorgungsvarianten detailliert auf deren ökologische Verträglichkeit als auch auf deren Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Da sich moderne und ökologische Energieversorgungsvarianten immer an einer fossilen Referenzvariante messen müssen, wird als Variante 1.0 die klassische Versorgung mittels moderner Erdgasfeuerungen untersucht. Bei dieser Variante werden die gesetzlichen Vorgaben (EnEV, EEWärmeG) unter Berücksichtigung einer Solarthermie-Anlage erfüllt. Die untersuchten Varianten sind:

- Variante 1.0: Gaskessel mit Solarthermie (Referenzvariante)
- Variante 1.1: Pelletkessel
- Variante 1.2: Erdsonden-Wärmepumpe
- Variante 1.3: Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Variante 1.4: Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gaskessel

3.2.1.1 Die Variante 1.0: Moderne Erdgasfeuerung mit Solarthermie (Referenz)

In der Referenzvariante wird ein Erdgaskessel mit einer thermischen Leistung von 90 kW installiert. Der jährliche Erdgasverbrauch beträgt rund 85.800 kWh_{Hi}. Wie bereits beschrieben, erfüllt diese Energieversorgungsvariante die Anforderungen an die EnEV bzw. das EEWärmeG nur, wenn eine Solarthermie-Anlage mit ca. 50 m² Fläche eingesetzt wird. Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.0 ist in Abbildung 16 dargestellt.

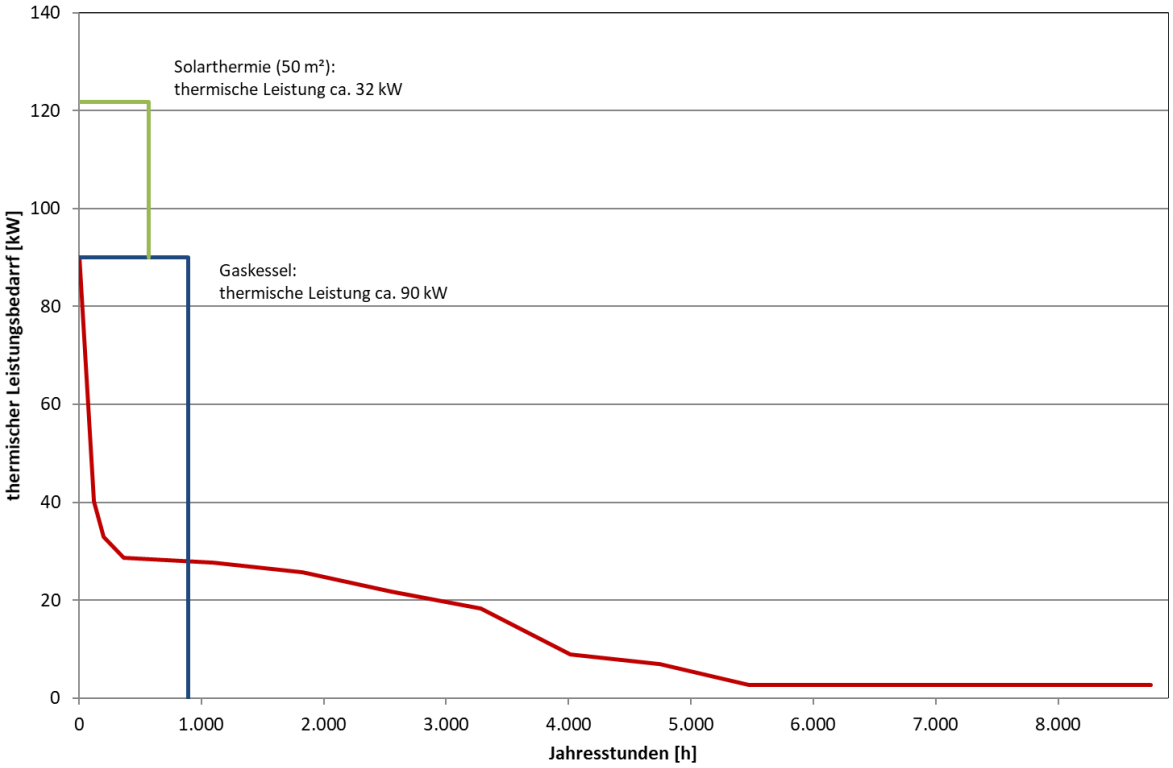


Abbildung 16: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.0 (Erdgaskessel mit Solarthermie – Referenz)

Wärmeerzeuger		Erdgaskessel	Solarthermie
Nennwärmeleistung	[kW]	90	32
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	900	570
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	80.700	18.000
Anteil an der Wärmeerzeugung	[%]	82	18
Verbrauch	[kWh_{Hi}/a]	85.800	0

3.2.1.2 Die Variante 1.1: Pelletkessel

In dieser Variante ist die Installation eines Pellet-Kessels mit einer Nennwärmeleistung von 90 kW vorgesehen. Der in der Leistung modulierbare Kessel soll mit einem Pufferspeicher möglichst optimiert betrieben werden und jährlich rund 1.100 Vollbenutzungsstunden erreichen.

In Abbildung 17 ist die Jahresdauerlinie mit der installierten Wärmeversorgung dargestellt.

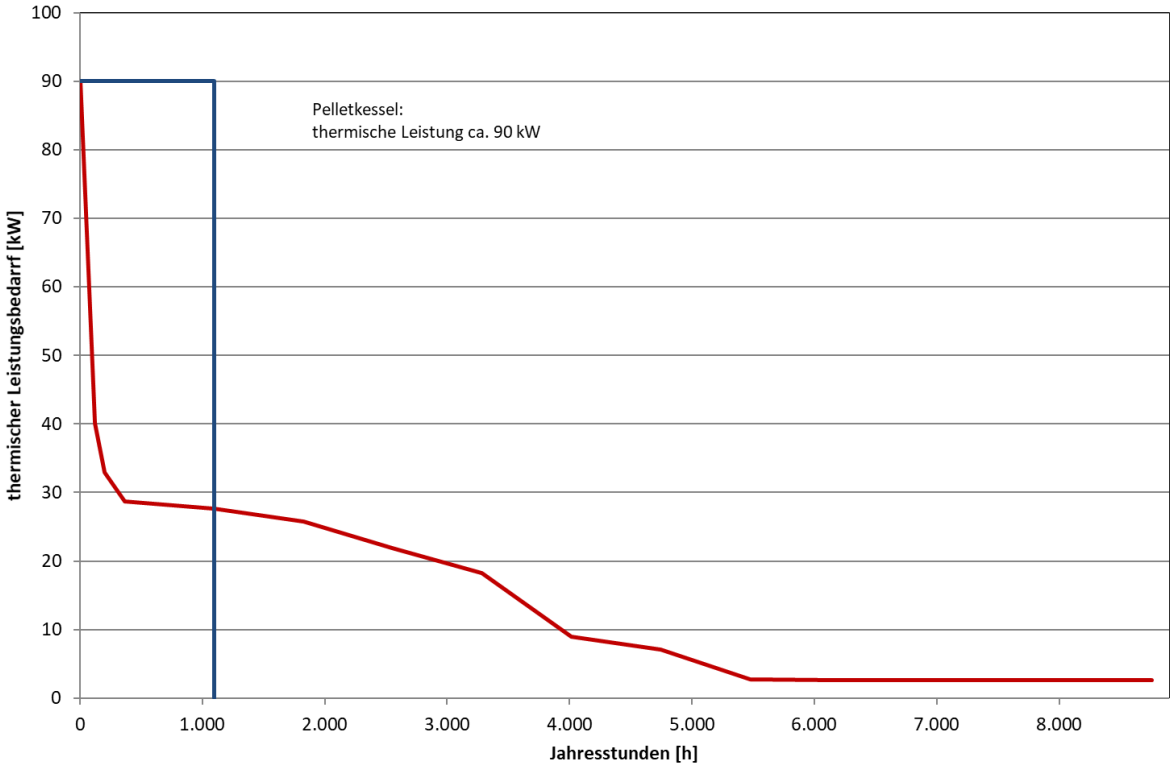


Abbildung 17: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.1 (Pelletkessel)

Wärmeerzeuger		Pelletkessel
Nennwärmeleistung	[kW]	90
Elektrische Leistung	[kW]	-
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	1.096
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	98.700
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	-
Anteil an der Wärmeerzeugung	[%]	100
Verbrauch	[kWh_{Hi}/a]	110.900
Verbrauch	[t/a]	23

Der jährliche Verbrauch an Holzpellets liegt bei ca. 23 Tonnen (5 kWh/kg; 650 kg/m³).

Für den Holzpelletbedarf ist in entsprechender Größe ein Brennstofflager einzurichten, das in verschiedenen Formen und Ausführungen in der Nähe zum Aufstellort des Kessels errichtet werden soll.

Um den Kessel möglichst lange im optimalen Betriebspunkt betreiben zu können bzw. um einen guten Kesselausbrand zu erreichen, wird in dieser Variante die Installation eines Pufferspeichers mit mindestens 2,7 m³ vorgesehen (entspricht mind. 30 Liter/kW und somit den Förderrichtlinien). Für einen optimalen Betrieb der Anlage ist auf eine gute hydraulische Einbindung in die Heizzentrale sowie in die übergeordnete Regelung und Steuerung zu achten.

Bei dieser Versorgungsvariante entsteht im Vergleich zur Energieversorgung mit leitungsgebundenen Energieträgern ein erhöhter Platzbedarf für die Wärmeerzeugung und Anlagentechnik (Brennstofflager).

3.2.1.3 Die Variante 1.2: Erdsonden-Wärmepumpe

In der Variante 1.2 wird eine Wärmepumpe mit Erdsonden (90 kW) installiert. Die Wärmepumpe verbraucht rund 22.000 kWh/a elektrische Energie. In Abbildung 18 ist die thermische Jahresdauerlinie mit der installierten Wärmeversorgung dargestellt.

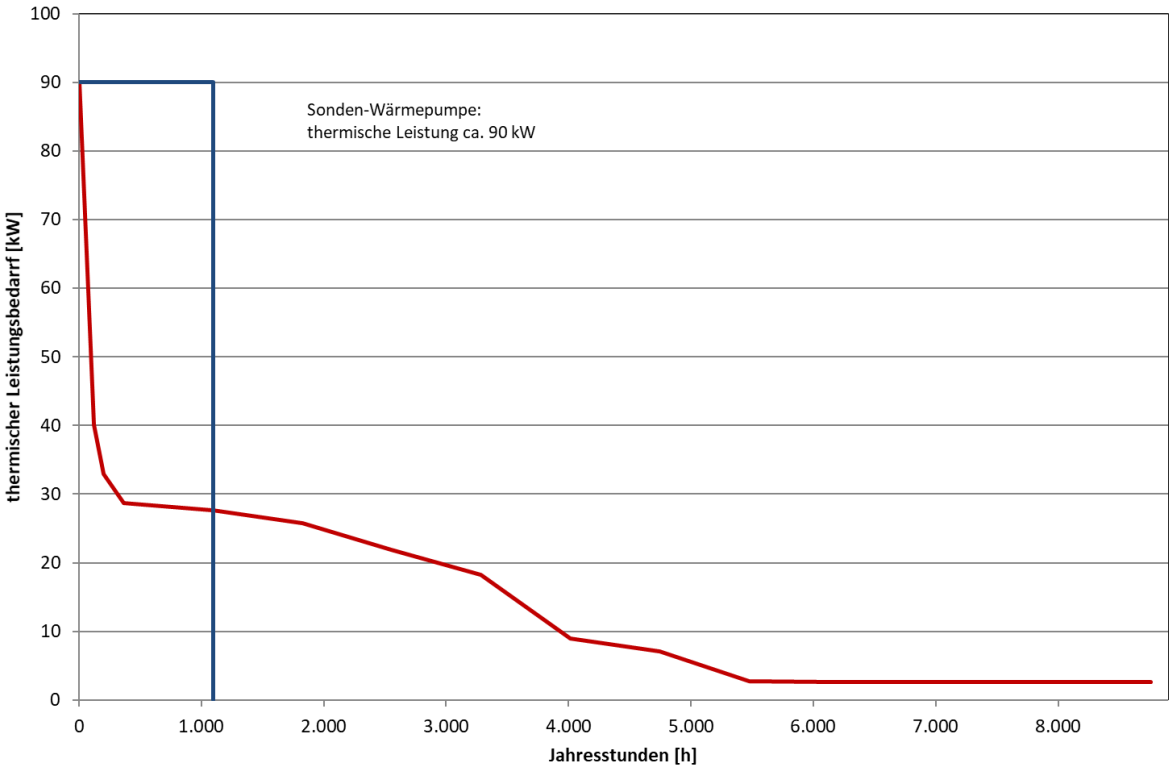


Abbildung 18: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.2 (Sonden-Wärmepumpe)

Wärmeerzeuger		**Sonden-Wärmepumpe**
Nennwärmeleistung	[kW]	90
Elektrische Leistung	[kW]	-
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	1.096
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	98.700
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	-
Anteil an der Wärmeerzeugung	[%]	100
Verbrauch	[kWh_{Hi}/a]	22.000

3.2.1.4 Die Variante 1.3: Luft-/Wasser-Wärmepumpe

In der Variante 1.3 wird eine Luft-/Wasser-Wärmepumpe mit einer Nennwärmeleistung von 90 kW installiert. Die Wärmepumpe verbraucht rund 26.000 kWh/a elektrische Energie. In Abbildung 19 ist die thermische Jahresdauerlinie mit der installierten Wärmeversorgung dargestellt.

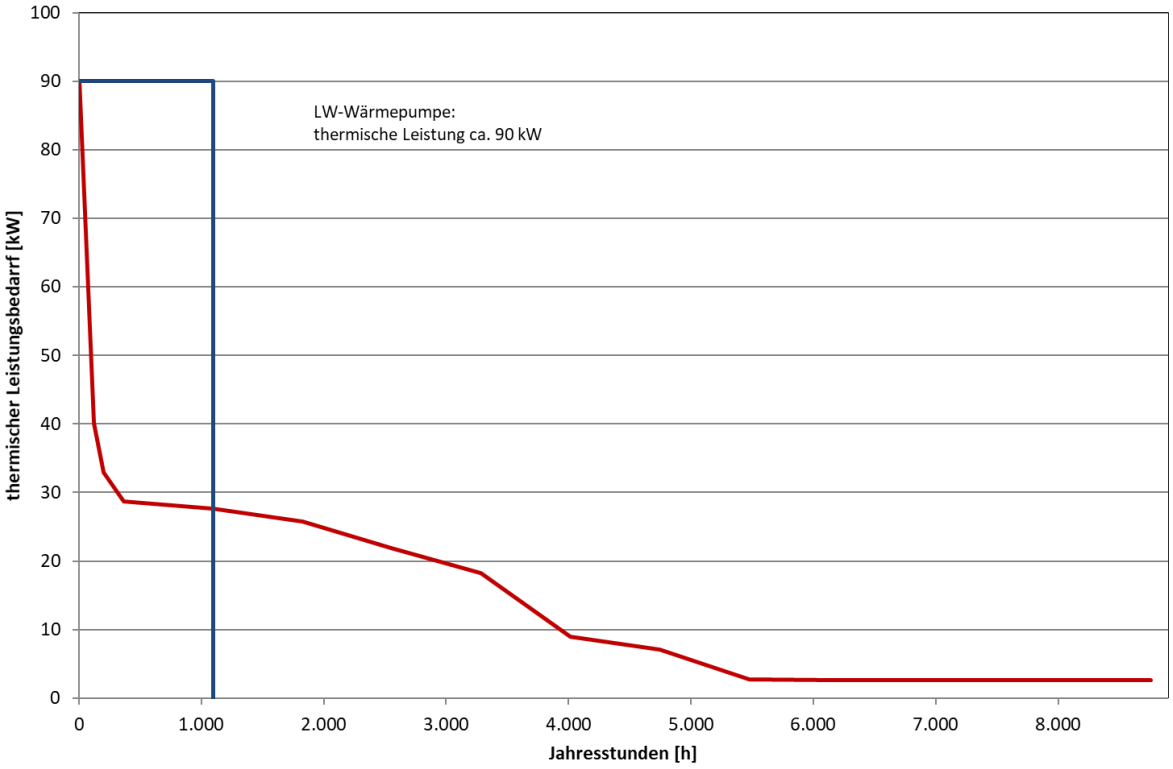


Abbildung 19: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.3 (Luft-/Wasser-Wärmepumpe)

Wärmeerzeuger		**LW-Wärmepumpe**
Nennwärmeleistung	[kW]	90
Elektrische Leistung	[kW]	-
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	1.096
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	98.700
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	-
Anteil an der Wärmeerzeugung	[%]	100
Verbrauch	[kWh_{Hi}/a]	26.000

3.2.1.5 Die Variante 1.4: Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gaskessel

Bei dieser Variante wird eine Luft-/Wasser-Wärmepumpe mit einer Nennwärmeleistung von rund 30 kW eingesetzt. Die Wärmepumpe kann rund 76 % des jährlichen Wärmebedarfs decken und verbraucht rund 18.800 kWh/a elektrische Energie. Die Spitzenlastabdeckung übernimmt ein Erdgaskessel mit einer Leistung von 90 kW. Der jährliche Erdgasverbrauch beträgt rund 25.200 kWh_{Hi}/a. Die thermische Jahresdauerlinie mit den beiden Wärmeerzeugern ist in Abbildung 20 dargestellt.

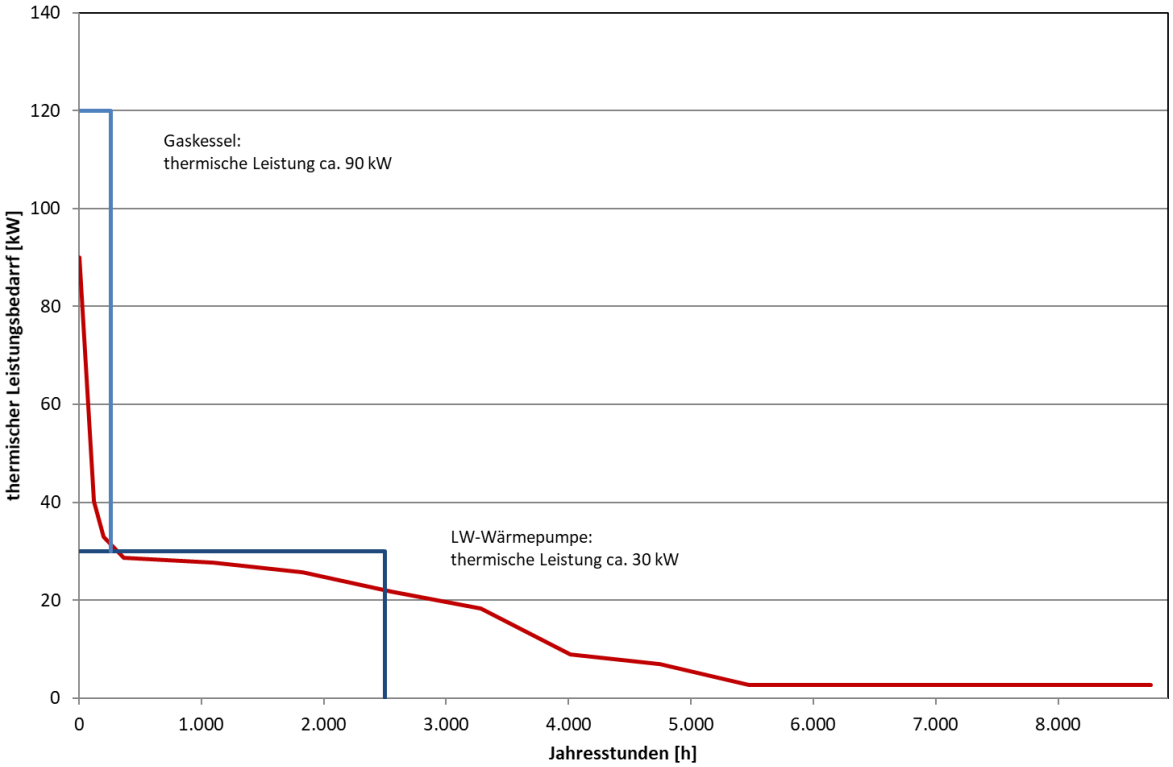


Abbildung 20: Die thermische Jahresdauerlinie der Variante 1.4 (Pelletkessel)

Wärmeerzeuger		LW-Wärmepumpe	Gaskssel
Nennwärmeleistung	[kW]	30	90
Elektrische Leistung	[kW]	-	-
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	2.500	300
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	75.000	23.700
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	-	-
Anteil an der Wärmeerzeugung	[%]	76	24
Verbrauch	[kWh_{Hi}/a]	18.800	25.200

Es ist auf eine optimale hydraulische Einbindung beider Wärmeerzeuger zu achten, um eine effiziente Wärmebereitstellung erreichen zu können.

