



Umsetzungsprojekt: Integrale Planung und Steuerung der nachhaltigen Modernisierung des Gebäudebestands und der Energieversorgung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode

Kurzbericht

Untersuchung der Wärmeversorgung der Villa Luise

Der Bericht wurde erstellt von /
Das Projekt wurde bearbeitet von:

Datenstand: 25.01.2012

Die Verantwortung für den Inhalt
des Berichtes liegt bei den Verfassern.

B. Eng. Marius Mieke, Wolfenbüttel
Dr.-Ing. Kati Jagnow, Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Wolfenbüttel

Inhalt

1	Zielsetzung, Ergebnisse und Ausblick	3
1.1	Zielsetzung	3
1.2	Arbeitsschritte.....	3
1.3	Ergebnisse und Diskussion.....	3
1.4	Fazit und Ausblick.....	4
2	Das Gebäude Villa Luise	5
2.1	Gebäudebeschreibung.....	5
2.2	Nahwärmeanschluss.....	5
2.3	Endenergiebedarf Nahwärme des Gebäudes	7
2.4	Energieverbrauch.....	8
3	Alternative Wärmeversorgung	9
3.1	Öl- Brennwertkessel.....	9
1.1	Holzpelletkessel	9
3.2	Wärmepumpe	10
3.3	Vergleich des Energiebedarfs der einzelnen Varianten	10
4	Wirtschaftlichkeit.....	12
4.1	LEG- Verfahren.....	12
4.2	Ökologischer Vergleich	14
5	Ergebnisse und Empfehlungen	15
6	Anhang	16
6.1	Quellen	16
6.2	Berechnung der Nahwärmeverluste der Teilstrecke 24	16
6.3	Separate Anhänge.....	16

1 Zielsetzung, Ergebnisse und Ausblick

1.1 Zielsetzung

Im Rahmen des DBU- Projekts „Neuerkerode“ soll im Zuge dieser Ausarbeitung die Umsetzung der energetischen Modernisierung der Villa Luise betrachtet und bewertet werden. Ein besonderer Schwerpunkt soll dabei auf die Energiebereitstellung gelegt werden. Das primäre Ziel dieser Ausarbeitung ist die Beantwortung der Frage: „War die Installation des Nahwärmeanschlusses im Haus Villa Luise eine Fehlentscheidung? Wenn ja, welche Alternativen Wärmeerzeuger hätte das Baumanagement installieren können oder was kann nachträglich verändert werden, um Kosten zu senken?“

Auf Grundlage der Berechnungen werden Schlussfolgerungen für die zu fordernden Maßnahmen abgeleitet und die Installation eines geeigneteren Wärmeerzeugers zur Beheizung der Villa Luise empfohlen.

1.2 Arbeitsschritte

Zuerst werden die Nahwärmeverluste der Teilstrecke zwischen Emmaus und Villa Luise und der Energiebedarf des Gebäudes berechnet. Anschließend werden für das bestehende Gebäude Wärmeerzeugervarianten berechnet und mit dem Bestand verglichen. Entscheidende Vergleichspunkte sind der Energiebedarf und CO₂- Emissionen.

Aufgrund der berechneten Daten werden Wirtschaftlichkeitsberechnungen der einzelnen Varianten erstellt und miteinander verglichen. Abschließend wird eine Handlungsempfehlung ausgesprochen.

1.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse dieser Ausarbeitung zeigen, dass die Installation des Nahwärmeanschlusses ein Fehler war.

Der Endenergiekennwert (Heizöl) bei geringster Nutzung vor der Modernisierung lag bei 238 kWh/(m²a) nach der energetischen Modernisierung mit nachträglichem Fernwärmeanschluss bei 195 kWh/(m² a) für Erdgas/Biowärme. Ein großer Anteil der Einsparung durch die aufwendigen Modernisierungsmaßnahmen gehen durch den Nahwärmeanschluss verloren. Die Vorverluste (Nahwärme, Erzeuger Gas/Biowärme) sind höher als die Nutzenergie für Villa Luise. Bei weiterhin dezentraler Beheizung, z.B. durch einen Gas- oder Ölbrennwertkessel wäre ca. 13 MWh/a weniger fossiler Endenergie verbraucht worden als bei der jetzigen Lösung mit Nahwärmeanschluss.

Die Verteilverluste (19,9 MWh/a) der Teilstrecke 34 zwischen Emmaus und Villa Luise, die anteiligen Verteilverluste (7,8 MWh/a) des Nahwärmenetzes und die anteiligen Verluste der Heizzentrale (7,4 MWh/a), bezogen auf die Nutzenergie der Villa Luise, sind zu hoch. Zusammen sind diese größer als der Wärmebedarf des Gebäudes (32,7 MWh/a; Vergleich Verluste 35,1 MWh/a) selbst (Bild 1).

	zugeführte Energienmenge in MWh/a	abgeführte Energienmenge in MWh/a	Kosten für Energie in €/a	Wert der abgeführten Energie in €/a
Gas Input Heizzentrale	49,7	-	3.577	-
Verluste Heizzentrale	-	7,4	-	534
Biowärme Einspeisung	18,2	-	1.309	-
anteilige Verteilverluste Nahwärmenetz	-	7,8	-	565
Verteilverluste der TS 34 (Villa L. bis Emmaus)	-	19,9	-	1.433
Nutzenergie Heizung Villa Luise	-	32,7	-	2.354
Gesamt	67,9	67,9	4.885,3	4.885,3

Tabelle 1 Gesamtenergiebilanz Villa Luise mit gesamten Nahwärmenetz und Heizzentrale