3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

3.3.1 Die Grundannahmen

Basierend auf den in den vorausgegangenen Kapiteln entwickelten Energieversorgungsvarianten wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Ermittlung der ökonomisch günstigsten Variante durchgeführt. Dabei werden im Rahmen einer Vollkostenrechnung nach der Annuitätenmethode in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 die Jahresgesamtkosten ermittelt. Es werden die jährlichen Gesamtkosten berechnet und dargestellt. Die Jahresgesamtkosten geben an, wie viele Kosten unter Berücksichtigung von Kapitalkosten, Instandhaltungs- und Wartungskosten, Verbrauchskosten, sonstigen Kosten sowie evtl. Einnahmen durch einen Stromverkauf jährlich anfallen.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung gelten folgende Grundannahmen:

- Bezugsjahr ist das Jahr 2020
- Betrachtungszeitraum 20 Jahre
- Lineare Abschreibung über 20 Jahre
- Alle Preise sind Nettopreise
- Der kalkulatorische Zinssatz beträgt für Fremdkapital konstant 2,0 % über 20 Jahre
- Die Brennstoffkosten bleiben im Betrachtungszeitraum konstant, Preisänderungen werden gesondert über eine Sensitivitätsbetrachtung erfasst

Folgende Kosten bzw. Erlöse werden berücksichtigt:

- Kapitalkosten (Investitionskosten auf Basis durchschnittlicher Nettomarktpreise für die einzelnen Komponenten)
- Betriebsgebundene Kosten (Wartung, Instandhaltung, Betriebsführung, Technische Überwachung, inkl. Personalkosten)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoffe und Hilfsenergie)
- Sonstige Kosten (z.B. Versicherung)

Die Investitionskosten sind nicht als konkrete Angebotspreise, sondern lediglich als durchschnittliche Marktpreise zu verstehen und können in der tatsächlichen Umsetzung nach oben oder unten abweichen.

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Nettoinvestitionskosten basieren, ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten, auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier kalkulierten abweichen. Vor diesem Hintergrund werden für die unterschiedlichen Varianten Sensitivitätsanalysen erarbeitet, welche den Einfluss einzelner Parameter auf die spezifischen Wärmegestehungskosten aufzeigen.

Die Investitionskosten umfassen im Einzelnen:

- Wärmeerzeuger
- Benötigte Anlagentechnik zur Einbindung (HLS, Elektro, MSR)
- Brennstofflager ggf. mit Austrag und Zuführung
- Technische Installationskosten
- Planungskosten

Die Investitionskosten beziehen sich auf eine Erneuerung der Wärmeerzeuger. Eine Erneuerung der Heizungsverteilung, die Installation einer übergeordneten Gebäudeleittechnik oder Sonstiges sind hier nicht berücksichtigt.

Aus den Investitionskosten werden die jährlichen kapitalgebundenen Kosten nach der Annuitätenmethode für einen Abschreibungszeitraum von 20 Jahren gebildet.

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten die Kosten für die Bedienung der technischen Anlagen, sowie die Kosten für Wartung und Instandhaltung der einzelnen Anlagen und Komponenten. In den Kosten sind sowohl Personal- als auch Materialkosten inbegriffen. Darüber hinaus sind Abrechnungskosten berücksichtigt.

Die jährlichen Kosten für Wartung und Instandhaltung der einzelnen Baugruppen bzw. Anlagentechnik werden in Anlehnung an die VDI 2067 als prozentualer Anteil an den Investitionskosten ermittelt.

Die Kosten für Kaminkehrer und technische Überwachung werden pauschal angesetzt.

Die verbrauchsgebundenen Kosten setzen sich aus den jährlichen Brennstoffkosten und den Kosten für die Hilfsenergie zusammen.

Für die Brennstoffe werden folgende Netto-Preise angenommen:

- Erdgas: 5,0 Ct/kWh$_H$
- Pellets: 220 Euro/t (Großabnehmerpreis 4,9 kWh$_{Hi}$/kg)
- Wärmepumpenstrom: 18 Ct/kWh
- Strom: 23,6 Ct/kWh$_{el}$ (Preisblatt Gemeindewerke, inkl. 10 % Kommunalrabatt)

Die sonstigen Kosten umfassen Kosten für Verwaltung und Versicherung.

3.3.2 Allgemeine Fördermöglichkeiten

Im Folgenden werden verschiedene Förderprogramme vorgestellt, mit denen dezentrale Energieversorgungsanlagen gefördert werden können. Die Gewährung der Fördermittel ist dem Fördermittelgeber überlassen und ist im Einzelfall detailliert zu prüfen.

3.3.2.1 Marktanreizprogramm 2020

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert im Rahmen des Marktanreizprogramms die Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmebereich. Das BAFA bezuschusst über das Förderprodukt „Heizen mit erneuerbaren Energien 2020“ Investitionen in thermische Solarkollektor-, Biomasse- und Wärmepumpenanlagen. Zudem erfolgt im Gebäudebestand eine Förderung sog. „Gas-Hybridheizungen“ (EE + Erdgas).

Die seit 01.01.2020 gültigen Fördersätze sind je nach eingesetztem Energieträger unterschiedlich und beziehen sich generell auf prozentuale Anteile der förderfähigen Investitionssumme.

Das Marktanreizprogramm setzt den Schwerpunkt auf die Modernisierung bestehender Anlagen, aber auch Wärmeerzeuger in Neubauten können vom Förderprogramm profitieren. Da durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz bereits eine Pflicht zur Nutzung von Erneuerbaren Energien im Neubau vorgegeben ist, können in diesem Bereich nur Fördermittel in Anspruch genommen werden, wenn die vorgegebenen gesetzlichen Ziele übererfüllt werden. Das heißt, die installierten Anlagen müssen den geforderten Anteil an EE in der Wärmeerzeugung deutlich übertreffen oder besonders innovativ bzw. effizient arbeiten.

Nach Auskunft des BAFA sowie den zur Verfügung gestellten Unterlagen (Liste förderfähiger Anlagen) unterliegt die Leistungsgröße von geförderten Anlagen keiner direkten Größenbeschränkung (Ausnahme: Mindestgröße z.B. Biomasseanlagen mind. 5 kW_{th}). Nach Rücksprache mit dem BAFA ist es zudem unerheblich, ob die Erzeugungsanlagen zur Nutzung regenerativer Energien im Wärmeverbund oder in einzelnen Liegenschaften genutzt werden.

Über die allgemeinen Fördervoraussetzungen hinaus sind zur Gewährung der Fördermittel je nach eingesetztem Energieträger bestimmte technische Voraussetzungen betreffend dem Anlagenaufbau (z.B. Anlagengröße, Pufferspeichervolumen etc.) sowie anlagenspezifischen Parametern (z.B. Emissionsgrenzwerte, Wirkungsgrad, Jahres-Arbeits-Zahlen etc.) zu erfüllen.

Die anschließende Tabelle zeigt die verschiedenen Fördersätze, die je nach Art der Heizungsanlage sowohl für Bestandsgebäude als auch für Neubauten verfügbar sind (vgl. Abbildung 21).

Förderübersicht: Heizen mit erneuerbaren Energien 2020

Art der Heizungsanlage		Gebäudebestand		Neubau
		Fördersatz[1]	Fördersatz mit Austauschprämie Ölheizung[1]	Fördersatz[1]
Biomasseanlage *oder* Wärmepumpenanlage		35 %	45 %	35 %
Solarkollektoranlage[2]		30 %		30 %
Erneuerbare Energien Hybridheizung (EE-Hybride)[3]		35 %	45 %	35 %
Gas-Hybridheizung	mit erneuerbarer Wärmeerzeugung	30 %[5]	40 %[5]	
	mit späterer Einbindung der erneuerbaren Wärmeerzeugung (Renewable Ready)[4]	20 %[6]		

Es gelten die Bestimmungen der Richtlinien vom 31.12.2019.
Anträge können ab 02.01.2020 ausschließlich über das elektronische Antragsformular gestellt werden. Die Antragstellung muss vor Beginn der Maßnahme erfolgen.

[1] Die Fördersätze beziehen sich auf die förderfähigen Kosten für die beantragte Maßnahme
[2] Da eine Solarkollektoranlage nie allein die gesamte Heizlast eines Gebäudes tragen kann, wird hier keine Austauschprämie gewährt.
[3] Kombination einer Biomasse-, Wärmepumpen- und/oder Solarkollektoranlage
[4] Renewable Ready: Installiert wird eine Gasbrennwertheizung mit Speicher und Steuerungs- und Regelungstechnik für die spätere Einbindung eines erneuerbaren Wärmeerzeugers.
[5] Gilt für die gesamte förderfähige Anlage, inkl. erneuerbarer Wärmeerzeuger.
[6] Gilt für die gesamte förderfähige Anlage, ohne den später zu errichtenden erneuerbaren Wärmeerzeuger.

Stand: 1. Januar 2020

Abbildung 21: Förderübersicht BAFA Marktanreizprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien 2020“ [Quelle: BAFA]

Darüber hinaus gilt seit Januar 2016 die Zusatzförderung „Anreizprogramm Energieeffizienz“ (APEE), welche eine zusätzliche Erhöhung der Fördersätze um 20 % sowie einen „Optimierungsbonus“ umfasst. Diese Zusatzförderung kann nur in Kombination mit dem KfW-Programm „Erneuerbare Energie - Premium“ genutzt werden.

3.3.2.2 Zusammenfassung Förderungen

Die im vorangegangenen Kapitel dargestellten Förderungen geben einen Überblick über die gesamte Förderbreite für die einzelnen Energieversorgungsvarianten.

Laut ausführendem Architekturbüro (Architekturbüro Rester) können zusätzliche Förderungen über die Regierungen in Höhe von 30 % beantragt werden. Diese sind im Folgenden separat mit ausgewiesen und ggf. mit dem Architekturbüro abzustimmen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es für die vorgestellten Energieversorgungsvarianten nachfolgend dargestellte Förderungen gibt:

- Variante 1.0: ca. 20.400 € (BAFA) zzgl. ca. 11.370 € (Regierung)
- Variante 1.1: ca. 24.470 € (BAFA) zzgl. ca. 13.630 € (Regierung)
- Variante 1.2: ca. 78.160 € (BAFA) zzgl. ca. 43.540 € (Regierung)
- Variante 1.3: ca. 53.970 € (BAFA) zzgl. ca. 30.070 € (Regierung)
- Variante 1.4: ca. 31.920 € (BAFA) zzgl. ca. 17.780 € (Regierung)

Bei allen Varianten muss die mögliche Kumulierbarkeit der Förderung mit der Regierung bzw. dem BAFA abgestimmt werden.

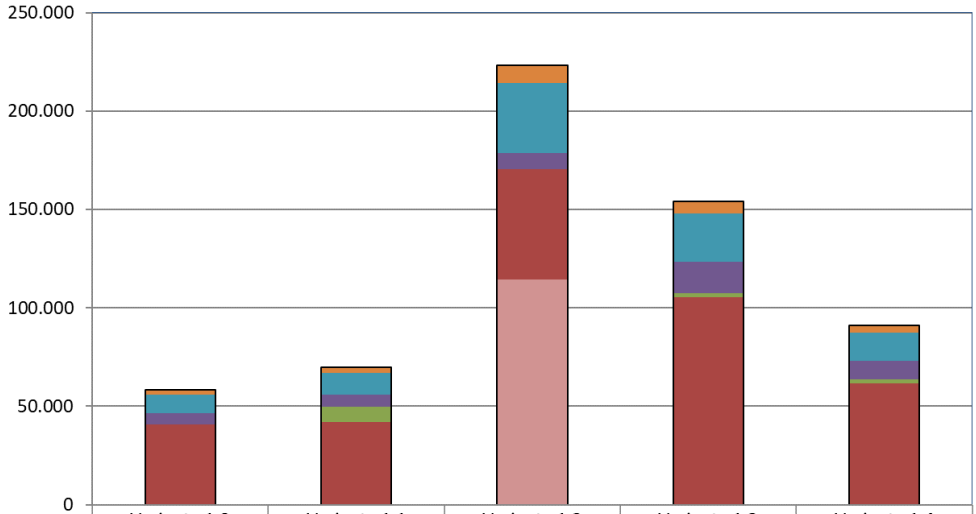
Im Rahmen des Konzeptes werden diese Anforderungen als erfüllt angenommen. Die Details müssen im Rahmen einer Detailplanung erfüllt und nachgewiesen werden.

3.3.3 Die Investitionskosten der Varianten

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Anlagentechnik sowie notwendige bauliche Maßnahmen nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen des vorliegenden Energiekonzeptes angenommenen Nettoinvestitionskosten der Anlagenteile basieren, ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten, auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können die Preise daher, je nach Ausführungsstandard, von den hier kalkulierten abweichen.

Die Investitionskostenprognose beschränkt sich auf die in den einzelnen Varianten vorgesehenen Wärmeerzeuger inkl. deren Einbringung, Einbindung, Brennstoffversorgung und notwendige Anlagentechnik sowie erforderliche Umbaumaßnahmen zur Integration in die bestehende Anlagentechnik mit ggf. vorgesehenem Pufferspeicher. Ein neues Brennstofflager ist aufgrund des schlechten Zustandes der verbauten Anlagen für alle Varianten vorgesehen.

In den folgenden Abbildungen sind die prognostizierten Nettoinvestitionskosten der betrachteten Energieversorgungsvarianten dargestellt.



	Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4
Unvorhergesehenes	2.300	2.800	8.900	6.200	3.600
Projektabwicklung	9.300	11.200	35.700	24.700	14.600
Technische Installationskosten	6.100	6.300	8.400	15.800	9.300
Bauliche Maßnahmen, Gebäude	0	7.500	0	2.000	2.000
Wärmeerzeuger und Anlagenteile	40.600	42.100	56.000	105.500	61.700
Sonden/Brunnen	0	0	114.286	0	0
Leitungsnetz, Erdbau, Übergabe	0	0	0	0	0
Gesamtinvestition	58.300	69.900	223.286	154.200	91.200

Abbildung 22: Die Investitionskostenprognose der einzelnen Varianten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4
Gaskessel mit Solarthermie	Pelletkessel	Sonden-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe Gaskessel

3.3.4 Die jährlichen Einnahmen und Ausgaben

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten, den verbrauchsgebundenen Kosten und den sonstigen Kosten zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in der folgenden Abbildung grafisch dargestellt.

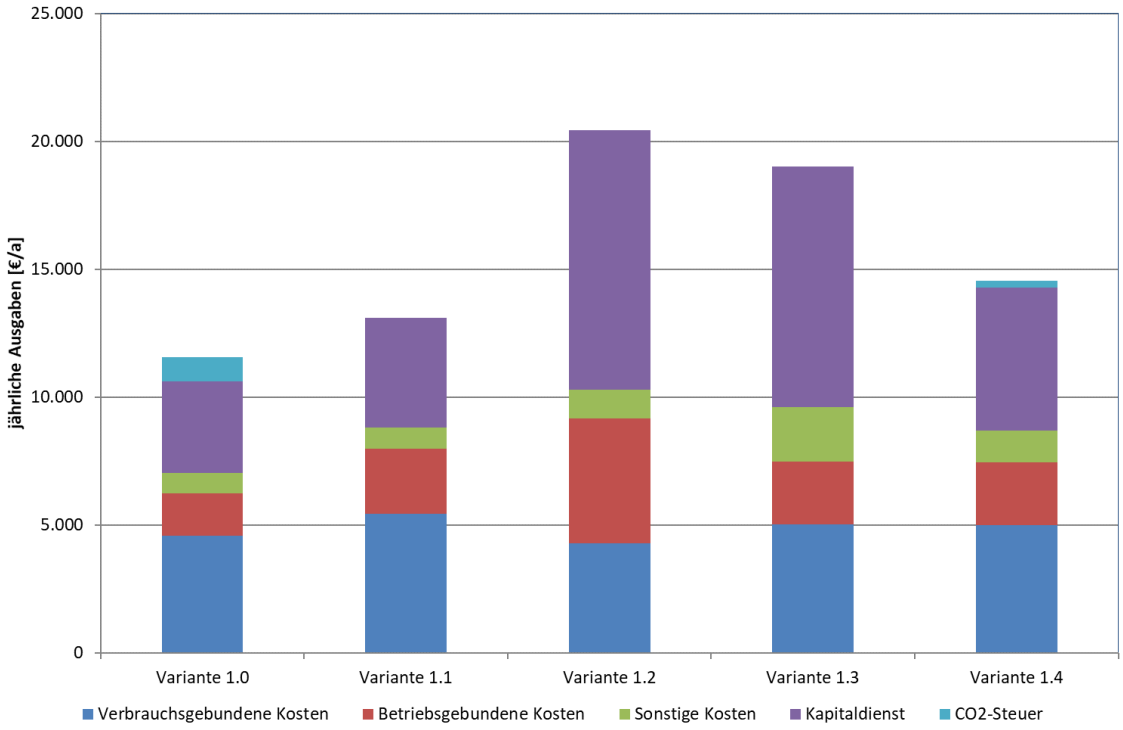


Abbildung 23: Die mittleren jährlichen Ausgaben der Varianten über den Betrachtungszeitraum

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4
Gaskessel mit Solarthermie	Pelletkessel	Sonden-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe Gaskessel

Wie aus Abbildung 23 ersichtlich wird, weist die Variante 1.0 die niedrigsten jährlichen Ausgaben auf. Die höchsten jährlichen Ausgaben fallen bei der Variante mit einer Erdsonden-Wärmepumpe (Varianten 1.2) an.

Einnahmen fallen bei diesen Varianten nicht an.

3.3.5 Die Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten

In der folgenden Abbildung sind die kalkulierten Jahresgesamtkosten und Wärmegestehungskosten der einzelnen Varianten dargestellt. Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapital- betriebs- und verbrauchsgebundenen sowie sonstigen Kosten abzüglich der Einnahmen aus dem Stromverkauf bzw. vermiedenen Strombezugskosten. Aus den Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, die die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme beziffern.

Die spezifischen Wärmegestehungskosten dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen. So müssen sich alternative Konzepte zur Wärmebereitstellung stets an den spezifischen Wärmegestehungskosten einer Referenzvariante messen.