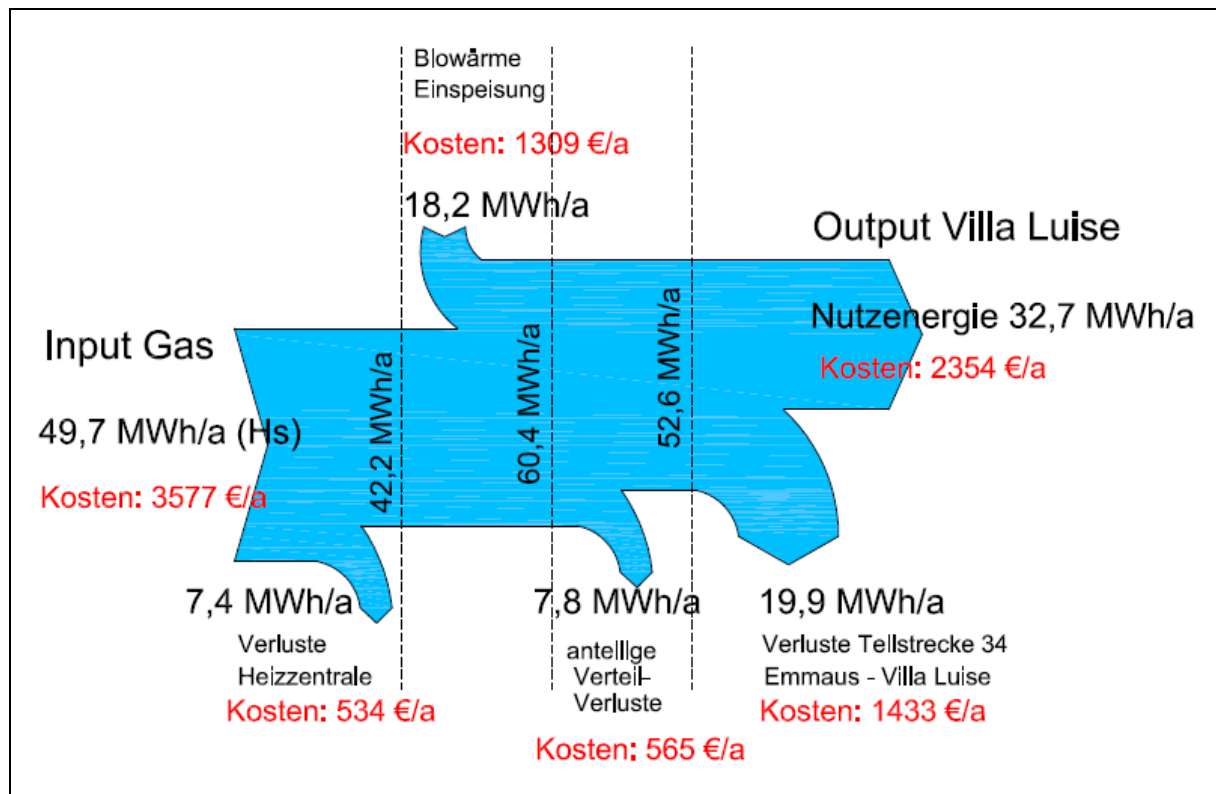


Bild 1 Fließschema Villa Luise mit gesamten Nahwärmenetz und Heizzentrale

Insgesamt werden dem System für die Beheizung des Gebäudes 67,9 MWh/a im Wert von 4.885,3 €/a zugeführt (Bild 1: Input Gas + Biowärme Einspeisung). Dieser Rechnung liegen Kosten für Nahwärme in Neuerkerode von 72 €/MWh zugrunde.

Aufgrund dieser erschreckenden Zahlen ist es sinnvoll den Nahwärmeanschluss durch einen anderen Wärmeerzeuger zu ersetzen. Als Alternativen werden dafür ein Ölbrennwertkessel, ein Holzpelletkessel und eine Luft- Wasser- Wärmepumpe betrachtet. Als eine langfristige wirtschaftliche Alternative erwies sich die Wärmepumpe. Die geringsten CO₂- Emissionen emittiert der Holzpelletkessel. Kurzfristig wirtschaftlich ist der Einsatz eines Ölbrennwertkessels.

Deshalb wird empfohlen den Nahwärmeanschluss im Emmaus am Abzweig zur Villa Luise abzutrennen und durch eine Wärmepumpe, einen Ölbrennwertkessel oder einem Holzpelletkessel in der Villa Luise zu ersetzen. Falls sich die Stiftung gegen die vorgeschlagenen Maßnahmen entscheidet, sollte die Teilstrecke 34 zwischen Emmaus und Villa Luise im Sommer abgetrennt werden, um die Verluste zu verkleinern. Dadurch ließe sich der Verlust um ca. 3 MWh/a vermindern.

1.4 Fazit und Ausblick

Bei der energetischen Sanierung der Gebäude der Stiftung Neuerkerode sollte jeweils detailliert untersucht werden, ob eine Anbindung an das Nahwärmenetz weiterhin sinnvoll ist, oder andere Wärmeerzeuger in Betracht kommen. Zudem sollte beachtet werden: je geringer der Energiebedarf der sanierten Gebäude, desto höher sind die anteiligen Verluste des Nahwärmenetzes und der Zentrale. Als erster Leitfaden für weitere Entscheidungen hinsichtlich der Einbindung oder Abtrennung weiterer Gebäude kann das Energiekonzept Neuerkerode genutzt werden, um eine Fehlentscheidung wie bei Villa Luise zu vermeiden.

2 Das Gebäude Villa Luise

2.1 Gebäudebeschreibung

Das Wohnhaus I wurde um das Jahr 1900 erbaut, 2008 zur Villa Luise umgebaut und energetisch modernisiert. Durch die Modernisierungsmaßnahmen wurde das alte Wohnhaus in eine Kunstwerkstätte mit Galerie umgebaut, die täglich rund 20 Bewohnern Neuerkerodes die Möglichkeit gibt, sich künstlerisch zu betätigen. Das Haus teilt sich nach der Sanierung wie folgt auf. Es hat zwei beheizte Geschosse (Erdgeschoss und erstes Obergeschoss) und zwei unbeheizte Geschosse (Keller und Dachgeschoss). Es wird seit der parallel zur energetischen Modernisierung durchgeführten Außerbetriebnahme des Ölkessels über einen Nahwärmearanschluss vom Nachbargebäude Emmaus versorgt. Der Hausanschlussraum der Nahwärmeversorgung befindet sich im Keller. Die Nahwärmeleitung wird an der süd-östlichen Seite in das Haus eingeführt. Zwei elektrische Durchlaufwassererhitzer erzeugen Trinkwarmwasser in den einzelnen Etagen. Die Maßnahmen wurden 2009 beendet; das im Rahmen des DBU-Projekts von der Ostfalia erstellte Energiekonzept mit der Empfehlung eines teilweisen Rückbaus des Nahwärmenetzes war zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

Der Keller dient als Lager für Kunstgegenstände und zusätzlich zur Unterbringung von Öfen, die zum Brennen von Töpferwaren dienen. Das Erdgeschoss besteht aus einem großen Ausstellungsraum und zwei Kunstwerkstätten. Das Obergeschoss weist einen zentral gelegenen Gruppenraum, sanitäre Einrichtungen und weitere Räume auf. Das Dachgeschoss wird nicht genutzt und ist zum Schutz der Mineralfaserdämmung, mit Laufstegen versehen.

Die Gebäudedaten vor und nach der Modernisierung können Tabelle 2 entnommen werden.

	Bestand	nach Modernisierung 2009 ohne Nahwärmeleitung
Wohnfläche in m ²	552,6	349,2
beheizte Geschosse	3	2
Endenergie Heizung in kWh/(m ² *a)	212	94
Endenergie TWW in kWh/(m ² *a)	27	9
Endenergie Gesamt in kWh/(m ² *a)	239	103
Endenergie in kWh/a	132.071	35.966

Tabelle 2 Daten Villa Luise

2.2 Nahwärmearanschluss

Im Zuge der Modernisierung der Villa Luise wurde seitens der Stiftung Neuerkerode, entgegen den Vorschlägen des später ausgearbeiteten „Energiekonzepts Neuerkerode“, entschieden, das Gebäude an das Nahwärmenetz anzuschließen.

Der Zugang zum Nahwärmenetz wurde über das Haus Emmaus sichergestellt, welches bereits an die Nahwärmeversorgung angeschlossen war. Einen Überblick verschafft der Ausschnitt der Nahwärmenetzkarte (Bild 2).

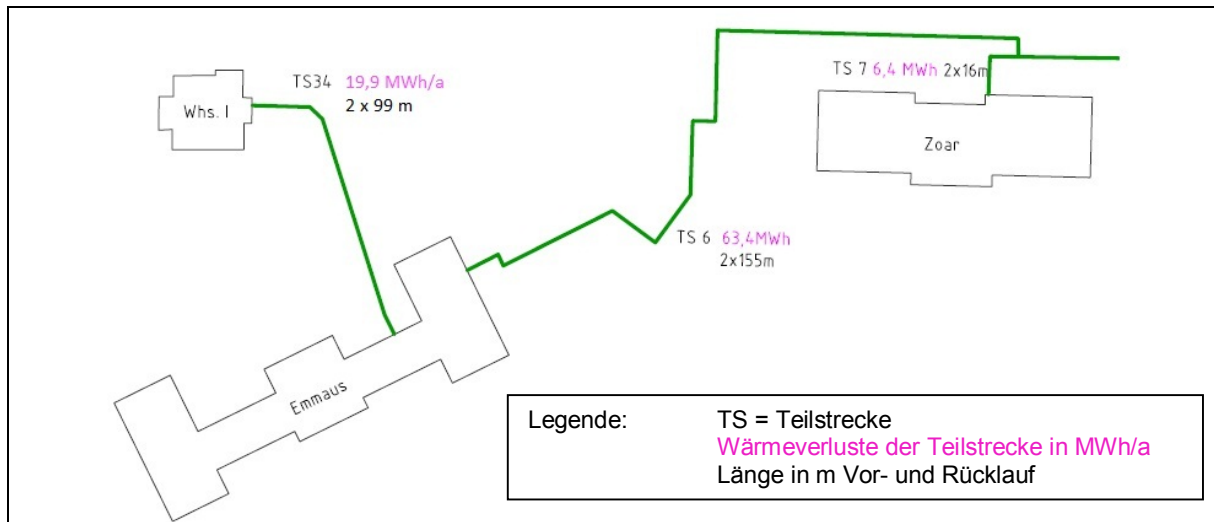


Bild 2 Nahwärmenetzkarte; Ausschnitt Villa Luise

Die Nahwärmeleitungen der Teilstrecke 34 (TS 34) haben folgende Daten:

- DN 32 x 59 m außerhalb des Gebäudes
- 2 x 40 m innerhalb des Gebäudes
- Vorlauftemperatur: 85° C
- Rücklauftemperatur: 74° C
- $\lambda = 0,0025 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Wärmeleistung des Wärmeübertragers: 35 kW

Die Längenangabe umfasst die Längen für Vor- und Rücklauf. Als Bezugstemperatur wurden 10° C Erdtemperatur und 18° C Umgebungstemperatur im Gebäude Emmaus gewählt.

Als Anschlussvariante im Haus Villa Luise wurde eine indirekte Wärmeübergabe gewählt. Bei einem indirekten Nahwärmeanschluss werden die beiden Heizkreise voneinander vollständig getrennt und entkoppelt. Dies geschieht mit Hilfe eines Wärmeübertragers im Hausanschlussraum. Im Gegensatz zum direkten Nahwärmeanschluss können dabei geringere Vor- und Rücklauftemperaturen, als die des Nahwärmenetzes, verwendet werden.

Da das Netz ganzjährig betrieben wird, ergibt sich die verlorene Energiemenge, indem die Leistung von 2,27 kW mit 8760 h/a multipliziert wird. Daraus ergibt sich eine Verlustwärme von **19,9 MWh/a**.

Durch zukünftige Abschaltung im Sommer könnte ein Teil der Verluste (geschätzt ca. 1/6) vermieden werden.

Ungefähre Lage	DN	di [mm]	da [mm]	Länge [m]	λ [W/(mK)]	U [W/(mK)]	t_{Netz} [°C]	t_{Umgebung} [°C]	Q_{Verluste} [kW]	Q_{Verluste} [kWh/a]
Wohnhaus I	32	42,4	105	59	0,025	0,17	85	10	0,77	6715
	32	42,4	105	59	0,025	0,17	74	10	0,65	5730
	32	42,4	105	40	0,025	0,17	85	18	0,46	4067
	32	42,4	105	40	0,025	0,17	74	18	0,39	3399
Summe									2,27	19.910

Tabelle 3 Nahwärmenetztabelle

Um die theoretischen Werte belegen zu können, müsste ein Wärmemengenzähler am Anfang der Teilstrecke 34 in Haus Emmaus eingebaut werden. Die Teilstrecke 34 umfasst die Verbindung zwischen Haus Emmaus und der Villa Luise.

2.3 Endenergiebedarf Nahwärme des Gebäudes

Der Energiebedarf des Gebäudes wurde mittels des Excel- Berechnungstools des IWU berechnet. Die Maße des Gebäudes wurden den Bauplänen entnommen. Die Bauteildetails wurden dem Wärmeschutznachweis der Firma Hammer + Partner entnommen. Ausnahme sind die Fenster, die durch eine Ungenauigkeit in der Ausschreibung, besser ausgeführt wurden als geplant. Anhand dieser Daten und praxisgerechter Annahmen zum Nutzerverhalten und der Beheizung kann der theoretische Energiebedarf des Gebäudes Villa Luise berechnet werden. Eine Auswertung der Verbrauchsdaten kann in Kürze erfolgen.