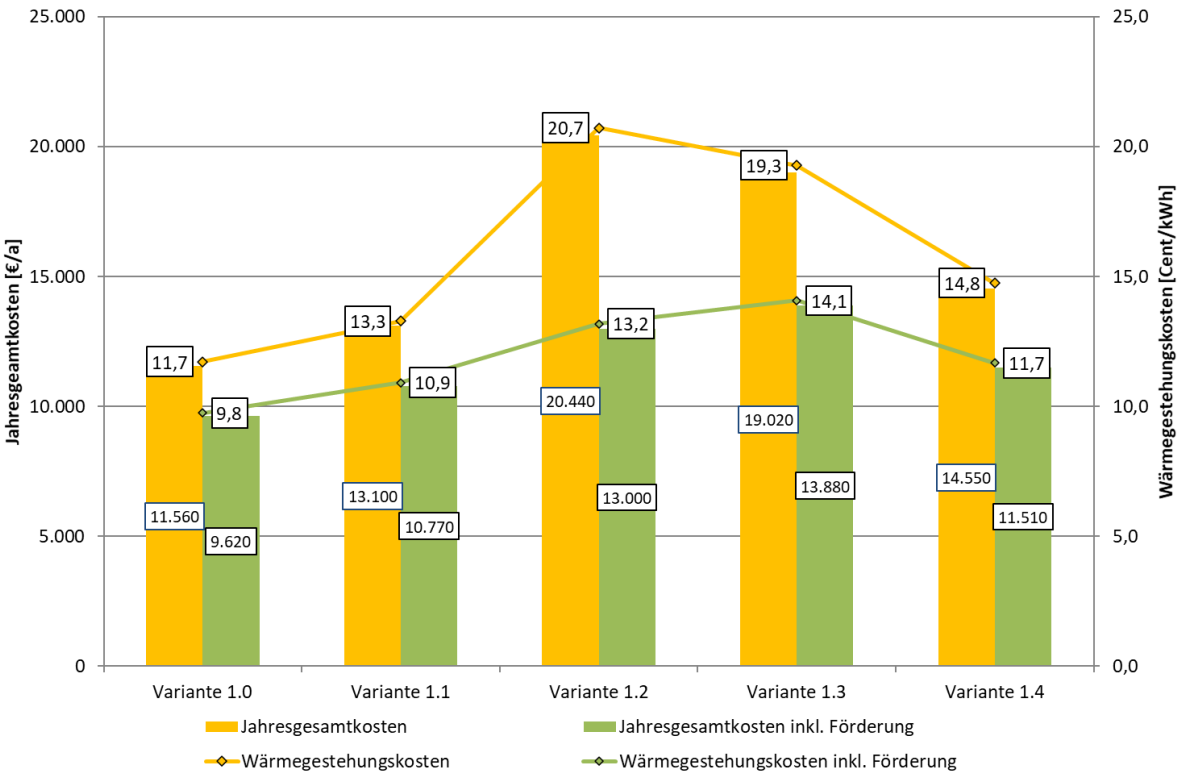


Abbildung 24: Die Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der einzelnen Varianten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4
Gaskessel mit Solarthermie	Pelletkessel	Sonden-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe Gaskessel

Die niedrigsten Wärmegestehungskosten ergeben sich bei der Variante 1.0 (Erdgaskessel). Die Anforderungen nach EnEV und EEWärmeG werden hier erfüllt. Ein Effizienzhausstandard kann jedoch nicht erreicht werden. Deshalb können bei dieser Variante keine weiteren Zuschüsse für die Kosten der Gebäudesanierung beantragt werden. Als zweitwirtschaftlichste Variante zeigt sich die Wärmeversorgung mittels Pelletkessel. Die höchsten Wärmegestehungskosten ergeben sich, nach Abzug der Förderung, bei der Wärmeversorgung mittels Luft-/Wasser-Wärmepumpe als Stand-Alone-Variante sowie der Erdsonden-Wärmepumpe.

3.3.6 Die CO_2-Bilanz

Für die verschiedenen neuen Energieversorgungsvarianten wird zur Beurteilung der ökologischen Verträglichkeit eine Bilanzierung der CO_2-Emissionen durchgeführt. Dabei wird neben dem jährlichen Brennstoffbedarf auch der Hilfsenergiebedarf (elektrische Energie) berücksichtigt. Die CO_2-Äquivalente wurden den technischen Mindestanforderungen der KfW entnommen.

Energieträger	Einheit	CO_2-Faktor
Strom Inland	t CO_2/MWh	0,537
Nah-/Fernwärme	t CO_2/MWh	0,280*
Heizöl leicht	t CO_2/MWh	0,266
Heizöl schwer	t CO_2/MWh	0,294
Flüssiggas	t CO_2/MWh	0,239
Erdgas	t CO_2/MWh	0,202
Steinkohle	t CO_2/MWh	0,337
Braunkohle	t CO_2/MWh	0,381
Rohbenzin	t CO_2/MWh	0,264
Diesel	t CO_2/MWh	0,266
Biomasse Holz	t CO_2/MWh	0,029
Pellets	t CO_2/MWh	0,023
Biodiesel	t CO_2/MWh	0,096
Biogas	t CO_2/MWh	0,148

Zusätzlich wurde für den Allgemeinstrom das Ökostrom-Zertifikat der Feuchter Gemeindewerke berücksichtigt. Hierbei ist zu beachten, dass in Rücksprache mit den Gemeindewerken der Heizstrom dieses Zertifikat nicht besitzt.

Zertifikat

100% Ökostrom mit „RenewablePLUS“

ZERTIFIKATSNR.: 2018 – 960 – 011

Dieses Zertifikat bestätigt die Herkunft der Elektrizität aus Erneuerbaren Energien, welche für die **Feuchter Gemeindewerke GmbH, Unterer Zeidlerweg 1, 90537 Feucht** produziert wird.

fgW
Feuchter Gemeindewerke GmbH

Dieses Zertifikat ist gültig für Lieferungen im Umfang von **13.000 MWh** im Jahr **2018**. Die Herkunft des Stroms entspricht den Anforderungen des Ökostromlabels RenewablePLUS.

So wird durch diese TÜV-Qualität u.a. folgendes garantiert:

- **Investition in neue Anlagen:** Die Betreiber/Eigentümer der Produktionskraftwerke fördern den Ausbau Erneuerbarer Energien, indem sie in neue Anlagen, Ausbau und Erweiterung bestehender Anlagen oder ökologische Maßnahmen investieren. Die Summe dieser Investitionen übertrifft die den durch den Verkauf der Herkunftsnachweise erzielten Einnahmen.
- **100 % Klimaneutral inkl. Vorketten:** Alle mit der Stromgestehung (Bau und Betrieb) verbundenen CO_2-Emissionen werden durch Klimaschutzprojekte des Qualitätslabels ÖkoPLUS klimaneutral gestellt.
- **Monatliche Zeitgleichheit:** Die Stromerzeugung erfolgt zeitgleich auf Basis monatlicher Bilanzierung.

Die oben genannten Nachhaltigkeitskriterien werden jährlich durch den TÜV Rheinland geprüft und zertifiziert.

Der Ökostrom aus erneuerbaren Energiequellen wird in das Europäische Verbundnetz eingespeist. Für die Stromproduktion werden Herkunftsnachweise zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen ausgestellt.

Thomas Ditze, Bischoff & Ditze Energy GmbH & Co. KG
Hamburg, den 01.11.2018

PLUS 100% Ökostrom

Das Umweltbundesamt ist mit dem Herkunftsnachweisregister (HKNR) dafür zuständig, Herkunftsnachweise (HKNs) für in Deutschland erzeugten Strom gemäß Artikel 15 der EU-Richtlinie 2009/28/EG auszustellen, sowie in- und ausländische Herkunftsnachweise zu übertragen und zur Stromkennzeichnung zu entwerten. Die Bischoff & Ditze Energy GmbH ist im HKNR aktiv und nutzt anerkannte Herkunftsnachweise. Dieses Zertifikat wurde auf Grundlage des RenewablePLUS Kriterienkataloges 1.1 ausgestellt. Weitere Informationen zur Zertifizierung von RenewablePLUS finden Sie unter www.certipedia.com.

TÜVRheinland CERTIPEDIA

Abbildung 25: Ökostrom-Zertifikat der Feuchter Gemeindewerke GmbH

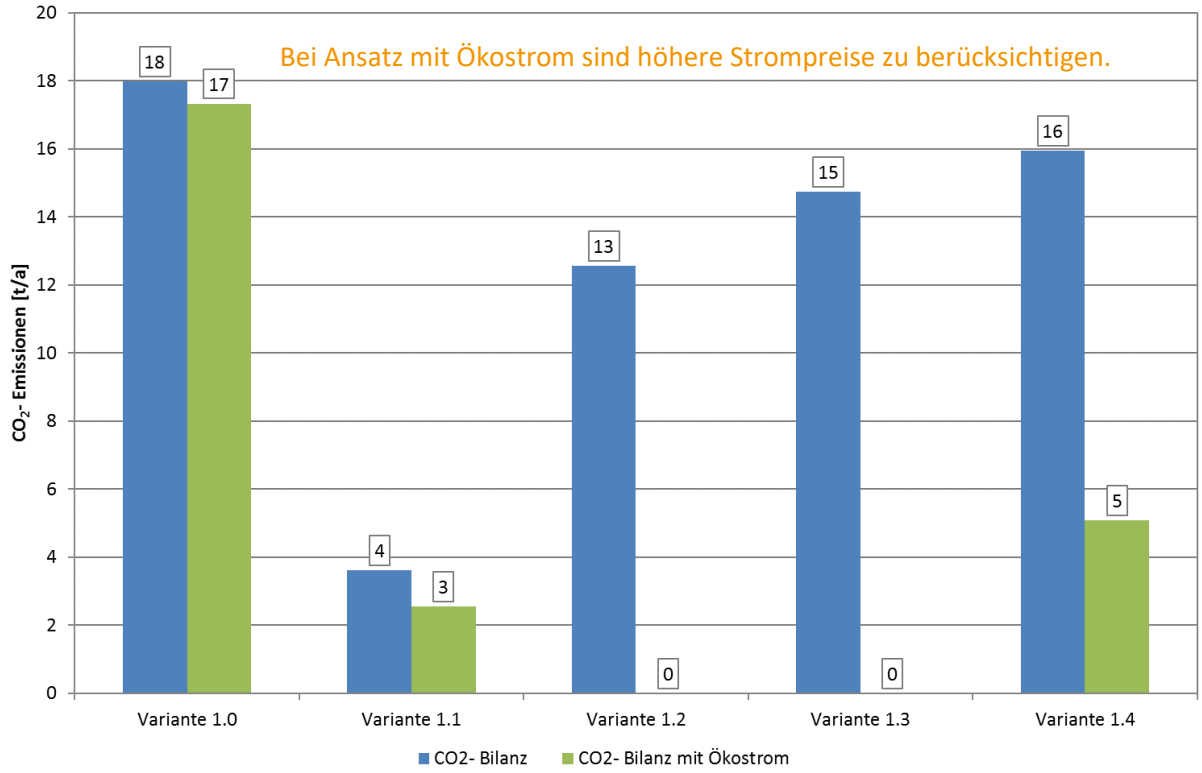


Abbildung 26: Die CO_2-Bilanz der Energieversorgungsvarianten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4
Gaskessel mit Solarthermie	Pelletkessel	Sonden-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe Gaskessel

Die höchsten CO_2-Emissionen ergeben sich bei der Variante 1.0, da hier hauptsächlich der fossile Energieträger Erdgas eingesetzt wird. Die geringsten Kohlendioxidemissionen weist die Variante 1.1 mit rein regenerativer Energieerzeugung (Pellets) auf. Bei Umstellung des Betriebes der Wärmepumpen auf Allgemeinstrom mit Ökostrom der Gemeindewerke können die Varianten 1.2 und 1.3 CO_2-neutral dargestellt werden. Hierbei ist jedoch mit höheren Ökostrom-Kosten zu kalkulieren.

3.4 Zusammenfassung

Im Rahmen des Energiekonzeptes wird zunächst der Heizwärmebedarf der aktuell in Planung befindlichen Erweiterung und Sanierung ermittelt. Darauf aufbauend wurden verschiedene Energieversorgungsvarianten entwickelt und im Detail betrachtet:

- Variante 1.0: Gaskessel mit Solarthermie (Referenzvariante)
- Variante 1.1: Pelletkessel
- Variante 1.2: Sonden-Wärmepumpe
- Variante 1.3: LW-Wärmepumpe
- Variante 1.4: LW-Wärmepumpe mit Gaskessel

Neben der technischen Auslegung und der Ermittlung sämtlicher Energieumsätze in den einzelnen Varianten wird eine umfassende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und CO_2-Bilanz erstellt.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt. Die niedrigsten Wärmegestehungskosten ergeben sich, mit 9,8 Ct/kWh, bei der Variante 1.0 unter Berücksichtigung möglicher Förderungen. Die geringsten CO_2-Emissionen weist die Variante 1.1 auf, da hier nur der regenerative Energieträger Holzpellets eingesetzt wird. Bei Umstellung auf Ökostrom weisen die Wärmepumpen-Varianten eine bessere Ökobilanz auf. Allerdings zu teureren Einkaufspreisen des Stroms.

Tabelle 3: Die Zusammenfassung der Ergebnisse

		Var. 1.0	Var. 1.1	Var. 1.2	Var. 1.3	Var. 1.4
ohne mögliche Förderungen						
Investitionskosten	[€]	58.300	69.900	223.300	154.200	91.200
Jahresgesamtkosten	[€]	11.600	13.100	20.500	19.100	14.600
Wärmegestehungskosten	[Cent/kWh]	11,7	13,3	20,7	19,3	14,8
mit möglichen Förderungen						
Projektförderung	[€]	31.774	38.096	121.699	84.039	49.704
Jahresgesamtkosten	[€]	9.700	10.800	13.000	13.900	11.600
Wärmegestehungskosten	[Cent/kWh]	9,8	10,9	13,2	14,1	11,7
CO_2-Emissionen	[t/a]	18	4	13	15	16
mit möglichen Förderungen und Ökostrom						
Wärmegestehungskosten mit Ökostrom (nach Förderung)	[Cent/kWh]	9,8	10,9	14,4	15,6	12,7
CO_2-Emissionen mit Ökostrom	[t/a]	17	3	0	0	5
Erfüllung EnEV		Detailprüfung nach EnEV (Bestand/Erweiterung) erforderlich				
Erfüllung EEWärmeG		✓	✓	✓	✓	✓
		Die Mindestanforderungen an Ersatzmaßnahmen sind zu beachten				

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4
Gaskessel mit Solarthermie	Pelletkessel	Sonden-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe	LW-Wärmepumpe Gaskessel

Aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht kann die Variante 1.1 (Pelletkessel) empfohlen werden. Hier können alle Anforderungen an die primärenergetische Bewertung nach EnEV und EEWärmeG erfüllt werden. Hierbei handelt es sich jedoch um eine aufwendigere Technik, mit erhöhten Anforderungen an den Unterhalt (Ausfall, Personaleinsatz). Hinzu kommt ein deutlich erhöhter Platzbedarf für die Brennstoff-Lagerung.

Aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht kann die Variante 1.4, welche die dritthöchsten Wärmegestehungskosten aufweist, ebenfalls in Betracht gezogen werden. Zudem besteht bei dieser Variante eine gewisse Versorgungsicherheit, da hier zwei Wärmeerzeuger zum Einsatz kommen. Des Weiteren kann eine PV-Anlage und Öko-Strom zur weiteren Reduktion der CO_2-Emissionen eingesetzt werden.

HINWEIS:

Nach aktuellem Stand kann davon ausgegangen werden, dass sich die Förderkulisse ändert. Die Förderungen sollen zusammengefasst und vereinheitlicht werden. Die neuen Förderbedingungen sollten Anfang 2021 überprüft und ggf. an die Studie angepasst werden. Es wird daher empfohlen, vor Umsetzung der Maßnahme, die Rahmenbedingungen zu aktualisieren.

4 Energiemanagement für kommunale Liegenschaften

4.1 Zielsetzung

Die sparsame und effiziente Nutzung von Energie sind für eine wirkungsvolle und dauerhafte Minderung von CO_2-Emissionen, als auch vor dem Hintergrund zunehmender Energiekosten, von großer Bedeutung. Im Klimaschutzkonzept hat sich der Markt Feucht zur Reduktion von CO_2 verpflichtet. Deshalb finden fortlaufend unabhängige Untersuchungen statt, die neue Wege zur Reduktion aufweisen.

Eine wichtige Grundlage zur Identifikation von Energieeinsparpotentialen ist die detaillierte Kenntnis des lokalen Verbrauchs über längere Zeiträume - genau hierfür soll das Messtechnikkonzept eine Grundlage liefern. Eine weitgehend digitalisierte Messdatenerfassung und kontinuierliche Datenauswertung ist hier die Basis.

So werden Zählerstände oder Messdaten von Messgeräten vor Ort in regelmäßigen Zeitabständen erfasst, zentral gespeichert und analysiert. Als Werkzeug zur Bewältigung dieser Aufgabe dient dabei eine auf das Energiemanagement spezialisierte Softwareplattform. Zeitintensive Prozesse, wie z.B. das Zusammentragen von Verbrauchsinformationen und Dokumentationen können durch Nutzung der Software optimiert und freigewordene Ressourcen für eine vertiefte Datenanalyse genutzt werden. Hierdurch werden Einsparpotentiale maximal ausgeschöpft.

Das Messtechnikkonzept erfolgt in zwei sachlogischen Schritten:

1. **Erfassung des Objekts im Ist-Zustand**
   - Übersicht der energetischen und messtechnischen Infrastruktur vor Ort
   - Ggf. Empfehlungen zum Ausbau des vorhandenen Messgerätebestands
   - Auswahl relevanter Messgeräte

2. **Ausarbeiten eines Soll-Zustands**
   - Auswertung der gesammelten Daten
   - Identifikation von Optimierungspotentialen
   - Ableitung von nötigen Maßnahmen zur automatisierten Verbrauchserfassung
   - Beschreibung des nötigen technischen Aufbaus

Die in diesem Konzept beschriebenen Maßnahmen erfordern, nach erfolgter Umsetzung, eine kontinuierliche Pflege des Energiemonitorings und Analyse der gesammelten Daten. Dies ist die Schlüsselkomponente zum erfolgreichen Betrieb, denn mögliche Energieeinsparungen zu identifizieren ist keine einmalige Aufgabe.

4.2 Energetischer Ist-Zustand

4.2.1 Allgemeine Beschreibung

Die drei betrachteten Liegenschaften in Feucht sind das Rathaus, die Reichswaldhalle und die Grund- und Mittelschule.

Rathaus

Das Rathaus (vgl. Abbildung 27) ist ursprünglich aus dem Jahr 1600. Es ist ein dreigeschossiger Bau, teilweise mit Fachwerk und hat eine Netto-Gesamtfläche von 1200 m². Neben Büros, Verkehrsflächen und Nebenräumen sind außerdem ein Bürgerbüro, das Standesamt und der Sitzungssaal enthalten. Das Gebäude hat einen eigenen Strom- und Wasseranschluss und wird mit Fernwärme von den Feuchter Gemeindewerken (FGW) beliefert. Zusätzlich ist ein Gasanschluss vorhanden. Ein Gaskessel ist aus Redundanzgründen in der Heizzentrale noch einsatzfähig. Der Großteil der Räume verfügt über eine Raumtemperaturerfassung und Einzelraumregelung. Der Sitzungssaal kann über eine raumlufttechnische Anlage belüftet werden.

Abbildung 27: Rathaus Feucht

Reichswaldhalle

Die Reichswaldhalle (vgl. Abbildung 28) ist ein mehrgeschossiger Funktionsbau aus dem Jahre 1983 mit einer Netto-Gesamt-Fläche von 3700 m². Neben dem Haupt-Veranstaltungssaal gibt es noch einen Nebensaal sowie Nebenräume, wie Sanitärräume und Umkleiden. Außerdem ist eine Kegelbahn enthalten. Die ehemaligen Restauranträumlichkeiten, inklusive Küche, wurden mittlerweile zu Büroräumen umgebaut. Es gibt mehrere Stromzähler, neben dem EVU-Zähler sind ebenfalls Unterzähler für einzelne Nutzungseinheiten vorhanden, jedoch nur ein Erdgas- und ein Wasserzähler. Beheizt wird das Gebäude über einen zentralen Erdgaskessel. Die Veranstaltungssäle, das Foyer, die Büroräume im ehemaligen Restaurant und die Küche können von raumlufttechnischen Anlagen belüftet und beheizt werden. Die Lüftungsanlagen des Restaurants und der Küche sind jedoch stillgelegt.