Für die Beheizung des Gebäudes werden **32.700 kWh/a** Endenergie als Nahwärme benötigt. Dieser Energiebedarf teilt sich in 24.400 kWh/a Heizwärmebedarf und 8.300 kWh/a interner Verteilverluste im Gebäude auf. Dieser Wert kann mit Hilfe eines Wärmemengenzählers hinter dem Wärmeübertrager in Villa Luise erfasst werden.

Der Energiebedarf des Gebäudes inklusive der internen und externen Verteilverluste (innerhalb der Gebäudehülle und Nahwärmenetzverluste nur für die Zuleitung zwischen Emmaus und Villa Luise), Nutzwärme für Warmwasser und die Hilfsenergie beträgt insgesamt **56.300 kWh/a**. Dies entspricht einem Kennwert von **161 (195 incl. Nahwärme und Erzeugerverluste) kWh/(m²a)**. Die Aufteilung der einzelnen Anteile kann der Bild 3 entnommen werden.

Der Endenergiekennwert (Heizöl) vor der Modernisierung lag bei 212 kWh/(m² a). Die Einsparung durch die aufwendigen energetischen Modernisierungsmaßnahmen bei vorher dezentraler Beheizung sind durch den Nahwärmeanschluss fast vollständig aufgehoben worden (< 10%!).

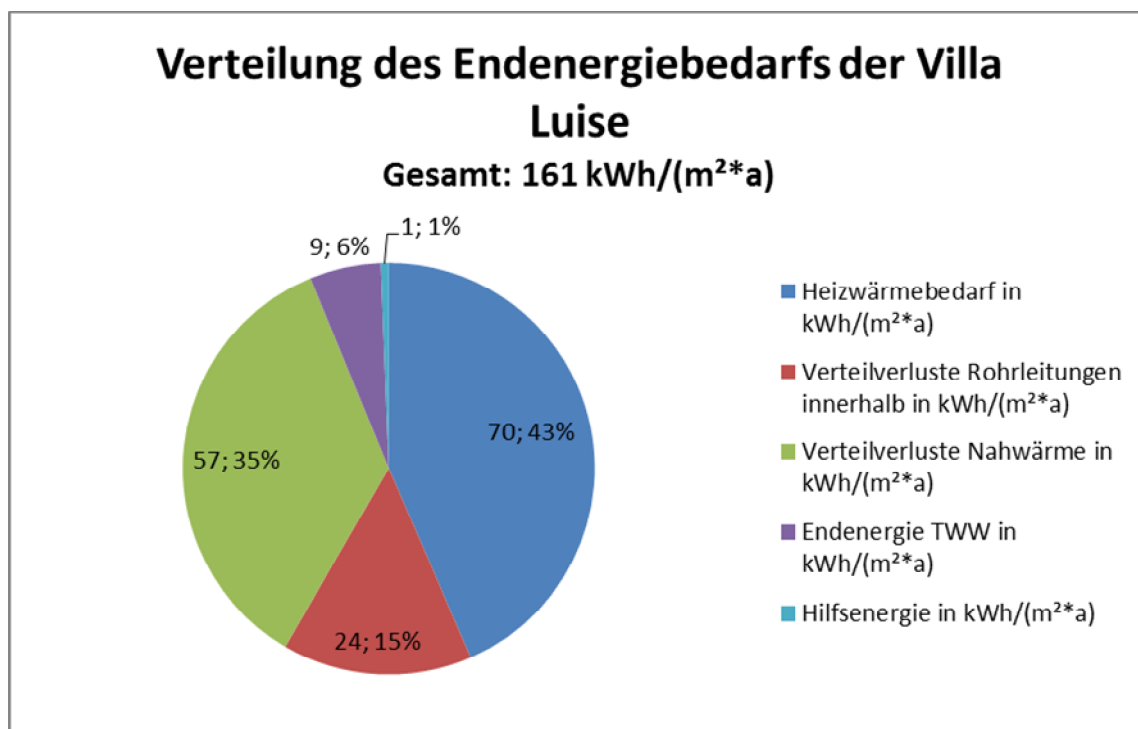


Bild 3 Verteilung des Energiebedarfs Nahwärme + Zuleitungsverluste der Villa Luise

2.4 Energieverbrauch

Im Gegensatz zum Energiebedarf ist der Energieverbrauch kein theoretisch ermittelter Wert, sondern basiert auf gemessenen Werten des Wärmemengenzählers im Keller des Gebäudes. Das bedeutet, dass dieser Zähler nur die an der Gebäudegrenze zur Verfügung stehende Energie erfasst.

Diese gemessenen Werte wurden mit Hilfe des Witterungskorrekturprogramms des IWU bereinigt. Dabei ergab sich ein jährlicher Energieverbrauch von **30.700 kWh/a**.

Es wird deutlich, dass Verbrauch und Bedarf nur ca. 6% voneinander abweichen. Das bedeutet, dass die getroffenen Annahmen der Realität entsprechen und der Bedarf hinreichend abgeschätzt werden konnte.

3 Alternative Wärmeversorgung

Im folgenden Kapitel sollen, aufgrund der hohen Verteilverluste über die neue Zuleitung zwischen den beiden Gebäuden Emmaus und Villa Luise, den anteiligen Verlusten des Nahwärmenetzes und der zentralen Wärmeerzeugung Alternativen zum Nahwärmeanschluss aufgezeigt und deren Wirtschaftlichkeit untersucht werden. Dafür wurden ein Öl-Brennwertkessel, ein Holzpelletskessel und eine Luft-Wasser-Wärmepumpe untersucht. Abschließend werden die Alternativen und der heutige Zustand bewertet und eine Empfehlung gegeben, ob der Nahwärmeanschluss nachträglich ausgetauscht werden sollte.

Die für die Berechnungen anfallenden Kosten, wurden mithilfe der Kostenfunktionen für technische Gebäudeausstattung („Endbericht Energiekonzept“ Anhang: Kostendaten) berechnet. Weitere Werte, wie Kapitalkosten und Amortisationszeitpunkte, wurden mittels der Excel- Datei „Wirtschaftlichkeit LEG“ ermittelt. Daten für Wärmeerzeuger und Pumpen wurden der IWU- Toolbox entnommen.

3.1 Öl- Brennwertkessel

Als Alternative kann ein Öl- Brennwertkessel eingesetzt werden. Zusätzlich zum Erzeuger, den Pumpen und dem Anschluss, müsste eine feuchteunempfindliche Abgasanlage in den Schornstein eingezogen werden. Eine Verbrennungsluftversorgung über den Ringspalt im Schornstein ist dabei sinnvoll, da so der Wirkungsgrad der Feuerstätte über die Vorwärmung der Verbrennungsluft erhöht wird.

Der Energiebedarf des Gebäudes inklusive elektrischer Trinkwarmwasserbereitung und dem Öl-Brennwertkessel (Wirkungsgrad 94%; Nutzungsgrad 89%; Quelle: IWU Toolbox nach VDI 2067 Bl.1) beträgt 40.900 kWh/ a und produziert dabei 13.800 kg_{CO2}/ a.

Zur Berechnung der Kosten wurden folgende Kostenfunktionen verwendet:

- Erzeuger, Pumpe, Anschluss: $Kosten = 1851 * (Q_H^{-0,4617})$ [€/ kW]
- Öltankanlage (inkl. Anschluss): $Kosten = 2,2 * V + 1253$ [€]
- Abgasanlage: Kosten = 1500 € (Schätzkosten, da keine Funktion vorhanden)

Mit einer Leistung von 20,8 kW, einem 3000 l Öltank und 1500 € für die Abgasanlage ergeben sich Gesamtkosten von 18.900 €.

1.1 Holzpelletkessel

Um einen weitgehend regenerativen Energieträger zu nutzen und CO₂- Emissionen deutlich zu reduzieren, könnte ein Holzpelletkessel eingebaut werden. Um die Versorgung des Kessels mit Pellets zu automatisieren, müsste einer der Nachbarräume (gewählt Abstellraum 0.07 mit 24,3 m²) zum Brennstofflagerraum umgebaut werden. Dieser wird den Kessel über eine Förderschnecke oder Sauggebläse mit Pellets versorgen.

Zudem ist ein Pufferspeicher sinnvoll, um das Betreiben der Feuerstätte auch bei kleiner Teillast zu ermöglichen und Ab- und Anfahrvorgänge zu optimieren. Laut Kommentierung der Bundes- Immissionsschutzverordnung (BImSchV) sollen bei automatisch beschickten Heizungsanlagen je 1 kW Nennleistung 20 l Pufferspeichervolumen installiert werden. Dies entspricht im vorliegenden Fall einem Pufferspeichervolumen von ca. 400 l.

Zum Schutz vor Feuchtigkeit des Schornsteins der eventuell kondensierenden Abgase, sollte der Schornstein mit einem feuchteunempfindlichen Edelstahl- oder Schamottetonrohr verrohrt werden. Ob eine solche Maßnahme notwendig ist, kann mit Hilfe einer Schornsteinquerschnittsberechnung nach DIN 13384 - 1 ermittelt werden.

Ein Holzpelletkessel (Wirkungsgrad 82%; Nutzungsgrad 74%; Quelle: IWU- Toolbox nach VDI 2067 Bl.1) braucht für die Energieversorgung des Gebäudes 48.200 kWh/ a und produziert dabei 4.400 kg_{CO2}/ a.

Zur Berechnung der Kosten wurden folgende Kostenfunktionen verwendet:

- Erzeuger, Pumpe, Anschluss: $Kosten = 6786 * (\dot{Q}_H^{-0,6305})$ [€/ kW]
- Speicher: $Kosten = 1002 * V^{0,2644}$ [€]; V = Volumen [l]
- Lagerraum: $Kosten = 495 * A^{-0,2309}$ [€/ m²]; A = Fläche [m²]
- Abgasanlage: $Kosten = 15,1 * \dot{Q}_H + 1108$ [€]

Somit ergeben sich bei einer Holzpelletanlage mit einer Leistung von 20,8 kW, einer Fläche von 24,3 m² und einem Speichervolumen von 400 l Gesamtkosten in Höhe von 32.900 €.

3.2 Wärmepumpe

Für die Deckung des Wärmeenergiebedarfs würde eine Luft- Wasser- Wärmepumpe infrage kommen, die als Wärmequelle die Außenluft und als Wärmesenke das Heizungswasser nutzt. Da die Arbeitszahl von 3,0 (Quelle: IWU- Toolbox) einer Wärmepumpe über eins liegt, ist der elektrische Energiebedarf mit 14.700 kWh/ a deutlich geringer im Vergleich der anderen Varianten. Im Verhältnis dazu, ist der CO₂- Ausstoß mit 9.500 kg_{CO2}/ a hoch, da die Wärmepumpe ausschließlich Strom als Energieträger nutzt.

Weitere Kosten, wie bei den anderen Varianten, fallen bei der Wärmepumpe nicht an. Zur Berechnung der Kosten wurde folgende Kostenfunktion verwendet:

- Erzeuger, Pumpe, Anschluss: $Kosten = 5706 * [(\dot{Q})_H^{-0,4775}]$ [€/ kW]

Mit einer Leistung von 20,8 kW ergeben sich Kosten in Höhe von 27.800 €.

3.3 Vergleich des Energiebedarfs der einzelnen Varianten

Im folgenden Kapitel sollen der Gebäudebezogene Endenergiebedarf der Erzeugervarianten miteinander verglichen werden. Dabei sollen der Endenergiebedarf für Trinkwarmwasser und Hilfsenergie vernachlässigt werden, da diese nahezu identisch sind.