Abbildung 28: Eingangsbereich Reichswaldhalle

Grund- und Mittelschule

Die Grund- und Mittelschule (Abbildung 29) ist in mehreren Bauabschnitten in den Jahren 1950, 1988 und 1995 entstanden. Insgesamt hat der mehrgeschossige Bau mit mehreren Bauteilen eine Fläche von 7500 m². Der Bau ist zwar organisatorisch in Grundschule (südlicher Teil) und Mittelschule (nördlicher Teil) getrennt, die Einheiten sind aber miteinander verbunden und nicht baulich getrennt. Teilweise wurde eine energetische Sanierung (Außendämmung und Fenstertausch) in den letzten Jahren durchgeführt. In der Mittelschule wurde außerdem ein hydraulischer Abgleich durchgeführt. Ein Teil des Gebäudes wird als Ganztagesschule genutzt, weshalb es auch eine Mensa und entsprechend eine Küche gibt. Die Küche wird von einer RLT-Anlage belüftet. Im Untergeschoss befindet sich die Heizzentrale der FGW. Von hier aus wird die Wärme aus Blockheizkraftwerken und Spitzenlastkesseln in das Nahwärmenetz von Feucht eingespeist. Die Grund- und Mittelschule bezieht ebenfalls Nahwärme aus diesem Wärmenetz. Die Mensa, ein Hort und das Jugendzentrum werden über die Grund- und Mittelschule ebenfalls mit Wärme der FGW versorgt. Für Grund- und Mittelschule sind jeweils ein Wasser- und ein Stromanschluss vorhanden.

Abbildung 29: Luftbild Grund- und Mittelschule Feucht (Satellitenbild Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de)

4.2.2 Energetische Infrastruktur und TGA

Rathaus:

Nachfolgende Abbildungen zeigen die bestehende Infrastruktur für Wärmeverteilung und Lüftung. Es ist demnach ein statischer Heizkreis, ein Heizkreis für die Fußbodenheizung und ein Zubringer für das Lüftungsgerät vorhanden. Wärmequelle ist der Fernwärmeanschluss der Feuchter Gemeindewerke (vgl. Abbildung 32). Eine Warmwasserbereitung erfolgt nicht. Die Heizzentrale befindet sich im Untergeschoss. Der als Redundanz vorhandene Kessel soll hier nicht weiter betrachtet werden. Die Regelung der Heizungsanlage erfolgt über eine zentrale Gebäudeleittechnik. Die Lüftungsanlage wird händisch bei Bedarf eingeschaltet. Die Benutzung erfolgt nur bei Sitzungen und äußerst sporadisch.

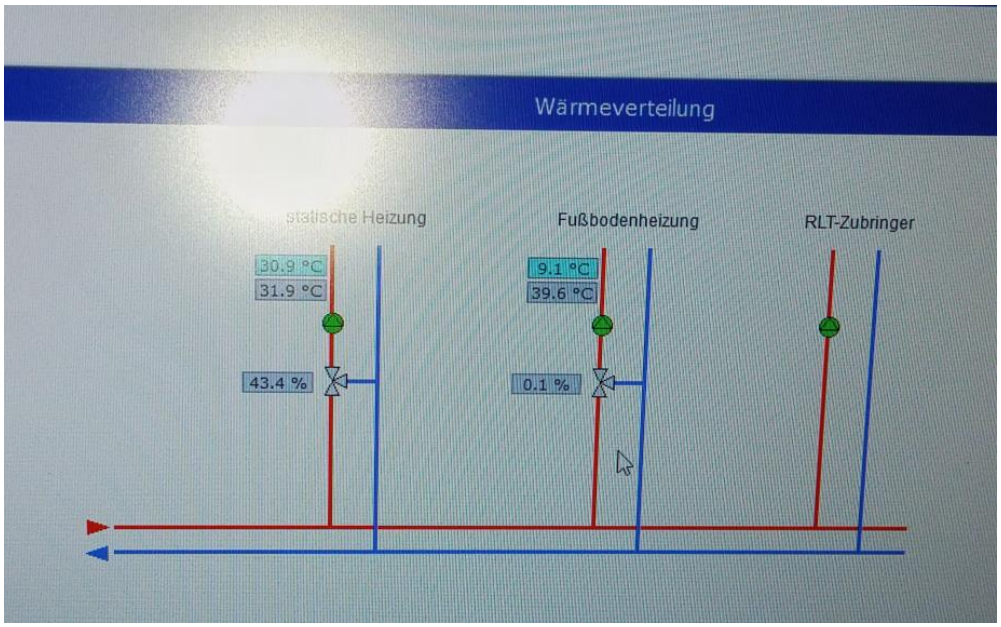


Abbildung 30: Schematische Darstellung der Heizungsverteilung

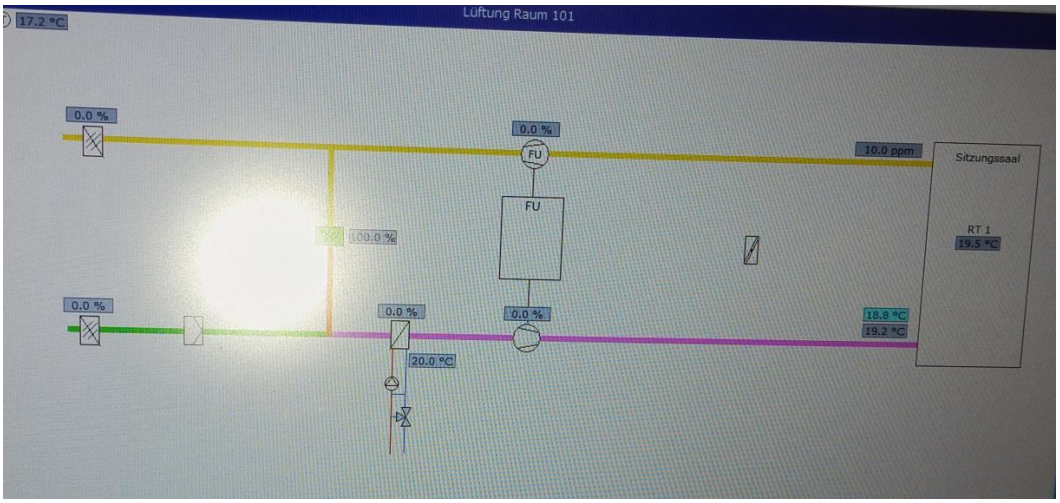


Abbildung 31: Lüftungsschema Sitzungssaal Rathaus

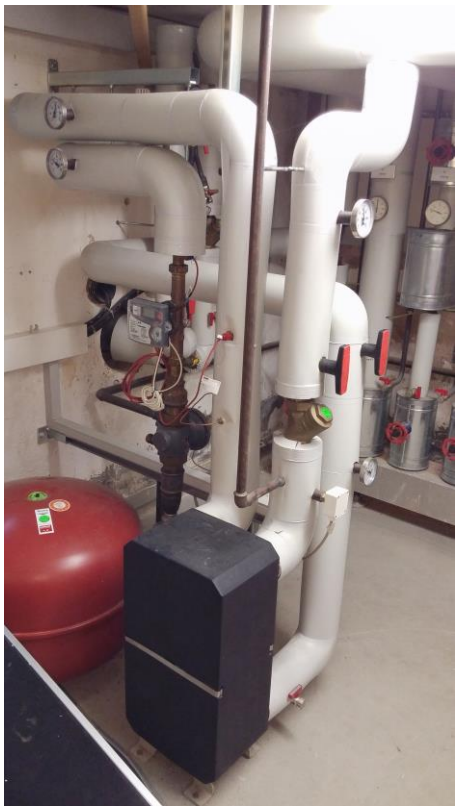


Abbildung 32: Fernwärmeanschluss Rathaus

Reichswaldhalle:

Abbildung 33 zeigt die bestehende Infrastruktur der Heizungsverteilung in der Reichswaldhalle. Es sind demnach zwei statische Heizkreise, zwei Heizkreise für Fußbodenheizungen, zwei Zubringer für Lüftungsgeräte sowie ein Boiler vorhanden, wobei letzterer stillgelegt ist. Wärmequelle ist der Erdgaskessel Buderus SB 615 mit einer Nennwärmeleistung von 290 kW (vgl. Abbildung 34). Eine Warmwasserbereitung erfolgt nicht mehr. Die Heizzentrale befindet sich im Untergeschoss. Die Regelung der Heizungsanlage, der Ventile und Pumpen erfolgt über den Schaltschrank in der Heizzentrale. Die genaue Parametrierung ist jedoch ungewiss, Änderungen können nur bedingt vorgenommen werden. Die Lüftungszentrale befindet sich im Dachgeschoss. Die beiden Lüftungsgeräte des Atriums und des Foyers (vgl. Abbildung 35) sind noch in Betrieb. Die Steuerung erfolgt über den Bedienschrank im Erdgeschoss neben dem Eingang. Anlage 1 ist mit Frequenzumrichtern ausgestattet. Die Daten der beiden Lüftungsanlagen zeigt Tabelle 4.

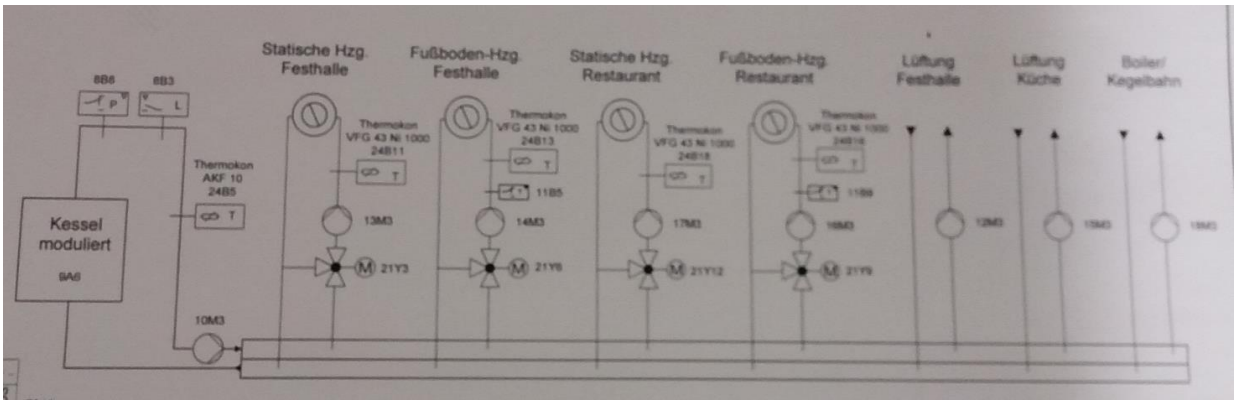


Abbildung 33: Heizungsschema Reichswaldhalle

Abbildung 34: Erdgaskessel Reichswaldhalle

Abbildung 35: RLT-Anlage Foyer

Tabelle 4: RLT-Anlagen Reichswaldhalle

	RLT 1 Festsaal	RLT 2 Foyer
Bezeichnung	Robatherm RK-140	Robatherm RK 65
Zuluftmenge	15.000 m³/h	6.500 m³/h
Abluftmenge	15.000 m³/h	5.000 m³/h
Max. Motorleistung	9 kW / 5,5 kW	4,2 kW / 1,3
Heizleistung	235 kW	80 kW

Grund- und Mittelschule:

Abbildung 36, Abbildung 37 und Abbildung 38 zeigen die bestehende Infrastruktur der Heizungsverteilung in der Grund- und Mittelschule. Es sind demnach sieben statische Heizkreise, drei Heizkreise für Fußbodenheizungen und ein Zubringer für ein Lüftungsgerät vorhanden, welche von einem Hauptverteiler und zwei Unterverteilern versorgt werden. Wärmequelle ist die Fernwärmeübergabestation mit einer Anschlussleistung von 600 kW (vgl. Abbildung 39). Eine Warmwasserbereitung erfolgt nicht. Die Heizzentrale befindet sich im Untergeschoss des Grundschultraktes. Die Regelung der Heizungsanlage, der Ventile und Pumpen erfolgt über Heizkreisregelmodule des Herstellers Buderus in jeder Zentrale bzw. Unterstation. Änderungen an den Parametern und Heizzeiten müssen an jeder dezentralen Station durchgeführt werden. Die Lüftungsanlage der Küche soll hier nicht näher betrachtet werden.

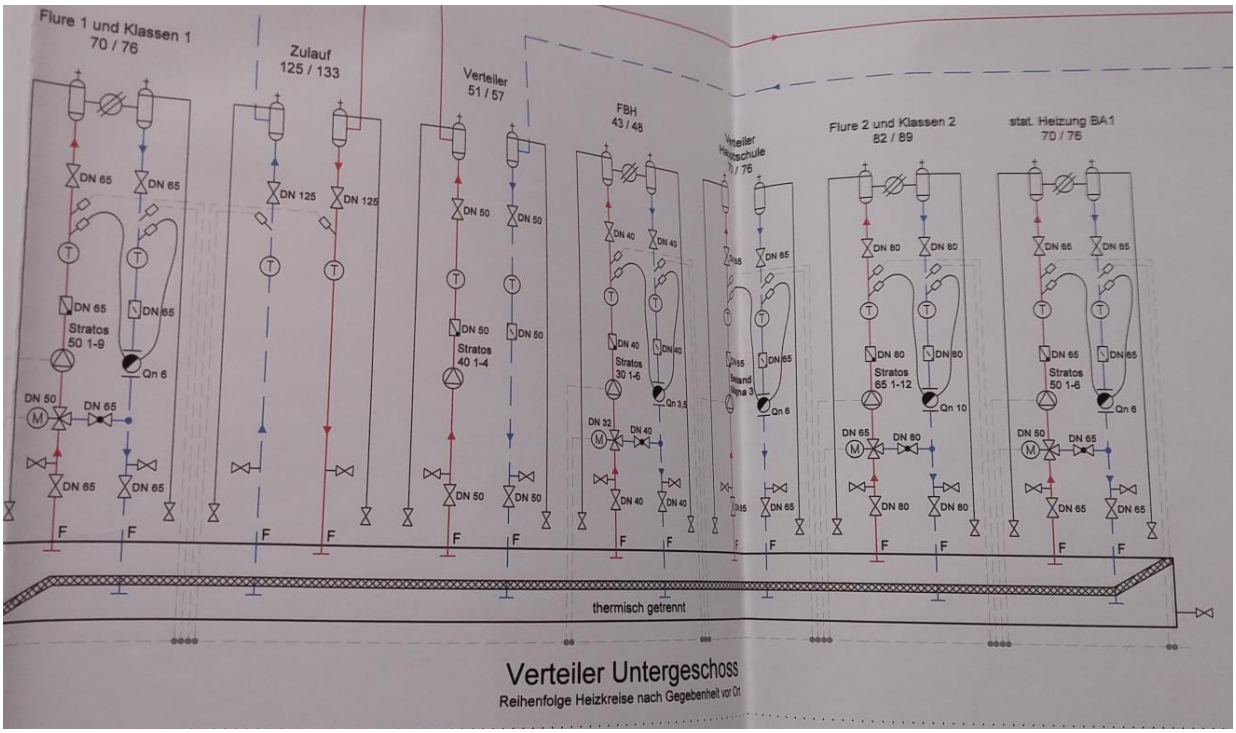


Abbildung 36: Heizhauptverteiler Grundschule UG

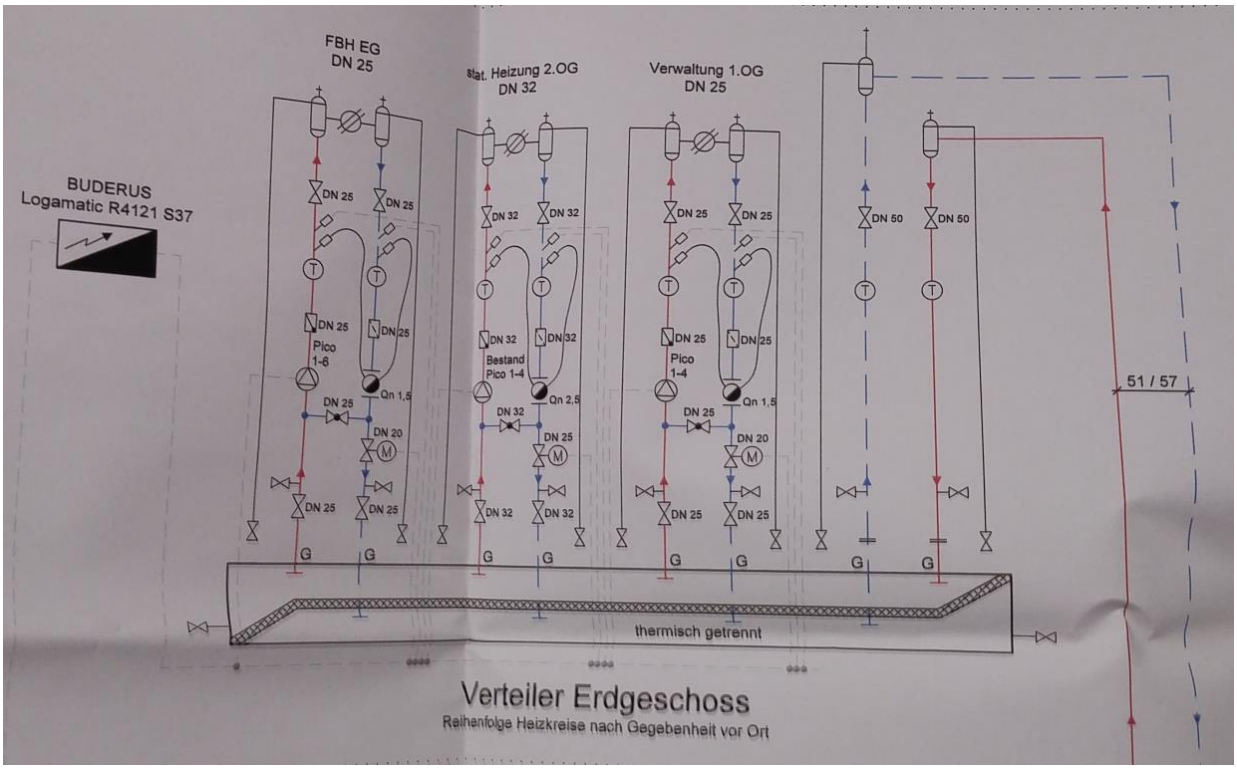


Abbildung 37: Heizunterverteiler Grundschule EG

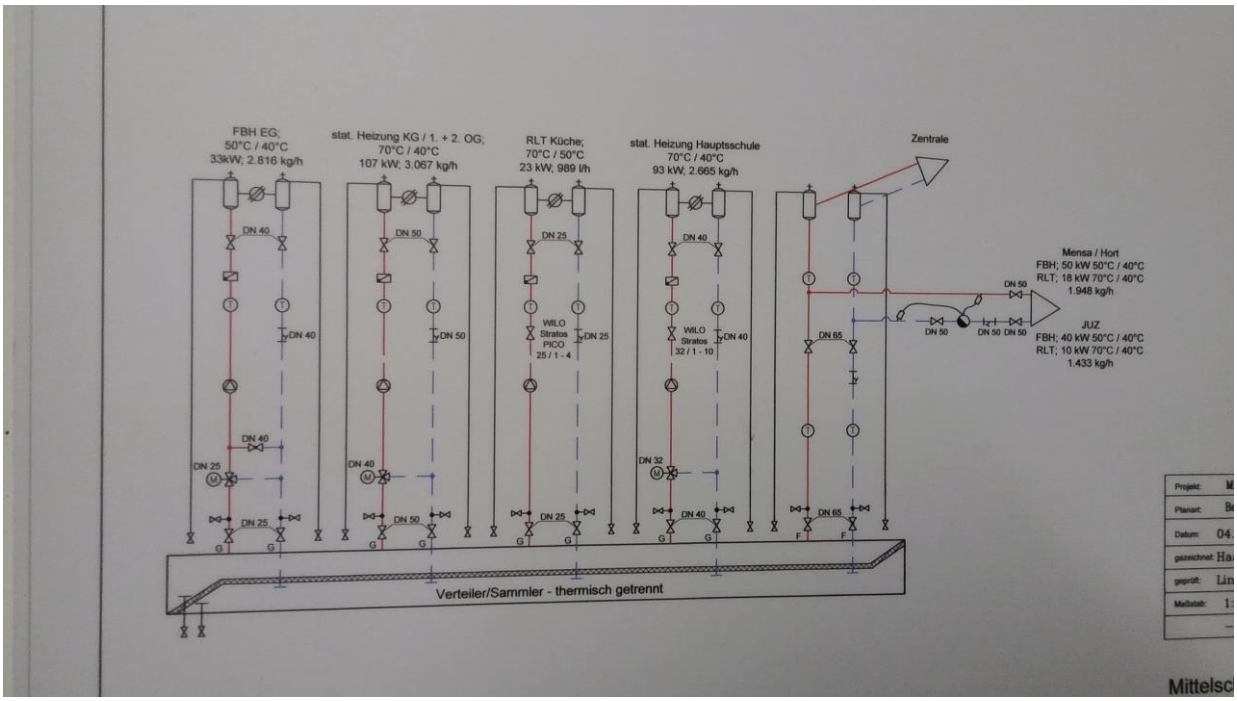


Abbildung 38: Heizunterverteiler Hauptschule EG

Abbildung 39: Fernwärmeübergabestation Grund- und Mittelschule

Die Stromversorgung aller Liegenschaften erfolgt ausschließlich aus dem Stromnetz. Eigenerzeugungsanlagen sind nicht vorhanden.