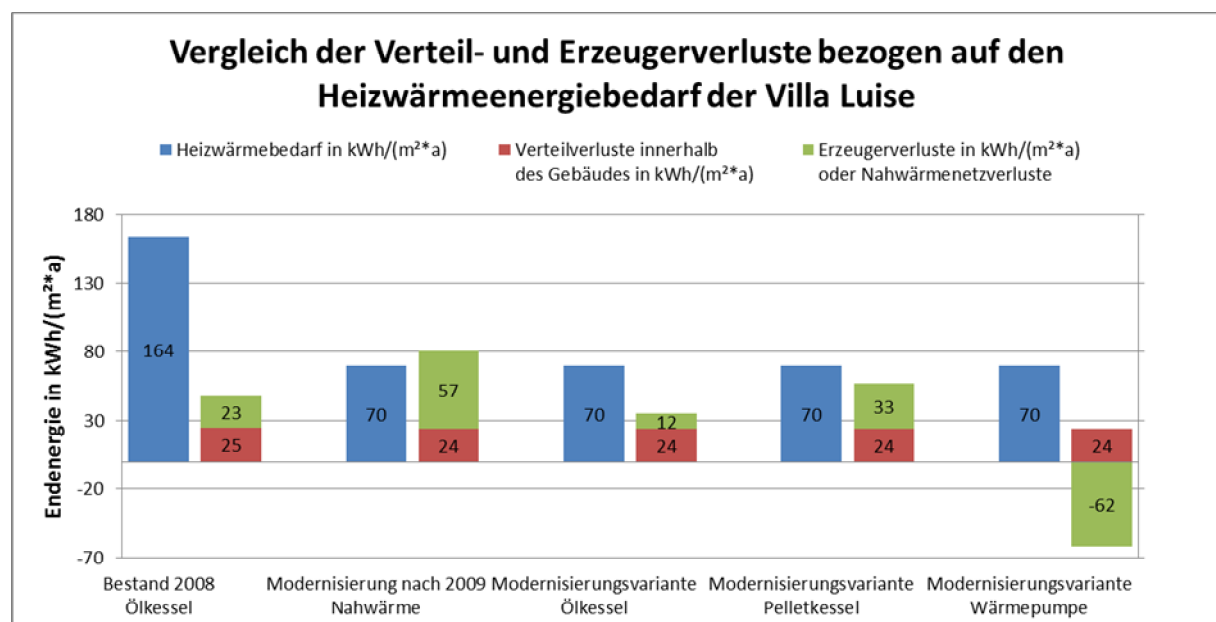


Bild 4 Vergleich der Erzeugervarianten

Die blauen Balken zeigen den Heizwärmebedarf vor und nach der Modernisierung der Villa Luise.

Bild 4 zeigt die grafische Auswertung der Verteil- und Erzeugerverluste und den jeweiligen Heizwärmebedarf der Villa Luise. Die Säulen in blau zeigen den Heizwärmebedarf vor und nach der Modernisierung des Gebäudes. Der Wärmebedarf der Varianten und der des heutigen Zustandes sind identisch, da der gleiche Baukörper mit denselben Bauteilqualitäten betrachtet wird. Einzig der Wärmebedarf des Gebäudes vor der Sanierung ist deutlich höher.

Die roten Säulen zeigen die Verteilverluste innerhalb des Gebäudes. Diese bleiben sowohl vor als auch nach der Sanierung annähernd gleich, da die Rohrleitungen nach Anzahl und Länge gleich geblieben sind. Nur die Rohrleitungsdämmdicke wurde vergrößert. Somit wird im modernisierten Gebäude eine Kilowattstunde je Quadratmeter und Jahr eingespart.

Da sowohl Heizwärmebedarf als auch Verteilverluste innerhalb des Gebäudes identisch sind, unterscheiden sich die Varianten und der heutige Zustand nur in den Erzeugerverlusten. Dem Nahwärmeanschluss werden die Verteilverluste als „Erzeuger“-verlust zugeschrieben. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass das Nahwärmenetz als Erzeugervariante die schlechteste aller hier betrachteten Varianten ist. Gegenüber einem Ölbrennwertkessel sind die Verluste des Nahwärmenetzes 5-mal so hoch.

Als energetisch beste Variante erweist sich die Wärmepumpe, die mit einer Arbeitszahl von 3,0 den geringsten Einsatz an Energie (aber elektrische!) benötigt, um den Heizwärmebedarf des Gebäudes zu decken. Eine wirtschaftliche Betrachtung der Thematik folgt in Kapitel 4 „Wirtschaftlichkeit“.

4 Wirtschaftlichkeit

Im nachfolgenden Kapitel sollen anhand des Excel- Tools „LEG-Verfahren“ die Wirtschaftlichkeit des Bestands und der Varianten miteinander verglichen werden.

4.1 LEG- Verfahren

Mit Hilfe des Bewertungstools „Wirtschaftlichkeit LEG“ können heutige und zukünftige Kosten für Kapital, Energie, Wartung und Unterhalt abgeschätzt und berechnet werden.

Tabelle 4 zeigt die heutigen Energiekosten und deren angenommene Preissteigerung pro Jahr, welche teilweise vom Finanzmanagement der Stiftung Neuerkerode zur Verfügung gestellt wurden.

Energieträger	Kosten heute $k_{e,0}$	Preisst eigerung s_E
Heizöl	0,060 €/kWh	0,070 1/a
Heizstrom	0,140 €/kWh	0,070 1/a
Holz	0,040 €/kWh	0,070 1/a
Fernwärme	0,066 €/kWh	0,070 1/a
Hilfsstrom	0,158 €/kWh	0,070 1/a

Tabelle 4 Energiepreise

Unter Berücksichtigung der Lebensdauer und der Kosten der Komponenten werden anhand des Energieverbrauchs die Kosten für Kapital, Energie, Wartung und Unterhalt pro Jahr berechnet und die Summe gebildet.

Gesamtsummen absolut		Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3
		Bestand	Öl - Brennwertkessel	Holzpelletkessel	Wärmepumpe
Investitionsbedarf heute		18.603 €	18.835 €	32.893 €	27.829 €
heutige Preise	Kapitalkosten	1.142 €	1.527 €	2.842 €	2.647 €
	Energiekosten	3.752 €	2.334 €	1.871 €	1.605 €
	Wartung und Unterhalt	686 €	331 €	1.126 €	1.113 €
	Summe	5.581 €	4.192 €	5.839 €	5.365 €
30-Jahresmittel	Kapitalkosten	1.142 €	1.527 €	2.842 €	2.647 €
	Energiekosten	11.483 €	7.142 €	5.726 €	4.911 €
	Wartung und Unterhalt	919 €	444 €	1.508 €	1.491 €
	Summe	13.543 €	9.113 €	10.076 €	9.049 €

Tabelle 5 Wirtschaftlichkeit LEG Verfahren 1

Tabelle 5 zeigt einen Ausschnitt der Wirtschaftlichkeitsberechnung der Varianten.

Aufgrund der niedrigen Investitionskosten und der geringen Wartungs- und Unterhaltungskosten des Öl- Brennwertkessels ist nach heutigen Energiepreisen dieses die wirtschaftlichste Variante. Im 30- Jahresmittel ist die Wärmepumpe durch die niedrigeren Energiekosten wirtschaftlicher als der Brennwertkessel. Als schlechteste aller Varianten erweist sich, auf Grund der hohen Verteilverluste und den daraus resultierenden hohen Energiekosten, der Nahwärmeanschluss.