Jede Liegenschaft verfügt über einen eigenen Wasseranschluss. In der Grund- und Mittelschule ist für jede der beiden Schulen ein Anschluss vorhanden.

4.2.3 Energieverbräuche und Kosten

Die betrachteten Liegenschaften verzeichneten im Bezugsjahr 2019 einen Stromverbrauch von 251.190 kWh. Den größten Anteil mit rund 55 % hieran hat die Grund- und Mittelschule. Die Reichswaldhalle hat einen Anteil von 29 %, das Rathaus verursacht 16 %. Der Nutzwärmeverbrauch betrug im Jahr 2019 insgesamt knapp 915.000 kWh_{th}. Witterungsbereinigt anhand der Gradtagszahlen des langjährigen Mittels ergibt sich ein Verbrauch von 1.036.000 kWh_{th}. Der Wasserverbrauch der drei Liegenschaften betrug im Jahr 2019 1436 m^3. Auch hier ist der größte Verbraucher die Grund- und Mittelschule mit 922 m^3. Auf die Reichswaldhalle entfallen 229 m^3, auf das Rathaus 285 m^3. Die Aufteilung der Strom-, Wasser- und Wärmeverbräuche zeigen Abbildung 40, Abbildung 41 und Abbildung 42.

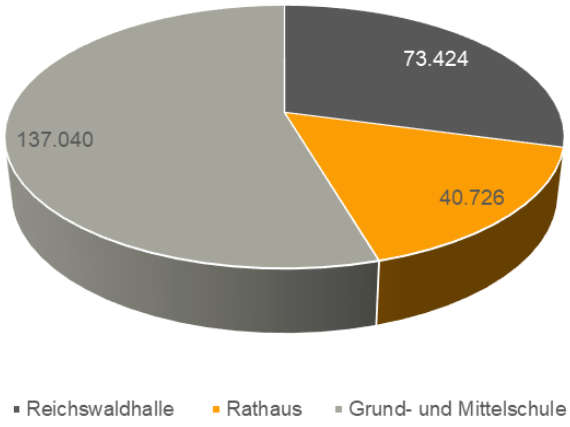


Abbildung 40: Aufteilung Stromverbrauch 2019 [kWh/a]

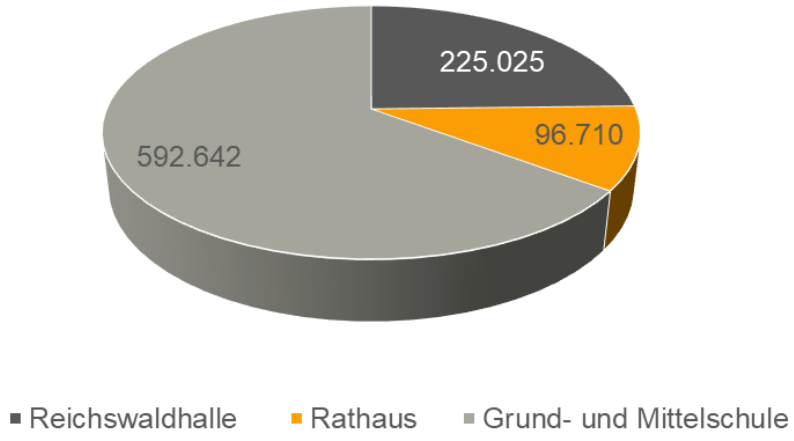


Abbildung 41: Aufteilung Nutzwärmeverbrauch 2019 [kWh/a]

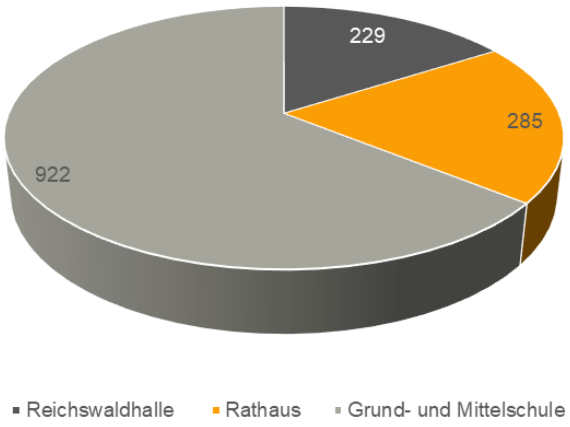


Abbildung 42: Aufteilung Wasserverbrauch 2019 [m³/a]

Spezifische Kennzahlen:

Der mittlere, witterungsbereinigte, spezifische Heizwärmeverbrauch der Jahre 2017 bis 2019 ist in Abbildung 43 dargestellt. Dargestellt ist die thermische Energie, die für das Heizen verwendet wird, bezogen auf die Netto-Grundfläche der Gebäude. Zum Vergleich sind die Richt- und Mittelwerte der VDI 3807 für die jeweils passende Gebäudekategorie dargestellt. Alle drei Liegenschaften liegen dabei zwischen dem Mittelwert und dem Richtwert. Berücksichtigt man, dass die Datenerhebung für die VDI 3807 Anfang der 1990er Jahre erfolgte, sollte der Richtwert als Maßstab dienen und nicht der Mittelwert des damaligen Gebäudebestands. Es wird also deutlich, dass noch ein Einsparpotential anhand dieser Kennzahlen im Bereich Wärmeverbrauch besteht.

Das Bild beim spezifischen Stromverbrauch, vergleiche Abbildung 44, ist etwas anders. Hier sind die Mittelwerte der Jahre 2017 bis 2019 allesamt höher als der Richtwert und auch höher als der Mittelwert der VDI 3807 in der jeweiligen Gebäudekategorie. Jedoch muss hier erwähnt werden, dass Anfang der 1990er Jahre der Technologie-Standard noch nicht so hoch war wie heute. Die elektronischen Lehrmittel nehmen in den Schulen immer mehr zu, genauso die elektronische Verwaltung in den Rathäusern. Das scheinbare Bild, das beim Blick auf die spezifischen Stromverbräuche entsteht, sollte also noch relativiert werden, bevor der Eindruck entsteht, dass die Liegenschaften verschwenderisch hohe Stromverbräuche haben.

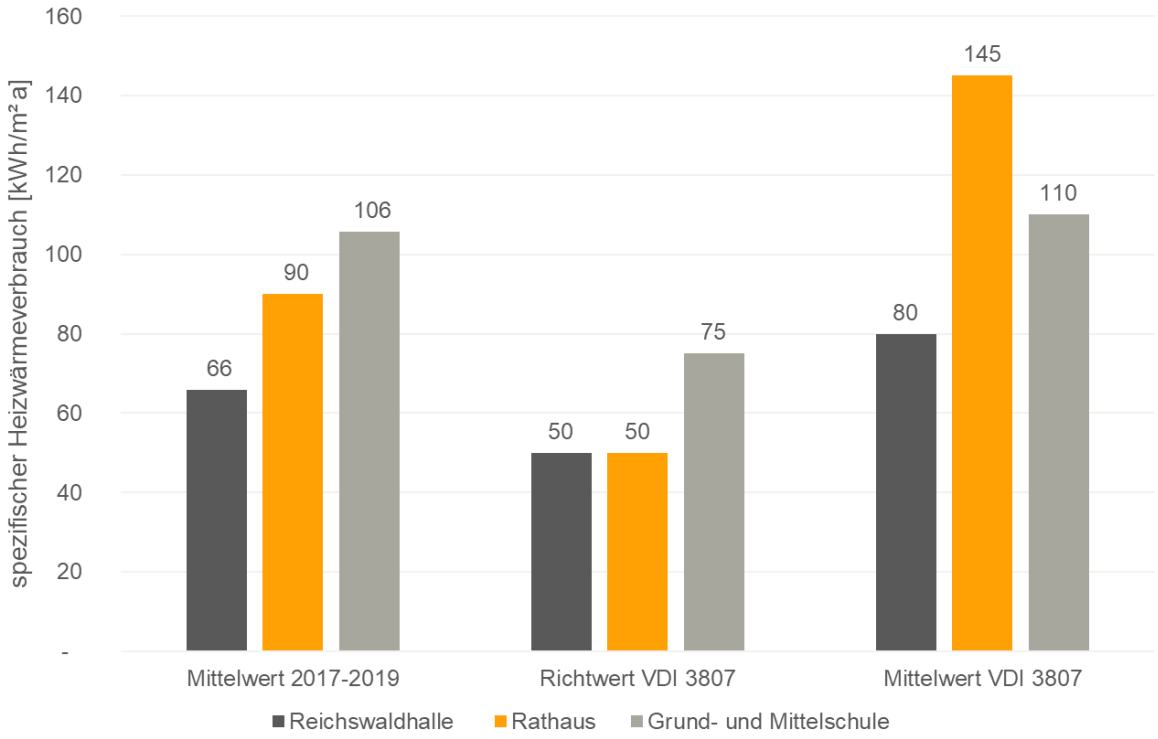


Abbildung 43: Spezifischer Heizwärmeverbrauch

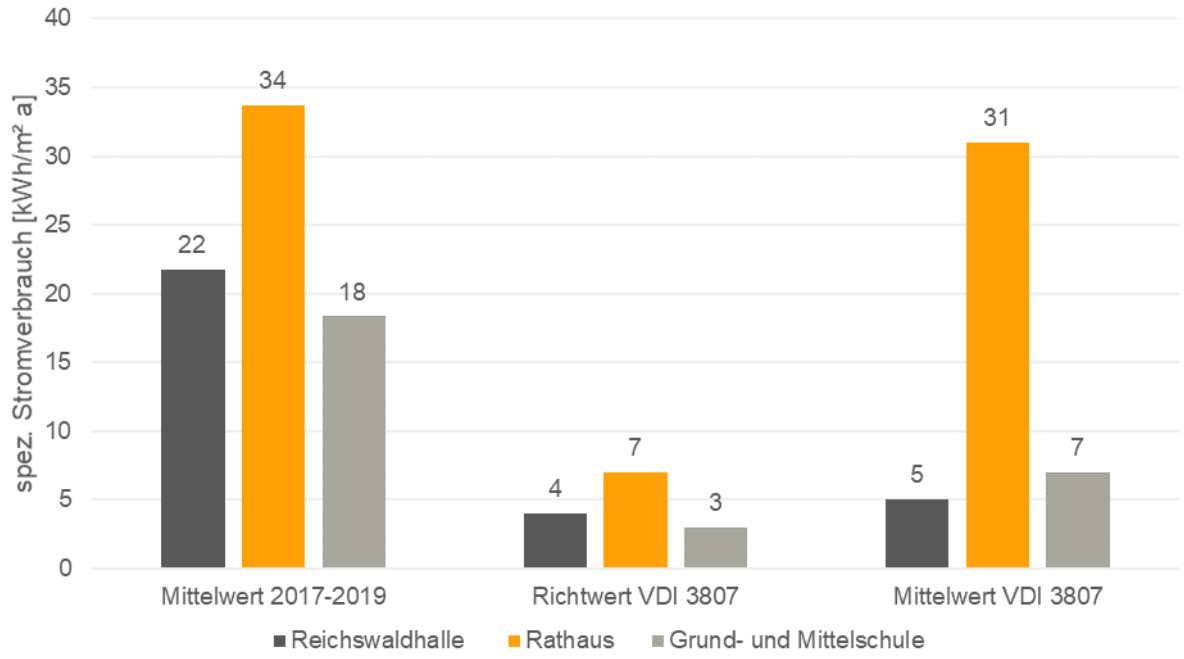


Abbildung 44: Spezifischer Stromverbrauch

Kosten:

Die aus diesen Verbräuchen resultierenden Kosten betragen für das Jahr 2019 rund 135.000 € netto. Hierbei entfallen nur 3 % auf die Kosten für Wasser, 42 % der Kosten sind dem Energieträger Strom zuzuordnen. Den größten Anteil an den Energie- und Wasserkosten verursacht die Grund- und Mittelschule mit knapp 81.000 €. Die Kosten für die Reichswaldhalle betragen knapp 25.000 € und die Kosten für das Rathaus knapp 18.000 €. In der Grund- und Mittelschule sind die Wärmekosten anteilig am größten, in der Reichswaldhalle und im Rathaus sind es die Stromkosten. Die Wasserkosten haben in keiner Liegenschaft einen sonderlich hohen Anteil.

4.2.4 CO_2-Bilanz

Die emittierten Mengen an Kohlendioxid belaufen sich insgesamt auf 192,4 t/a. Den größten Anteil verursacht hier die Grund- und Mittelschule mit 117,5 t/a. Die Reichswaldhalle hat einen Anteil von 26 %. Das Rathaus ist mit knapp 25 t/a der kleinste Kohlendioxidverursacher. Da alle Liegenschaften einen Ökostromtarif beziehen, welcher von den Feuchter Gemeindewerken mit einem CO_2-Emissionsfaktor von 0,0 g/kWh angegeben wird, ist der abgebildete CO_2-Ausstoß lediglich dem Wärmeverbrauch zuzuordnen. Hier wurde mit den Emissionsfaktoren der BAFA gerechnet. Diese betragen 202 g/kWh für Erdgas und 280 g/kWh für Nah-/Fernwärme. Die Emissionen, aufgeteilt nach Liegenschaften, zeigt Abbildung 45. Durch den Ökostromtarif ist die CO_2-Bilanz der betrachteten Liegenschaften bereits auf einem guten Niveau. Jedoch bietet der Wärmebereich noch Verbesserungspotential, da hier die Wärmeerzeugung komplett auf dem fossilen Energieträger Erdgas basiert. Die Fernwärme, die in Rathaus und Schule bezogen wird, wird von den Feuchter Gemeindewerken in Erdgas-Blockheizkraftwerken und Gas-Spitzenlastkesseln erzeugt.

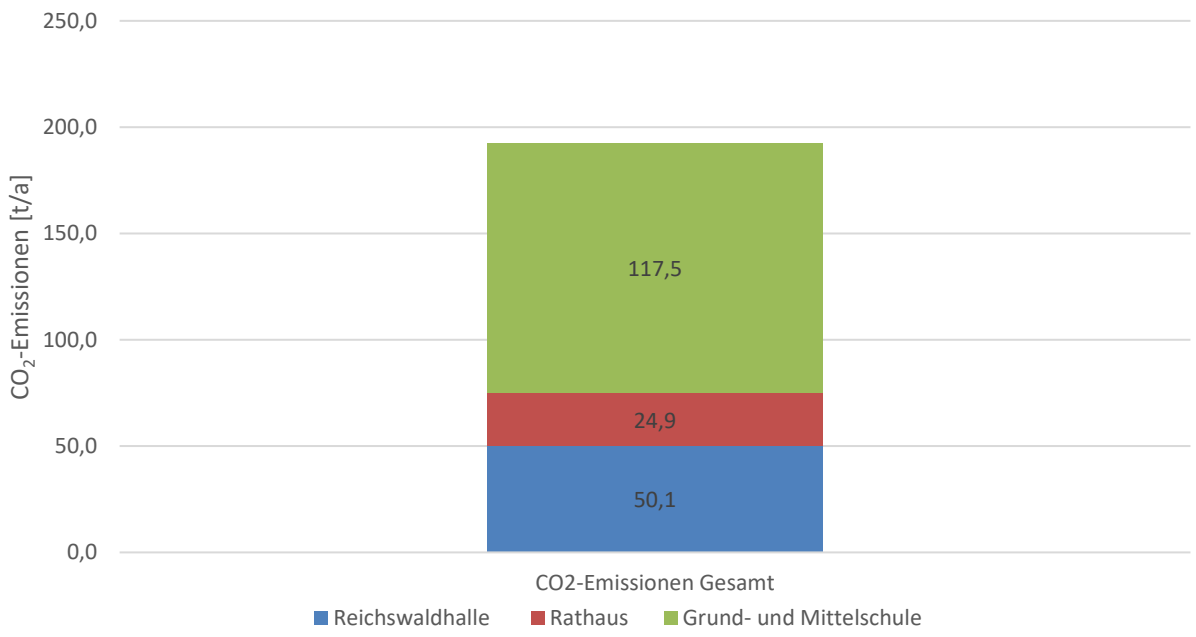


Abbildung 45: Aufteilung CO_2-Emissionen

4.3 Schwachstellenanalyse/ Einsparmaßnahmen

4.3.1 Schwachstellenanalyse

Trotz des relativ hohen Alters der Vergleichskennwerte aus der VDI 3807 für den Energieträger Strom, ist deutlich, dass im Bereich Strom ein gewisses Einsparpotential zu finden ist. Vor allem die Beleuchtung im Rathaus und der Reichswaldhalle bietet noch Verbesserungsmöglichkeiten hinsichtlich Energieeffizienz. In der Grund- und Mittelschule wurden Teile bereits auf effiziente LED-Technologie umgestellt. Hier kann eine komplette Umstellung auf LED-Leuchten oder wahlweise der Einsatz von LED-Retrofit empfohlen werden. Die höhere Effizienz der LED im Vergleich zum Ist-Zustand verwendeten Leuchtstoffröhren und Kompaktleuchtmitteln zeigt Abbildung 46. Ein weiteres Effizienzsteigerungspotential bieten tageslichtabhängige Steuerungen und Bewegungsmelder für Verkehrsflächen.