		Variante 1 Öl - Brennwertkessel	Variante 2 Holzpelletkessel	Variante 3 Wärmepumpe
heutige Preise	Kapitalkosten	385 €/a	1700 €/a	1505 €/a
	Energiekosten	-1418 €/a	-1881 €/a	-2148 €/a
	Wartung und Unterhalt	-355 €/a	440 €/a	427 €/a
	Summe	-1388 €/a	259 €/a	-216 €/a
	Wirtschaftlich?	ja	nein	ja
30-Jahresmittel	Kapitalkosten	385 €/a	1700 €/a	1505 €/a
	Energiekosten	-4340 €/a	-5757 €/a	-6572 €/a
	Wartung und Unterhalt	-475 €/a	589 €/a	572 €/a
	Summe	-4431 €/a	-3467 €/a	-4495 €/a
	Wirtschaftlich?	ja	ja	ja

Tabelle 6 Wirtschaftlichkeit LEG Verfahren 2

Die Werte der Tabelle 6 sind auf die Kosten des Nahwärmeanschlusses bezogen. Negative Werte entsprechen Minder- und positive Werte Mehrkosten im Vergleich mit dem derzeitigen Nahwärmeanschluss.

Im Vergleich zum Nahwärmeanschluss amortisieren sich alle Varianten im 30- Jahresmittel. Der Ölkessel würde sich gegenüber dem Nahwärmeanschluss schon nach 4, die Wärmepumpe nach 14 und der Pelletkessel nach 16 Jahren amortisieren. Ab diesen Jahren ist die Differenz der Kapitalkosten durch die geringeren laufenden Kosten, wie Energie- und Wartungskosten, abgebaut.

Betrachtet man den heutigen Zustand als gegeben und vernachlässigt die bereits getätigten Investitionskosten des Nahwärmeanschlusses, würden sich die Varianten zu späteren Zeitpunkten amortisieren (zwischen 15-20 Jahren Amortisationsdauer). Dabei wird berücksichtigt, dass die Erzeuger und andere Bauteile, wie die Abgasanlage, nicht auf 30 Jahre ausgelegt sind, sondern Re- Investitionen zur Erneuerung anfallen.

Das bedeutet, dass die Entscheidung für den Nahwärmeanschluss sowohl aus energetischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht verkehrt war. Vielmehr hätte eine der alternativen Erzeugervarianten eingebaut werden sollen. Damit hätten je nach Variante zwischen **1.400 und 2.100 € jährliche Energiekosten eingespart** werden können.

Die Fehlentscheidung den Nahwärmeanschluss zu installieren, könnte mit einem Rückbau korrigiert werden, da zum heutigen Zeitpunkt eine **Deinstallation des Nahwärmeanschlusses sinnvoll** ist und sich die Varianten innerhalb des betrachteten Zeitraums amortisieren würden.

4.2 Ökologischer Vergleich

Da die Entscheidung einen neuen Wärmeerzeuger zu installieren, nicht nur aus wirtschaftlicher Sicht betrachtet werden sollte, werden im folgenden Unterkapitel die CO₂-Emissionen in kg/a miteinander verglichen. Veranschaulichen soll dies Bild 5.

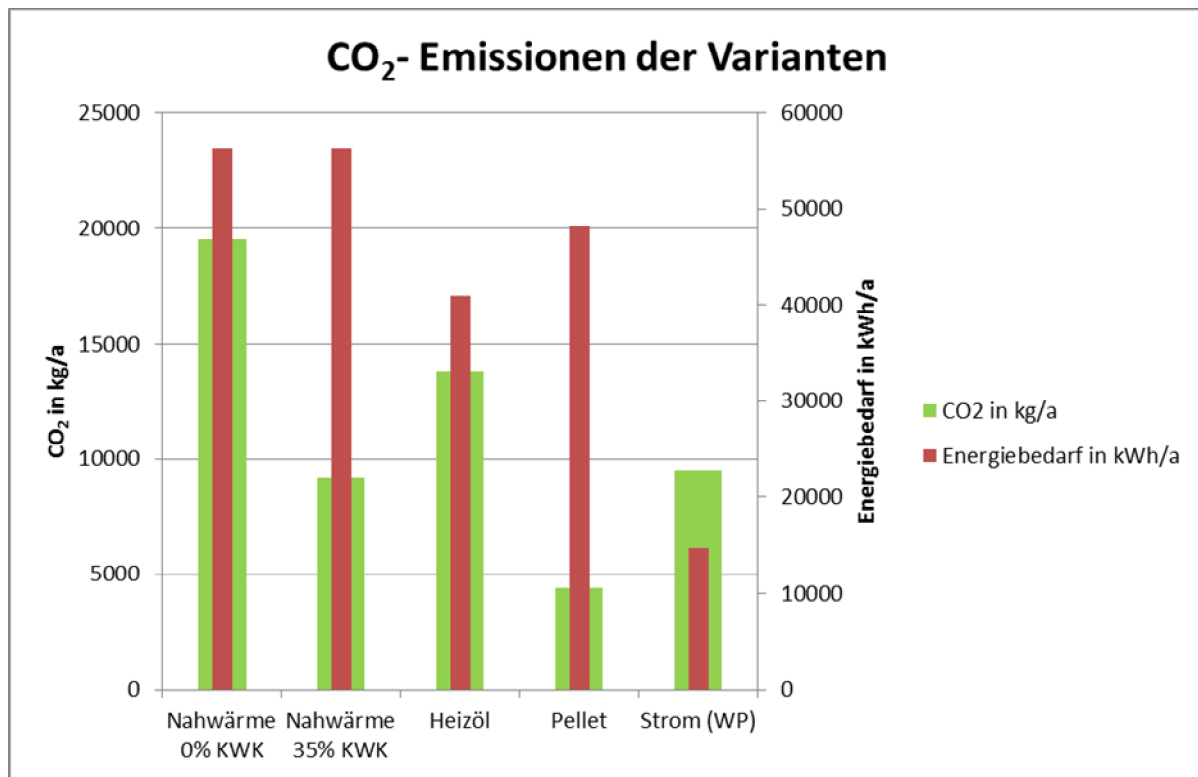


Bild 5 CO₂-Emissionen

Bild 5 zeigt die unter heutigen Gesichtspunkten entstehenden Emissionen der einzelnen Varianten des gesamten Gebäudes Villa Luise inklusive Warmwasser und Hilfsenergie. Zum besseren Verständnis ist der jeweilige Energiebedarf der Variante mit abgebildet.

Die CO₂-Emissionen werden mithilfe von Faktoren aus den Energiemengen gebildet. Diese Faktoren sind davon abhängig, welches Energiemedium wie umgewandelt wird. So setzt sich die heutige Stromerzeugung zum größten Teil aus Kohle- und Atomenergie zusammen und nur aus geringen Teilen regenerativer Energien. So ist der Faktor für Strom höher als bei Pellets. Ersichtlich wird dies aus den Säulen 4 und 5. So ist der Energiebedarf der Wärmepumpe am geringsten, jedoch die CO₂-Emissionen höher als bei einem Pelletkessel.