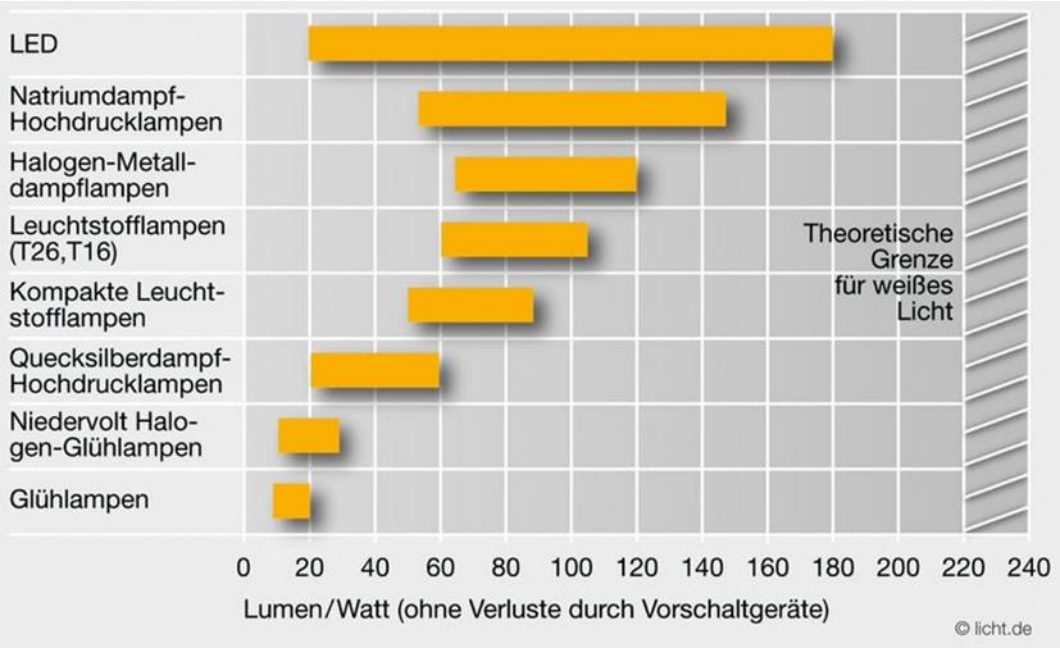


Abbildung 46: Lichtausbeute verschiedener Leuchtmittel [Quelle: https://licht.de]

Auch im Bereich Wärme ist laut den Kennzahlen aus Kapitel 4.2.3 ein gewisses Einsparpotential zu erkennen. Eine bedarfsangepasste Heizungsregelung ist anzustreben. Es soll versucht werden mit Echtzeit-Informationen und entsprechenden Regelinstrumenten nur so viel zu heizen, wie für die Herstellung der Komfort-Bedingungen in der jeweiligen Nutzungszone nötig ist. Teilweise wird dies, wie beispielsweise im Rathaus, bereits über Einzelraumregelungen realisiert.

4.3.2 Maßnahmen im Bereich Beleuchtung

Rathaus:

Im Rathaus können die Kompaktleuchtmittel in den Fluren durch entsprechende Retrofits ersetzt werden. Ebenso können in den Büros und im Sitzungssaal die T8-Leuchtstoffröhren gegen LED-Röhren getauscht werden. Die Leuchten sind noch in einem guten Zustand, sodass ein Leuchtmitteltausch hier eine kostengünstige Einsparung bietet. Das Vorschaltgerät kann in beiden Fällen theoretisch weiter betrieben werden. Alternativ kann das Vorschaltgerät aus der Leuchte auch entfernt werden. Bei dieser sogenannten Konversionslösung muss dann jedoch eine neue Elektrogerätezulassung von einer Elektrofachfirma ausgestellt werden. Entsprechende Retrofit-Lösungen gibt es für beide Varianten. Durch den Tausch der 71 Leuchtmittel in den 55 Leuchten kann mit einer Investition von knapp 2.000 € eine Einsparung von 2.430 kWh/a erreicht werden. Dies entspricht einer monetären Einsparung von 538 € pro Jahr.

Ohne Strompreissteigerung ergibt sich eine statische Amortisationszeit von 4,3 Jahren. Die Anschlussleistung kann von 2,8 kW auf 1,2 kW reduziert werden. Auf die Einhaltung der Beleuchtungsstärke, vor allem in den Arbeitsbereichen, ist zu achten. Die ausgewählten Retrofit-Lösungen haben laut Herstellerangaben ungefähr eine ähnliche Lichtausbeute wie die Leuchtmittel im Ist-Zustand.

Reichswaldhalle:

In der durch Veranstaltungen genutzten Halle fallen vor allem die Beleuchtung des Foyers und des Saals auf. Hier sind noch Glühlampen mit sehr schlechter Lichtausbeute in hoher Anzahl vorhanden. Durch den Ersatz dieser Leuchtmittel durch LED-Retrofit kann die Anschlussleistung von 4,3 kW auf 0,5 kW gesenkt werden. Bei einer angenommenen Brenndauer von 1.000 h/a ergibt sich somit eine Einsparung von 3.700 kWh/a. Bei den aktuellen Strompreisen entspricht dies einer Einsparung von 783 €/a. Mit den aktuell marktüblichen Preisen ergibt sich eine nötige Investition von etwa 2.600 €, was zu einer statischen Amortisation von 3,3 Jahren führt. Bis ein passendes Beleuchtungskonzept mit neuen LED-Leuchten erstellt ist, sollte der Kompletttausch auf LED-Retrofit mit G-23 Sockel umgesetzt werden.

Grund- und Mittelschule:

Die Beleuchtung der Mittelschule ist bereits auf LED-Technologie umgestellt. Der Teil Grundschule ist noch mit konventionellen T5-Leuchtstoffröhren ausgestattet. Hier würde sich eine Umrüstung anbieten. Aufgrund der vorhandenen Odenwalddecke können hier LED-Einlegeleuchten empfohlen werden. Als Beispiel wurde ein Klassenzimmer näher betrachtet. Dabei wurde der Ist-Zustand aufgenommen und eine softwaregestützte Simulation mit den Leuchten des Soll-Zustands erstellt. Die verwendete Leuchte ist eine LED-Einlegeleuchte mit einer Systemleistung von 30 W und einem Lichtstrom von 3651 Lumen, was einer Lichtausbeute von 122 lm/W entspricht. Um die in Klassenzimmern vorgeschriebene Beleuchtungsstärke von 300 lx zu erreichen, werden im betrachteten Klassenzimmer 12 Einlegeleuchten benötigt. Die Ergebnisse der Simulation zeigen Abbildung 47 und Abbildung 48. Die Einsparung des Stromverbrauchs für dieses Klassenzimmer beträgt, bei gleichbleibender Beleuchtungsdauer, rund 400 kWh/a, was bei gleichbleibenden Stromkosten 85 €/a entspricht. Bei den voraussichtlichen Investitionskosten von 1.350 € ergibt sich eine statische Amortisation von mehr als 15 Jahren. Für neue LED-Leuchten können, unter Einhaltung gewisser Fördervoraussetzungen, Fördermittel über den Projektträger Jülich in Anspruch genommen werden.

Hierzu müssen jedoch in Klassenräumen noch tageslichtabhängige Steuerungen integriert werden, was zwar die Investition, aber auch die Einsparung erhöht. Diese Variante sollte also, auch wegen der höher zu erwartenden Einsparung, favorisiert werden.

Abbildung 47: Simulation Klassenzimmer

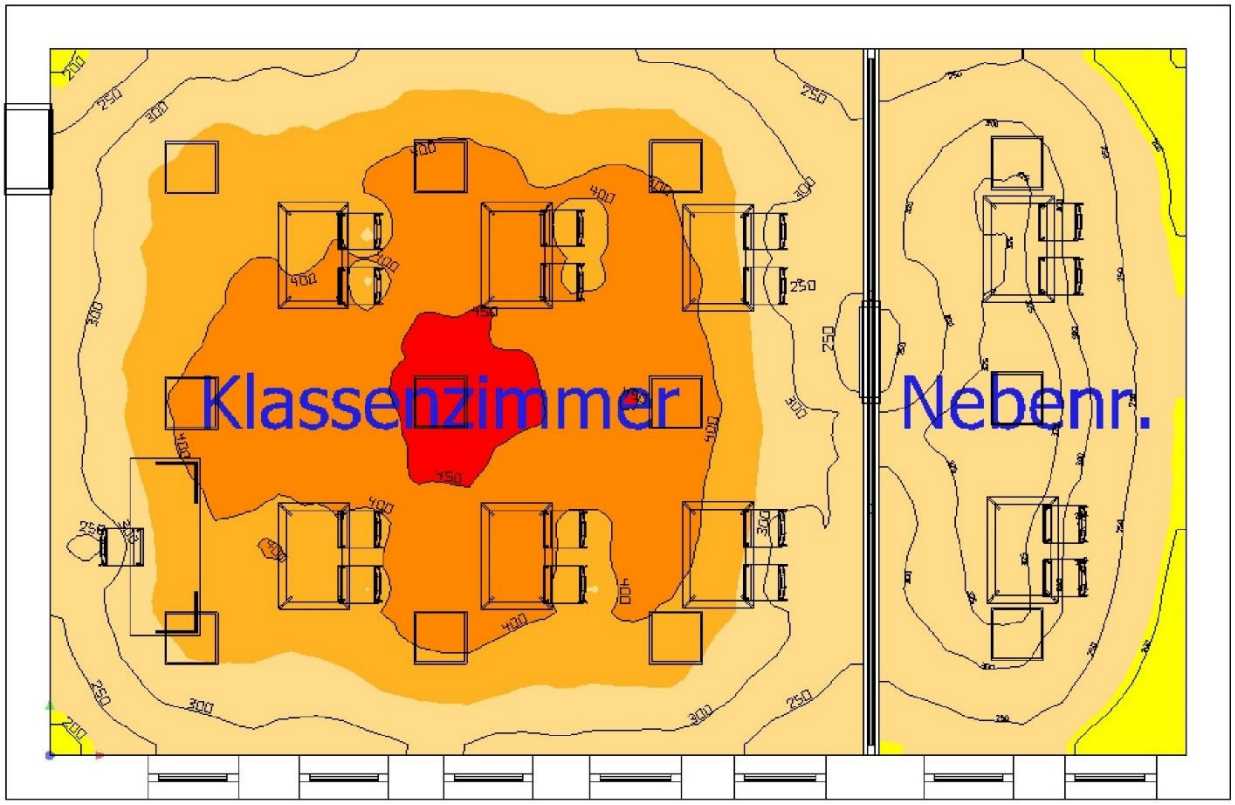


Abbildung 48: Verteilung Beleuchtungsstärke in Lux Simulation Klassenzimmer

4.3.3 Maßnahmen im Bereich Heizung

Rathaus:

Im Rathaus gibt es geringfügiges Einsparpotential durch eine Optimierung der Regelungseinstellung der Heizungsanlage. Am Begehungstermin im Mai 2020 war die Lüftungsanlage des Sitzungssaales aus, dennoch wurde von der Lüftung die Pumpe angefordert und es wurde Wasser mit 60°C im Vorlauf im Kreis gepumpt. Bei einer Außentemperatur von 17°C, einer Raumtemperatur von 19,5°C und einer errechneten Soll-Raumtemperatur im Sitzungssaal von 18,8 C wäre dies nicht zwingend nötig. Insbesondere deswegen, weil keine Nutzung des Sitzungssaales in Aussicht war. Die Freigabe der Pumpe sollte (ausgenommen Frostschutz) nur zu Zeiten erfolgen, in denen eine absehbare Nutzung erfolgt und der Ist-Wert der Raumtemperatur deutlich unter dem Soll-Wert liegt. Bei einer Temperaturspreizung von 20 K und einem Volumenstrom der verbauten Pumpe (Alpha 2 32-60 Stufe III) von 0,5 - 1,2 m³/h ergibt sich ein vermeidbarer Wärmeverlust von 10-23 kW. Am Begehungstag war, laut analoger Temperaturfühler, sogar eine Spreizung von 30 K im Zubringer der Lüftungsanlage zu messen. Zu empfehlen wäre auch eine zeitprogrammabhängige Steuerung für die Lüftungsanlage und den Zubringer. Die Zeiten für die Sitzungen müssen dann entsprechend in die Steuerung eingepflegt werden.

Des Weiteren wurden im Rathaus die Fenster als Schwachstelle erkannt und in Eigenregie der Tausch im Jahr 2020 angestoßen und durchgeführt. Eine Auswirkung auf die Heizenergieverbräuche sollte hier beobachtet werden können.

Grund- und Mittelschule:

Bei der Begehung wurden die Einstellungen der Heizkreisregler überprüft. Dabei konnte identifiziert werden, dass teilweise eine Beheizung an den Wochenenden laut eingestellter Zeiten (samstags und sonntags von 07:30 – 12:00 Uhr) auf eine Soll-Raumtemperatur von 25°C eingestellt war. Eine Überprüfung und bedarfsgerechte Anpassung der Heizzeiten für alle Heizkreise wird empfohlen.

Bei den eingestellten Parametern kann folgende Beispielrechnung zu einer möglichen Einsparung erstellt werden:

Wird für das Wochenende komplett eine Soll-Temperatur von 17°C anstatt 25°C für 9 h/w mit der durchschnittlichen Außentemperatur für Nürnberg gerechnet, ergibt sich eine Einsparung von 567 kWh/a bei angenommenen 200 m² Nutzfläche für diesen Heizkreis. Optional können noch Raumpräsenzmelder mit elektrischen Thermostatventilen zur bedarfsgerechten Beheizung der Klassenzimmer nachgerüstet werden. So können raumweise Komfort- und Absenktemperaturen eingestellt werden und in Zeiten ohne Nutzung eine Beheizung vermieden werden.

Reichswaldhalle:

In der Reichswaldhalle ist die komplette Regelung der Heizungs- und Lüftungsanlage verbesserungswürdig. Es können keine Schaltzeiten und Parameter nachvollzogen werden, da es keine Visualisierung oder Benutzeroberfläche gibt. Das Personal kann also lediglich manuell eingreifen. Eine zentrale Gebäudeleittechnik mit Erfassung aller relevanten Temperaturen, Betriebszuständen und Schaltbefehlen wird unbedingt empfohlen. Da die zukünftige Wärmeversorgung jedoch ungewiss ist, sollte hier eine vernünftige, gesamtheitliche Lösung, unter der eventuellen Berücksichtigung der Wärmeversorgung von Nachbargebäuden, ermittelt werden.

4.3.4 Zusammenfassung

Untenstehende Tabelle 5 zeigt die oben beschriebenen Maßnahmen zusammengefasst. Dargestellt sind die Einsparung in kWh Strom bzw. Wärme, die entsprechende jährliche Einsparung in €, die Investitionskosten und die statische Amortisation. Alle dargestellten Maßnahmen refinanzieren sich innerhalb der Lebensdauer und sind demnach aus wirtschaftlicher Sicht ebenso zu empfehlen, wie aus ökologischer Sicht. Darüber hinaus ergibt sich eine Einsparung von 0,16 t/a an Kohlendioxidemissionen.

Tabelle 5: Zusammenfassung Maßnahmen

Nr	Bezeichnung	Einsparung Strom/Wärme [kWh/a]	Einsparung [€/a]	Investition [€]	stat. Amortisation [a]
1	Leuchtmitteltausch Rathaus (Flure und Büros)	2.430	538	1.974 €	4,3
2	Leuchtmitteltausch Reichswaldhalle (Saal und Foyer)	3.763	783	2.604 €	3,3
3	Neue LED-Leuchten (ein Klassenzimmer Grundschule)	400	85	1.350 €	10
4	Absenken Raumtemperatur Grundschule am Wochenende	579	48	- €	-
	Summe	**7.172**	**1453**	**5.928 €**	**4,1**

4.4 Messtechnikkonzept

4.4.1 Übersicht Messgeräte

Zur Erfassung von Energieströmen sind diverse Messgeräte in den Liegenschaften vorhanden, die in diesem Abschnitt zusammengefasst aufgelistet werden und im weiteren Verlauf jeweils im Detail betrachtet werden.

Abbildung 49 zeigt den jeweiligen Installationsort der Messgeräte im Rathaus. Tabelle 6 gibt Aufschluss über die zugehörigen Bezeichnungen.

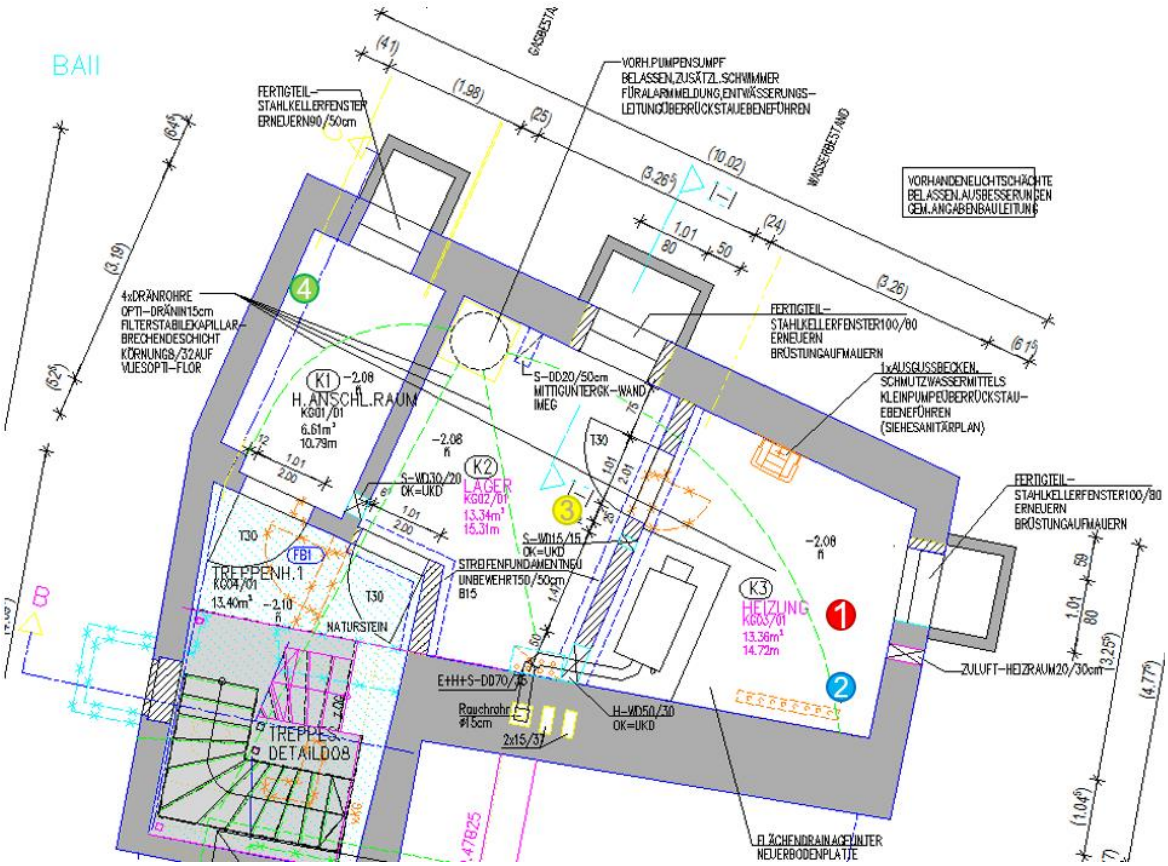


Abbildung 49: Standort Zähler Untergeschoss Rathaus

Tabelle 6: Bezeichnung Zähler Rathaus

Nr.	Bezeichnung	Versorgter Bereich
1	Wärmemengenzähler	Rathaus
2	Wasserzähler	Rathaus
3	Erdgaszähler	Redundanz Erdgaskessel
4	Stromzähler	Rathaus

Abbildung 50 zeigt den jeweiligen Installationsort der Messgeräte in der Reichswaldhalle. Tabelle 7 liefert die zugehörige Bezeichnung.

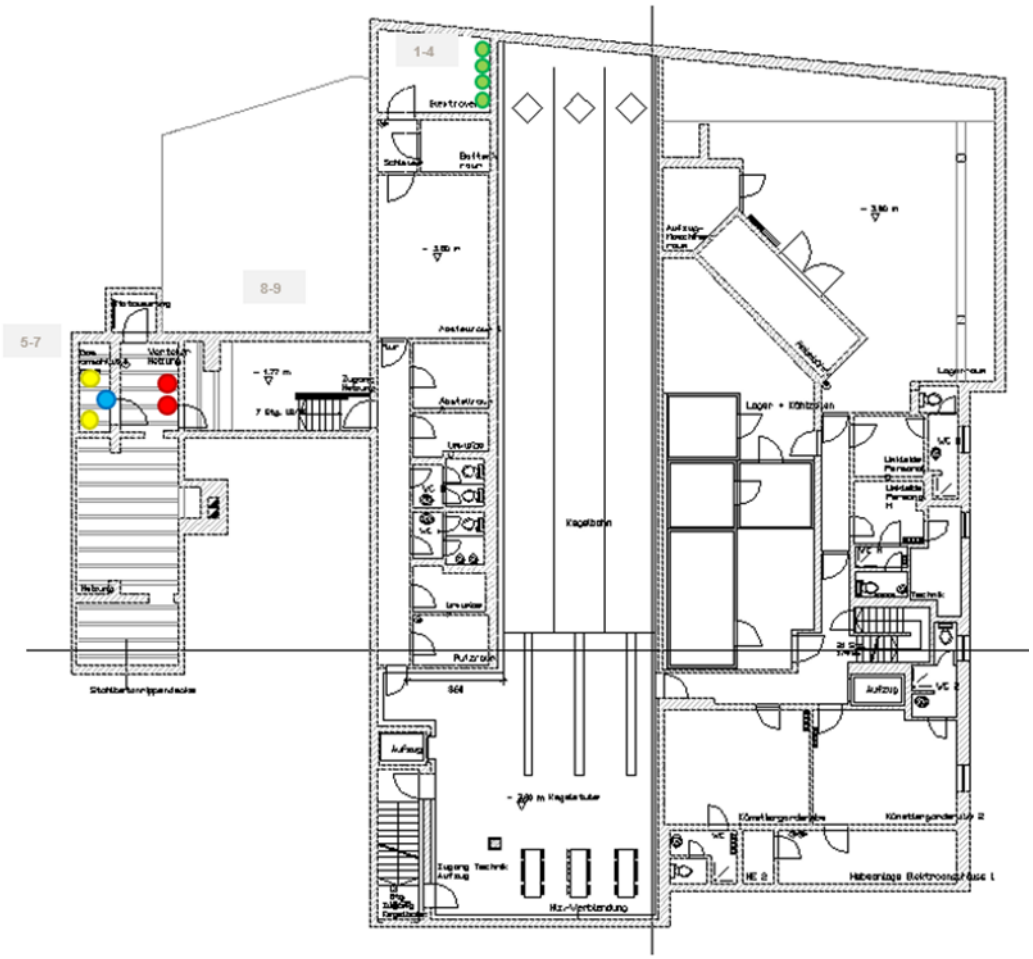


Abbildung 50: Standort Zähler Untergeschoss Reichswaldhalle

Tabelle 7: Bezeichnung Zähler Reichswaldhalle

Nr.	Bezeichnung	Versorgter Bereich
1	Stromzähler U3	Festhalle, Lüftung, Kegelbahn, Aufzüge, Boiler, Wohnung
2	Stromzähler U2	Gaststätte, Lüftung Gaststätte, Kühlmaschinen
3	Stromzähler U4	Kegelbahn
4	Stromzähler E1.1	Ladestation Elektroautos
5	Hauptwasserzähler	Gesamt
6	Haupterdgaszähler	Erdgas-Kessel
7	Erdgaszähler	Büroräume (ehem. Restaurant)
8	Wärmemengenzähler 1	Festhalle
9	Wärmemengenzähler 2	Büroräume (ehem. Restaurant)

Abbildung 51 bis Abbildung 53 zeigen den jeweiligen Installationsort der Messgeräte in der Grund- und Mittelschule. Tabelle 8 liefert die zugehörige Bezeichnung.

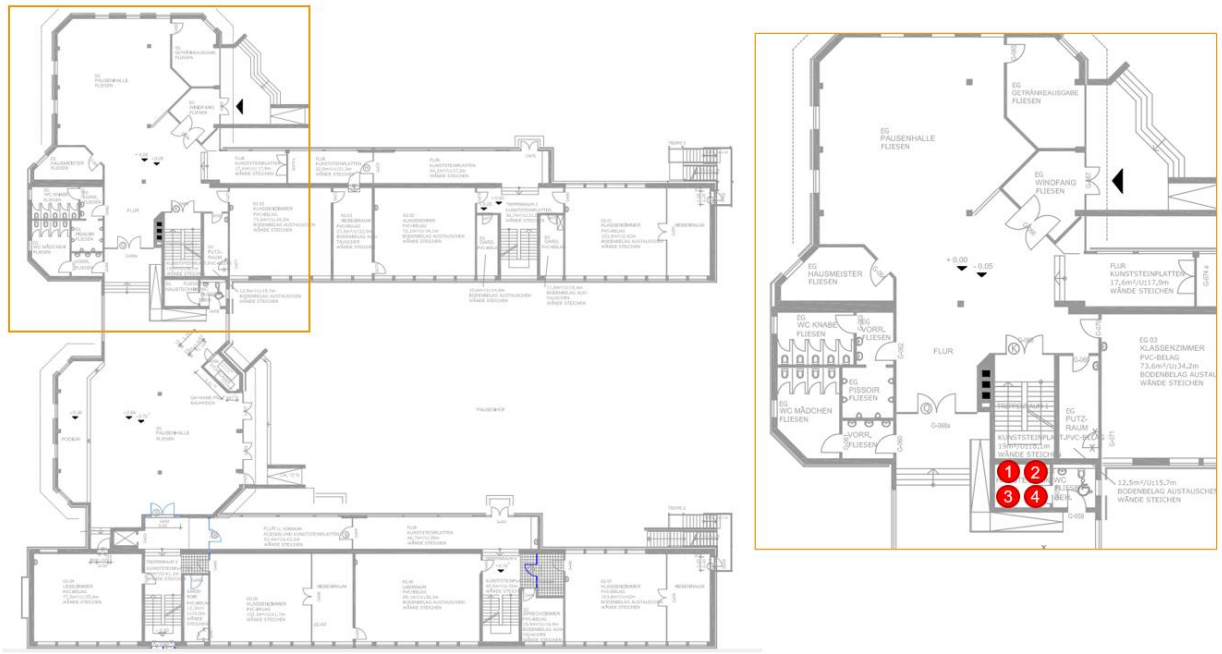


Abbildung 51: Standort Zähler Grundschule Erdgeschoss

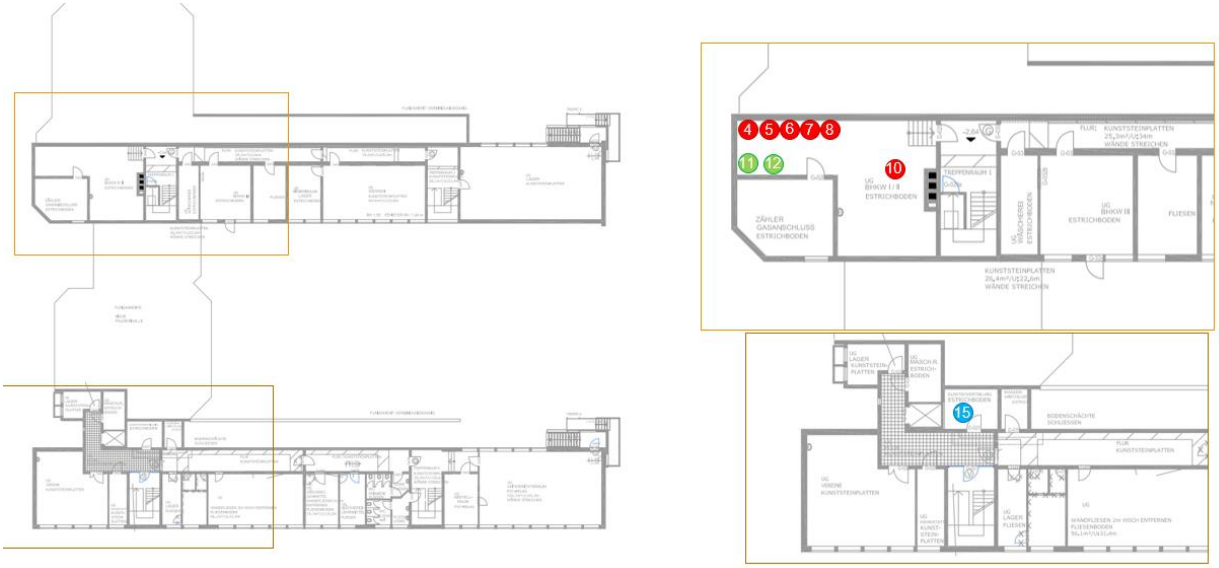


Abbildung 52: Standort Zähler Grundschule Untergeschoss

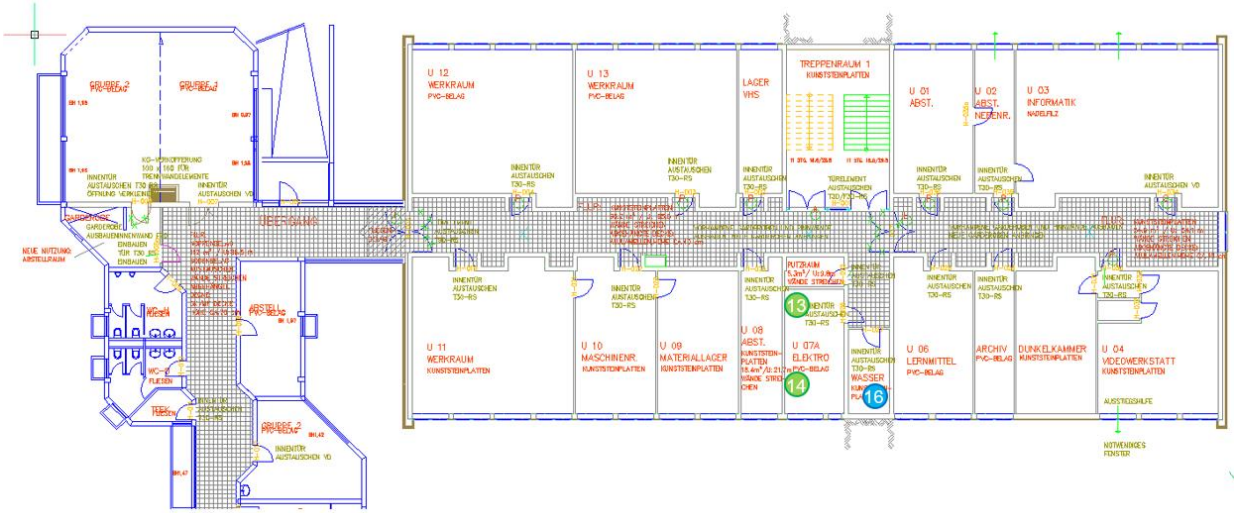


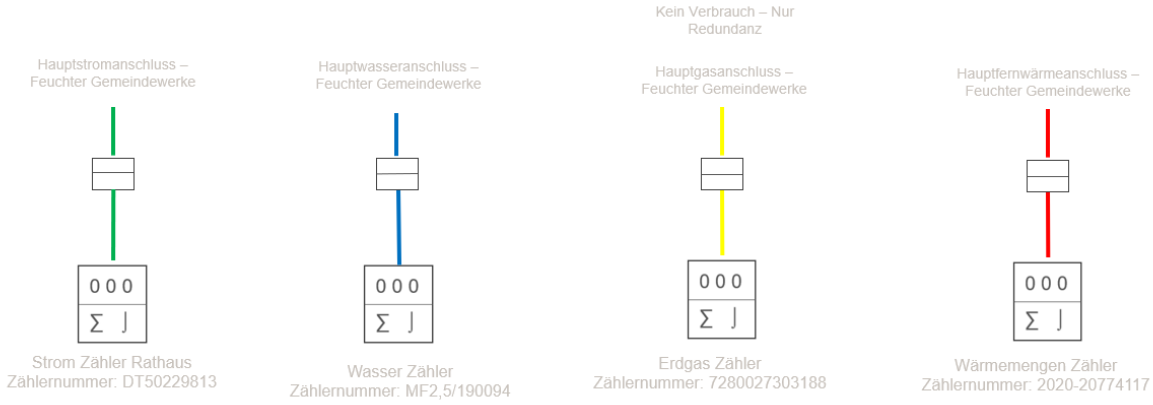
Abbildung 53: Standort Zähler Mittelschule Untergeschoss

Tabelle 8: Bezeichnung Zähler Grund- und Mittelschule

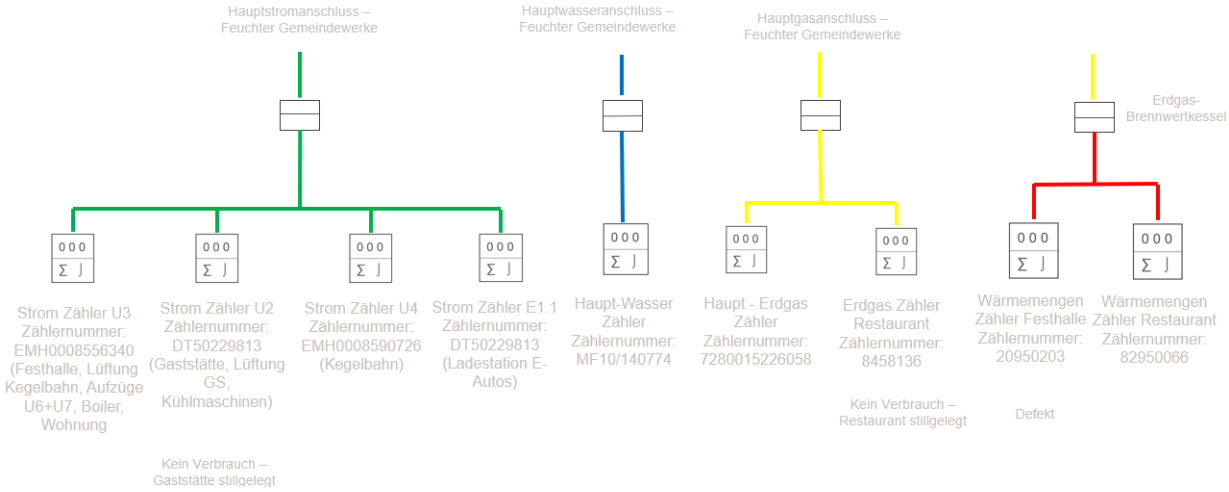
Nr.	Bezeichnung	Versorgter Bereich
1	Wärmemengenzähler	Fußbodenheizung EG Grundschule
2	Wärmemengenzähler	Statische Heizung 2. OG Grundschule
3	Wärmemengenzähler	Statische Heizung 1. OG Grundschule
4	Wärmemengenzähler	Verwaltung 1. OG Grundschule
5	Wärmemengenzähler	Fußbodenheizung Grundschule
6	Wärmemengenzähler	Hauptzähler Mittelschule
7	Wärmemengenzähler	Flure 2 und Klassen 2
8	Wärmemengenzähler	Stat. Heizung Bauabschnitt 1
9	Wärmemengenzähler	Mensa/Hort und Jugendzentrum
10	Hauptwärmemengenzähler	Grund- und Hauptschule gesamt inkl. Mensa/Hort und Jugendzentrum
11	Stromzähler	Grundschule (Verbrauchsstelle 2)
12	Stromzähler	Drehstromzähler (keine Nummer)
13	Stromzähler	Hauptschule
14	Stromzähler	Messung Licht und Kraft
15	Wasserzähler	Wasserzähler Grundschule
16	Wasserzähler	Wasserzähler Hauptschule

4.4.2 Zählertopologien

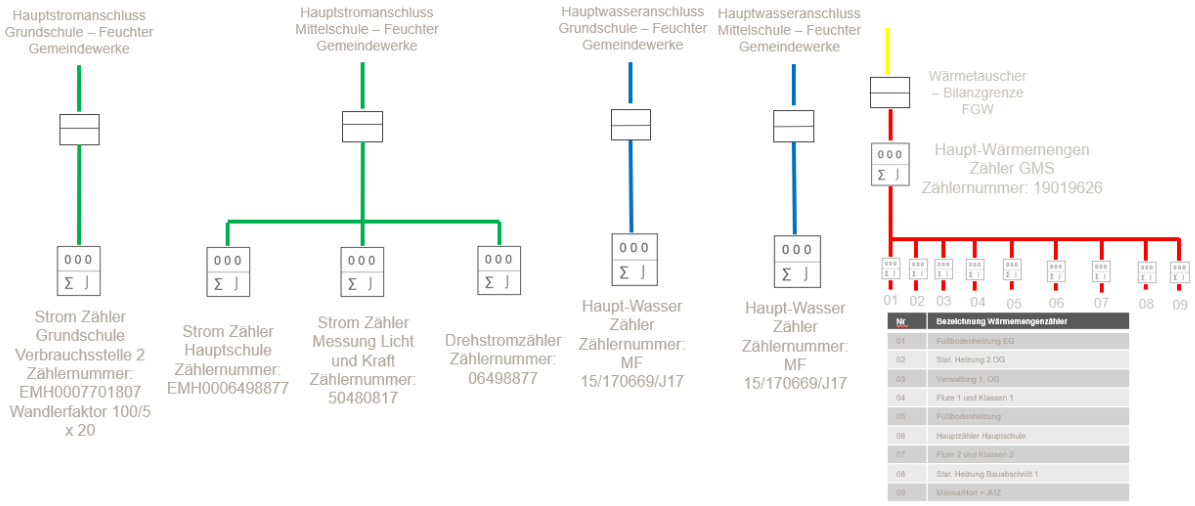
Rathaus:



Reichswaldhalle:



Grund- und Mittelschule:



4.5 Beschreibung des Soll-Zustands der Messtechnik

4.5.1 Auswahl relevanter Messgeräte

Im Anhang (Kapitel 5) ist eine Detailaufnahme aller vorhandenen Zähler (Strom, Gas, Wasser, Wärme) in den drei Liegenschaften aufgezeigt. Für folgende Messgeräte wird eine automatisierte Verbrauchserfassung empfohlen:

Stromzähler:

Hauptstromzähler Rathaus

Stromzähler Reichswaldhalle E1.1 Hauptstromzähler

Stromzähler Grundschule

Stromzähler Mittelschule

Wasserzähler:

Rathaus Hauptwasserzähler

Reichswaldhalle Hauptwasserzähler

Grundschule Hauptwasserzähler

Mittelschule Hauptwasserzähler

Gaszähler:

Gas: Hauptzähler Reichswaldhalle

Wärmemengenzähler:

Wärme: Gesamt Rathaus

Wärme: Gesamt Grund- und Mittelschule

Wärme: Gesamt Mensa/Hort + Jugendzentrum

Wärme Reichswaldhalle: Unterzähler Festhalle

4.5.2 Nötige Maßnahmen für automatisierte Verbrauchserfassung

Die prinzipielle Vorgehensweise zur automatischen Verbrauchserfassung ist in Abbildung 54 dargestellt. Die vorhandenen Zähler können dabei über vorhandene Schnittstellen, wie z.B.: M-Bus, nachrüstbare Schnittstellen, Impulsgeber oder optische Erfassungsmodule, an einen Datenlogger angeschlossen werden. Können keine passenden Schnittstellen nachgerüstet werden, müsste der Zähler getauscht werden. Der Anschluss kann je nach Schnittstelle auf unterschiedlichsten Übertragungswegen erfolgen und hängt von dem IST-Zustand und den nachrüstbaren Möglichkeiten ab. Der Datenlogger speichert dabei die in einstellbaren Zeitabständen übermittelten Zählerstände oder Verbrauchsinformationen ab. Über ein internetfähiges Modem können die Zählerstände in eine entsprechende Energiemanagementsoftware, beispielsweise via SMTP, übertragen werden. Typischerweise sind Softwarelösungen für das Energiemanagement webbasiert und können so über einen Webbrowser geöffnet und die Verbräuche vom Datenlogger abgerufen werden.