So ist auch die Nahwärmeversorgung von den verwendeten Medien abhängig. Generell kann in den nächsten Jahren davon ausgegangen werden, dass der Faktor für Strom weiter zurückgeht, da der Anteil der regenerativen Energien zunimmt. Ähnlich kann es auch bei der Nahwärme mit KWK gesehen werden. Je höher der Anteil an Kraftwärmekopplung und regenerativen Energien an der Nahwärmeversorgung ist, umso kleiner wird der Faktor. Die Faktoren für Öl und Pellets werden voraussichtlich annähernd gleich bleiben.

Aus heutiger Sicht würden vor allem ein Pelletkessel oder eine Wärmepumpe, aber durchaus auch ein Ölbrennwertkessel mit Heizöl/Bioöl sinnvoll sein. Vor allem bei der Wärmepumpe könnte über eine PV-Anlage der benötigte Strom teilweise selbst regenerativ erzeugt werden.

5 Ergebnisse und Empfehlungen

Aufgrund der Berechnungen und Ergebnisse des Energiekonzeptes, der Arbeit „Umbau- und Modernisierungskosten der Villa Luise“ und dieser Ausarbeitung lassen sich Ergebnisse und daraus Empfehlungen ableiten.

Durch die energetische Modernisierung wurde der Energiebedarf des Gebäudes gesenkt. Im Widerspruch dazu stehen die **gestiegenen Verluste** bei der Verteilung der Wärme, welche **ausschließlich durch die Fernwärmeleitung** verursacht werden.

Um die Fernwärmeverluste exakt zu bestimmen, kann nachträglich ein Wärmemengenzähler an der Primärseite des Kreises (Abzweig Haus Emmaus) installiert werden. Dadurch können die Verluste messtechnisch belegt werden.

Zudem ist nach den Ergebnissen dieser Arbeit nicht klar, warum der Nahwärmeanschluss installiert wurde. Vielmehr wären die Varianten mit einer **Wärmepumpe, einem Ölbrennwertkessel** oder einem **Holzpelletkessel** die Villa Luise zu beheizen, **ökonomischer und ökologischer** gewesen.

Es sollte in der Projektlaufzeit entscheiden werden, den **Nahwärmeanschluss still zu legen oder zurückzubauen** und den Wärmedarf des Gebäudes mit einer Wärmepumpe, einem Ölbrennwertkessel oder Pelletkessel zu decken.

Aus ökonomischer Sicht sollte eine Wärmepumpe, aus ökologischer Sicht ein Pelletkessel installiert werden, siehe Tabelle 7

Variante	Endenergiebedarf in kWh/a inklusive TWW und Hilfsenergie	CO ₂ -Äquivalent in kg/a	Kosten Erzeuger, Pumpen und Anschluss in €	zusätzl. Kosten Lager, Abgasanlage usw. in €	Gesamtkosten in €	Leistung in kW
Nahwärmeanschluss	59.600	9.600	18.602,62	0	18.600,00	35,00
Öl- Brennwertkessel	40.900	13.800	9.482,44	9.353,00	18.800,00	20,80
Holzpelletkessel	52.300	4.600	20.827,55	12.064,99	32.900,00	20,80
Wärmepumpe	15.800	10.200	27.828,68	0	27.800,00	20,80

Tabelle 7 Vergleich der Erzeugervarianten

Die mit gelb markierten Kästchen weisen die Spitzenwerte der einzelnen Bewertungskategorien aus. Dabei ist auf den ersten Blick zu erkennen, dass der Nahwärmeanschluss in keiner der Kategorien eine Spitzenposition erlangt, außer bei den Kosten.

Betrachtet man beide Bewertungsgrundlagen zusammen, sollte aufgrund des steigenden regenerativen Anteils an der Stromerzeugung eine Wärmepumpe eingebaut werden. Bei langfristigen Einsatz von Bioöl kann auch ein Ölbrennwertkessel eingebaut werden. Diese Lösungen kombinieren einen niedrigen Energieverbrauch, geringe Energiekosten und die in Zukunft immer weiter sinkenden CO₂- Emissionen.

6 Anhang

6.1 Quellen

- [1] Miehe, M., Li, N., Jagnow, K. und Wolff, D.;
Modernisierung der "Villa Luise";
DBU-Umsetzungsprojekt Neuerkerode; unveröffentlicht; Wolfenbüttel; 2012.
- [2] Jagnow, Wolff, Zeichner;
Bericht "Nahwärmenetzkarten Neuerkerode";
DBU-Umsetzungsprojekt Neuerkerode; unveröffentlicht; Wolfenbüttel; 07.07.2010.
- [3] Miehe, M., Li, N., Jagnow, K. und Wolff, D.;
Kostenkennwerte der Modernisierung "Villa Luise";
DBU-Umsetzungsprojekt Neuerkerode; unveröffentlicht; Wolfenbüttel; 2012.

6.2 Berechnung der Nahwärmeverluste der Teilstrecke 24

Berechnung der Verlustleistung:

Anhand der Daten der Tabelle kann die Verteilverlustleistung der Teilstrecke 34 mit folgender Formel berechnet werden:

$$\dot{Q} = \frac{2 * \pi * \lambda}{\ln\left(\frac{d_{\text{außen mit Dämmung}}}{d_{\text{außen ohne Dämmung}}}\right)} * l * (\vartheta_{\text{Rohr}} - \vartheta_{\text{Umgebung}}) = U * l * (\vartheta_{\text{Rohr}} - \vartheta_{\text{Umgebung}})$$

$$\dot{Q} = \frac{2 * \pi * 0,025 \frac{W}{m * K}}{\ln\left(\frac{105 \text{ mm}}{42,4 \text{ mm}}\right)} * 59 \text{ m} * (85 - 10)K = 0,767 \text{ kW}$$

$$Q = \dot{Q} * t = 0,767 \text{ kW} * 8760 \frac{h}{a} = 6715 \frac{kWh}{a}$$

Analoge Berechnung der anderen Werte.

6.3 Separate Anhänge

Es sind separat verfügbar:

- Energiebilanz nach IWU für den Gebäudebestand vor 2009
- Energiebilanz nach IWU für die Modernisierungsvariante mit Nahwärmeanschluss
- Energiebilanz nach IWU für die Modernisierungsvariante Ölbrennwertkessel
- Energiebilanz nach IWU für die Modernisierungsvariante Holzpelletkessel
- Energiebilanz nach IWU für die Modernisierungsvariante Wärmepumpe
- Wirtschaftlichkeitsberechnung nach LEG