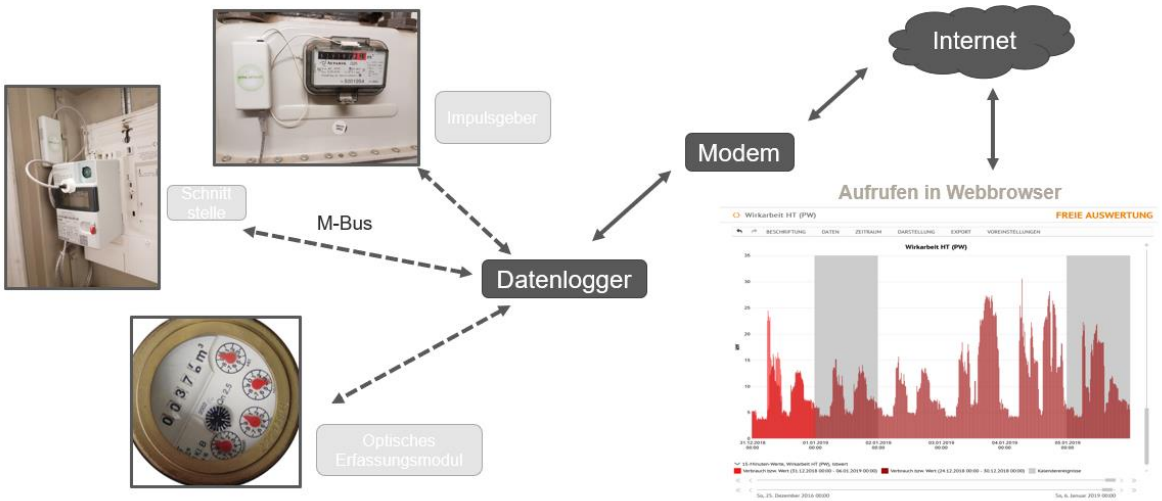


Abbildung 54: Prinzipschema Automatische Datenerfassung

Bei den Datenloggern sollte vornehmlich die Übertragung via M-Bus favorisiert werden, da diese Schnittstelle bei den Messgeräten weitgehend verbreitet ist und damit hohe Marktverfügbarkeit vorliegt. Pro Datenlogger können je nach Ausführung bis zu 250 Zähler via M-Bus angebunden werden, wenn die Entfernung nicht zu groß ist. Deshalb kann es manchmal aufgrund der örtlichen Gegebenheiten der Fall sein, dass pro Gebäude mehrere Datenlogger nötig sind.

Alternativ zum kabelgebundenen „M-Bus“ kann auch der sog. Wireless-M-Bus genutzt werden. Die Kommunikation zwischen kompatiblen Zählern und Datenloggern erfolgt dann über Funk (Frequenzband 868 MHz). Ob die kabellose Kommunikation allerdings in den jeweiligen Gebäuden funktioniert, ist im Einzelfall zu prüfen (Funksignalqualität ist von vielen Faktoren, wie z.B. Funkstrecke, vielfaches Mauerwerk oder Erdreich zwischen Sender und Empfänger abhängig).

Um die in Kapitel 4.5.1 beschriebenen Zähler anzuschließen werden folgende Datenlogger benötigt:

Bezeichnung Liegenschaft	**Anzahl Datenlogger**
Rathaus	1
Reichswaldhalle	1
Grund – und Mittelschule	3

Der Anschluss der Datenlogger an ein Modem sollte nach Möglichkeit über Modbus TCP mit einem Ethernet-Anschluss oder mit einem eigenen W-Lan-Modul erfolgen.

4.5.3 Anpassungen und sinnvolle Erweiterungsmöglichkeiten der Messgeräteinfrastruktur

Rathaus:

Eine Erweiterung der vorhandenen Zählerinfrastruktur im Rathaus ist punktuell denkbar. Aktuell sind außer den EVU-Zählern keine weiteren Zähler vorhanden. Es liegen also keine Informationen vor, wohin im Gebäude die bezogenen Energiemengen fließen. Für die zwei Heizkreise und den Zubringer der Lüftung wäre es also interessant, jeweils einen Wärmemengenzähler zu installieren, um die Wärmeverteilung detaillierter analysieren zu können. Diese sollten über M-Bus Schnittstellen verfügen, um Sie an den Datenlogger anschließen zu können.

Im Strombereich wäre eventuell eine Messung des Servers interessant, um den Teil des Stromverbrauchs, welcher von den Angestellten nicht beeinflusst werden kann, zu identifizieren. Hierzu müsste in der entsprechenden Stelle in der NSHV ein Arbeitszähler mit M-Bus Schnittstelle eingebaut werden.

Bei Gas und Wasser herrscht kein Handlungsbedarf.

Reichswaldhalle:

Da heizungsseitig einige Veränderungen geplant sind, sollte hier die konkrete Umsetzung abgewartet werden und dann entschieden werden, welche Gas- und Wärmemengenzähler an welcher Stelle installiert werden sollten.

Im Bereich Strom ist zu empfehlen, den Stromverbrauch der Lüftungsanlagen messtechnisch zu erfassen, da diese als die größten Verbraucher eingeschätzt werden. Um besser einschätzen zu können, ob die Verbräuche hierfür angemessen sind, muss zum einen die Höhe und zum anderen die zeitliche Auflösung bekannt sein. Hierfür gibt es an der entsprechenden Stelle in der NSHV bereits einen Zähler. Dieser sollte ebenfalls an den Datenlogger angebunden werden.

Im Bereich Wasser herrscht kein Handlungsbedarf.

Grund- und Mittelschule:

Im Bereich Heizung sind bereits für alle Abgänge am Hauptverteiler Wärmemengenzähler vorhanden. Um mehr Informationen über den Wärmefluss im Gebäude zu erhalten, können alle vorhandenen Wärmemengenzähler auf die Datenlogger mit aufgeschaltet werden.

Im Bereich Strom und Wasser herrscht kein Handlungsbedarf.

4.6 Zusammenfassung

Im Rahmen des Energiekonzeptes für kommunale Liegenschaften des Marktes Feucht wurden das Rathaus, die Reichswaldhalle sowie die Grund- und Mittelschule zunächst im Bestand analysiert. Neben der Betrachtung der vorhandenen energetischen Infrastruktur, dem energetischen Ist-Zustand und sonstigen Gegebenheiten vor Ort ist auch die Messgeräteinfrastruktur analysiert und Handlungsempfehlungen für sinnvolle Erweiterungen, sowie die Umstellung auf eine automatisierte Verbrauchsdatenerfassung ausgearbeitet worden. Die Basis für eine regelmäßige, automatisierte Zählerdatenerfassung mit entsprechender digitaler Auswertemöglichkeit wurde gelegt.

Mit der Datengrundlage, unter anderem einer softwaregestützten Beleuchtungssimulation, sind nachgelagert Detailmaßnahmen im Bereich der Beleuchtung und auch der Steuerungsoptimierung im Bereich Heizung ausgearbeitet worden. Diese würden in Summe eine Einsparung von ca. 1.500 € bei einer Investition von 6.000 € bringen. Bei einer mittleren statischen Amortisation von ca. 4 Jahren sind die Maßnahmen aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen. Außerdem kann durch die Maßnahmen eine Einsparung von 0,16 t/a an CO_2-Emissionen erzielt werden.

5 Anhang

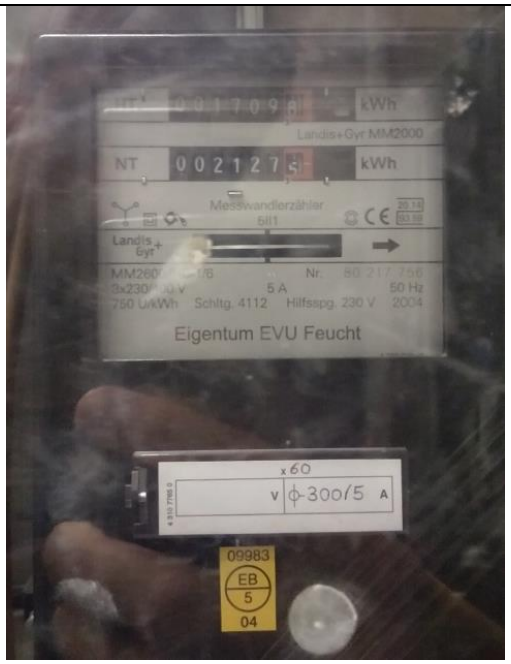
Haupt-Stromzähler Rathaus:

Installationsort	Elektroanschlussraum Kellergeschoss
Eichung / Ende Eichfrist	2013 / 2029
Anmerkungen	Wandlermessung 200/5, Faktor 40, Drehstromzähler HT/NT
Zählernummer EVU	DT50229813

Stromzähler Reichswaldhalle E1.1 Hauptzähler EVU:

Installationsort	Elektroanschlussraum Kellergeschoss
Eichung / Ende Eichfrist	2019 / 2027
Anmerkungen	Drehstromzähler, Optischer Impuls (IR) und optische Serviceschnittstelle
Zählernummer EVU	(wahrscheinlich 8590707)

Stromzähler Reichswaldhalle U2:

	
Installationsort	Elektroanschlussraum Kellergeschoss
Eichung / Ende Eichfrist	2004 / 2016 möglicherweise Stichproben-verfahren
Anmerkungen	Wandlermessung 300/5, Faktor 60, Dreh-stromzähler HT/NT
Zählernummer EVU	Unbekannt

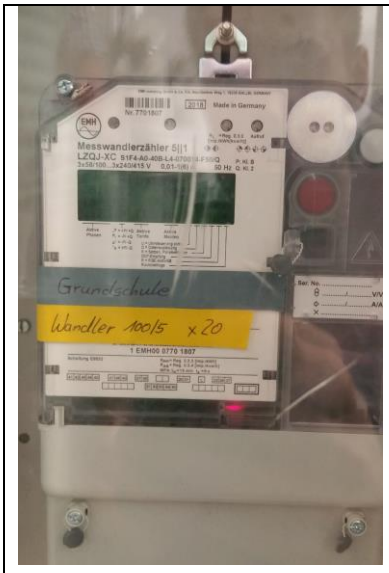
Stromzähler Reichswaldhalle U3:

Installationsort	Elektroanschlussraum Kellergeschoss
Eichung / Ende Eichfrist	2019 / 2027
Anmerkungen	Wandlermessung, unbekanntes Wandlerverhältnis, Modem vorhanden (eventuell ist Zähler als RLM ausgeführt → Datenbereitstellung von Lastgängen via Messstellenbetreiber)
Zählernummer EVU	EMH0008556340

Unterzähler Reichswaldhalle Kegelbahn U4

Installationsort	Elektroanschlussraum Kellergeschoss
Eichung / Ende Eichfrist	2019 / 2027
Anmerkungen	Drehstromzähler, optischer Impuls (IR) und optische Serviceschnittstelle
Zählernummer EVU	EMH0008590726

Stromzähler Grundschule:

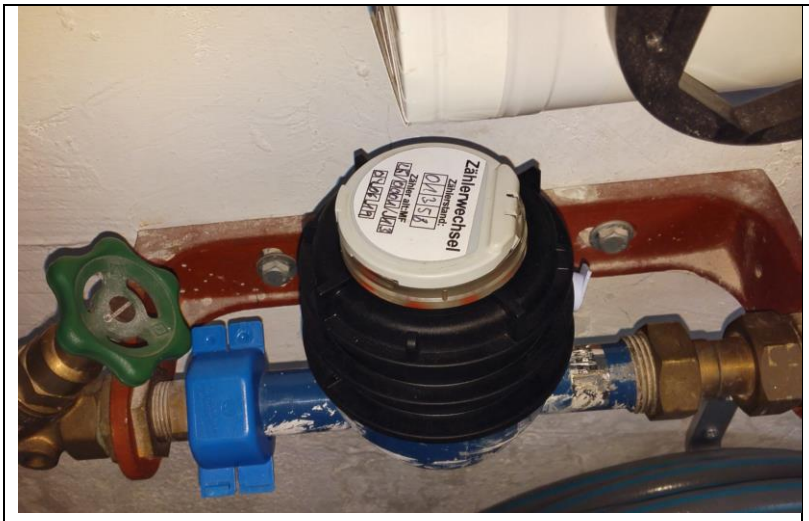
	
Installationsort	Heizverteilerraum Kellergeschoss Grundschule
Eichung / Ende Eichfrist	2018 / 2026
Anmerkungen	Wandlermessung 100/5, Faktor 20, vermutlich über Busleitung mit Stromzähler Mittelschule („unklar“) verbunden → könnte als RLM ausgeführt sein (mit Messstellenbetreiber klären, ggf. automatisierter Datenexport)
Zählernummer EVU	EMH0007701807

Stromzähler Mittelschule:

Installationsort	Elektroanschlussraum Kellergeschoss Mittelschule
Eichung / Ende Eichfrist	2017 / 2024
Anmerkungen	Wandlermessung 400/5, Faktor 80, Modem vorhanden (möglicherweise als RLM ausgeführt)
Zählernummer EVU	06498877

Die beiden anderen Zähler aus diesem Schrank sind noch offen. Es ist nicht bekannt, was von diesen Zählern gezählt wird.

Rathaus Hauptwasserzähler

	
Installationsort	Heizraum Kellergeschoss
Eichung / Ende Eichfrist	2019 / 2025
Anmerkungen	Diehl Corona MCI, Q_3 4 Schnittstelle vorbereitet (induktiv)
Zählernummer EVU	MF2,5/190094/J19

Reichswaldhalle Hauptwasserzähler

Installationsort	Wasseranschlussraum, Kellergeschoss
Eichdatum / Ende Eichfrist	2018 / 2024
Anmerkungen	Diehl Corona MCI, Q_3 4 Schnittstelle vorbereitet (induktiv)
Zählernummer EVU	MF 2,5/180291/J18

Grundschule Hauptwasserzähler

Installationsort	Wasseranschlussraum, Kellergeschoss Grundschule
Eichdatum / Ende Eichfrist	2017 / 2023
Anmerkungen	Digitaler Kaltwasserzähler Diehl Hydrus, Q_3 25 m³/h, DN 50, Schnittstelle vorhanden (Wireless-M-Bus)
EVU Zählernummer	MF 15/170669/J17

Mittelschule Hauptwasserzähler

Bild fehlt	
Installationsort	Wasseranschlussraum, Kellergeschoss Mittelschule
Eichdatum / Ende Eichfrist	2017 / 2023
Anmerkungen	Digitaler Kaltwasserzähler Diehl Hydrus, QN 25 m³/h, DN 25, Schnittstelle vorhanden
EVU Zählernummer	MF 15/170670/J17

Gas: Hauptzähler Rathaus

Installationsort	Gasanschlussraum Kellergeschoss
Eichdatum / Ende Eichfrist	2010 / 2026
Anmerkungen	Elster BK-G16, Schnittstelle vorbereitet (0,1 m³/Impuls, Reed-Kontakt, Honeywell IN-Z61)
Zählernummer EVU	7280027303188

Keine Erfassung nötig

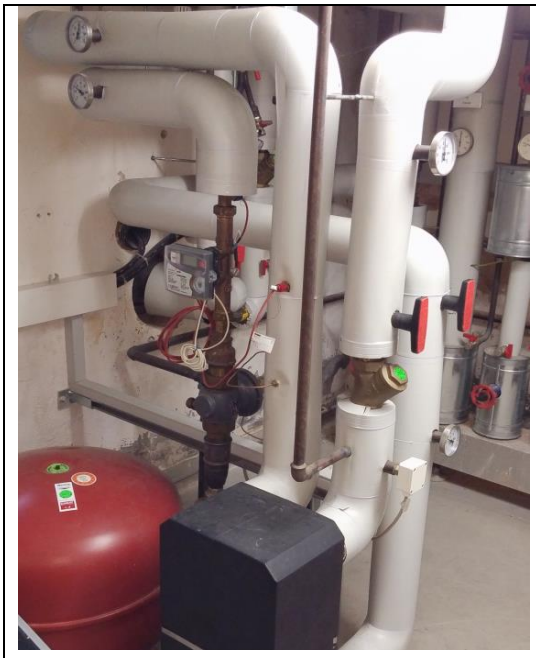
Gas: Hauptzähler Reichswaldhalle

Installationsort	Gasanschlussraum Kellergeschoss
Eichdatum / Ende Eichfrist	2014 / 2030
Anmerkungen	Elster BK-G40 A, Encoder Zählwerk, Schnittstelle vorbereitet (ggf. plombiert, diverse Kommunikationsmodule verfügbar z.B. M-Bus, Honeywell ACM M-Bus Wire oder Diehl IZAR Radio compact ACM)
Zählernummer EVU	7280015226058

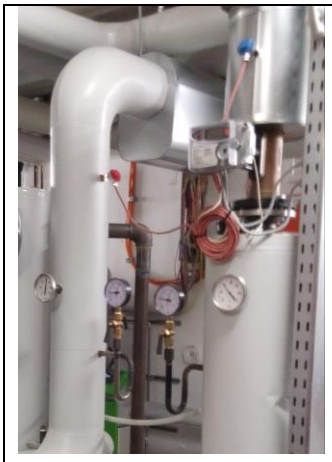
Unterzähler Büroräume (ehem. Restaurant)

Installationsort	Gasanschlussraum Kellergeschoss
Eichdatum / Ende Eichfrist	1990 / 1998
Anmerkungen	Elster G6, keine Schnittstelle vorbereitet
Zählernummer EVU	8458136

Wärme: Gesamt Rathaus

	
Installationsort	Heizraum Kellergeschoss
Eichung / Ende Eichfrist	2020 / 2025
Anmerkungen	Itron CF Echo II (Qp 3,5, DN25) Optische Schnittstelle vorhanden, Zähler batteriebetrieben (Auslesung über optische Schnittstelle damit begrenzt), Erweiterungs-module zur Kommunikation z.B. über M-Bus verfügbar
Zählernummer	2020-20774117

Wärme: Gesamt Grund- und Mittelschule

	
Installationsort	Heizverteilerraum, Kellergeschoss
Eichung / Ende Eichfrist	2019 / 2024
Anmerkungen	Itron CF 51 19019626 (Adresse 5004) Optische Schnittstelle vorhanden, Spannungs-versorgung über Netzteil
Zählernummer EVU	19019626

Wärme: Gesamt Mensa/Hort + Jugendzentrum

Installationsort	Unterverteilung Grundschule, Kellergeschoss
Eichung / Ende Eichfrist	2020 / 2025
Anmerkungen	Itron CF EchoII Optische Schnittstelle vorhanden, Spannungsversorgung über Netzteil
Zählernummer	2020-20769646

Es sind noch 8 Unterzähler in der GMS für die einzelnen Heizkreise vorhanden, welche ebenfalls miterfasst werden könnten. Hier wurden die Zähler im IST-Zustand aber nicht aufgenommen, weshalb diese zunächst nicht weiter berücksichtigt werden.

Wärme Reichswaldhalle: Unterzähler Festhalle

Dieser Zähler ist defekt und sollte erneuert werden.

Wärme Reichswaldhalle Unterzähler Büroräume (ehem. Restaurant)

Dieser Zähler ist defekt und sollte erneuert werden.