

Universität Stuttgart
Institut für Energiewirtschaft und
Rationelle Energieanwendung (IER)

Datengrundlagen und Konzeption für den Online-Wärmekosten- rechner für Wohn- und Nichtwohngebäude

Teilprojekt im Rahmen des Vorhabens „Maß-
nahmenpaket Bioenergie-Wärme“ der AEE

Projektförderung: BMEL, Fachagentur
Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Stuttgart, aktualisierte Version,
Stand 02/2018

Marlies Härdtlein
Sören Reith
Moritz Notheis
Felix Kirch
Ludger Eltrop

Zielsetzung „Online-Wärmekostenrechner“

- Der Wärmekostenrechner soll Gebäudebesitzern, -vermietern und Endverbrauchern eine Grundlage bieten, um die Gesamtkosten verschiedener Wärmeversorgungsoptionen zu vergleichen und zu beurteilen.
- Er stellt ein flexibles, dynamisch ausgelegtes Tool dar, das dem Nutzer einen Wärmekostenvergleich auf Basis weniger Eingabedaten (u.a. Auswahl Gebäudetyp, Nutzfläche, Heiztechnologie) ermöglicht.
- Als Wohngebäude stehen Einfamilienhäuser, kleine und große Mehrfamilienhäuser (< 30 Wohneinheiten) zur Auswahl.
- Als Nichtwohngebäude stehen u.a. Büro- und Gewerbegebäude sowie öffentliche Gebäude zur Auswahl.
- Das vorliegende Vorhaben ist inhaltlich eingebunden in das Projekt „Maßnahmenpaket Bioenergie-Wärme“ der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE), gefördert durch BMEL/Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Projektlaufzeit 2015-2018).



Gliederung

- Vorgehensweise Vollkostenrechnung
- Betrachtete Gebäudevarianten
- Betrachtete Heiztechnologien
- Allgemeingültige technische Rahmenbedingungen
- Investitionen und kapitalgebundene Kosten
- Fördermittel und Zuschüsse
- Betriebsgebundene Kosten
- Verbrauchsgebundene Kosten
- CO₂-Emissionsfaktoren
- Literatur

Vorgehensweise Vollkostenrechnung

- Die Berechnung der jährlichen Gesamtkosten bzw. der spezifischen Kosten der Wärmeversorgung erfolgt nach VDI 2067 : Es werden die jährlichen kapitalgebundenen, betriebsgebundenen und verbrauchsgebundenen Kosten für die einzelnen Heiztechnologien ermittelt. Sonstige Kosten (u.a. Versicherungen) bleiben hier unberücksichtigt. Die jährlichen Gesamtkosten (€/a) der einzelnen Heiztechnologien ergeben sich jeweils aus der Summe der drei, annuisierten Kostenkomponenten.
- Ausschließlich KWK-Anlagen werden Nutzungsdauern der Heizungsanlagen von 20 Jahren angenommen. Bei KWK-Anlagen wird eine Betriebsdauer von 15 Jahren zugrunde gelegt.
- Bezogen auf den Jahreswärmebedarf bzw. die Nutzfläche können die spezifischen Kosten (€/cent/kWh bzw. €/(m²*a)) abgeleitet werden.
- Im Falle von KWK-Lösungen zur Wärmeversorgung erfolgt in den Berechnungen eine Gutschrift für die Stromerzeugung. Diese berücksichtigt: den vermiedenen Stromeinkauf bei Eigennutzung des erzeugten Stroms, die Vergütung von eingespeistem überschüssigem Strom und vermiedene Netznutzungsentgelte, KWK-Zuschlag für den erzeugten Strom (siehe BAFA (2015)) und Energiesteuererstattung für den Brennstoff. Weiterhin wird je nach Fall die EEG-Umlage in den Kalkulationen berücksichtigt.

Betrachtete Gebäudevarianten - Wohngebäude

- Der Wärmekostenrechner - Teil Wohngebäude - umfasst Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) (< 30 Wohneinheiten).
- Mit Bezug auf die EnEV 2016 werden für EFH und MFH jeweils sieben Gebäudevarianten mit unterschiedlichem spezifischen Heiz- und Brauchwasserwärmebedarf unterschieden (in Anlehnung an Mailach & Oschatz (2016)).
- Maßgebliche Bezugsgröße für die Berechnung des Jahreswärmebedarfs auf Basis der spezifischen Heiz- und Brauchwarmwasserbedarfe ist die beheizte Nutzfläche. Sie kann im Wärmekostenrechner individuell gewählt werden. Zu beachten ist, dass die Nutzfläche in der Regel größer ist als die Wohnfläche (vgl. Definition EnEV „Gebäudenutzfläche A_N “).
- Ausgehend von dem jeweiligen Jahreswärmebedarf der Gebäudevarianten wird - in Abhängigkeit der Volllaststundenzahl - der Leistungsbedarf der Anlagen zur Heizwärmebereitstellung ermittelt.
- Je nach Gebäudevariante variieren spezifischer Heizwärmebedarf und Volllaststundenzahl. Auf der folgenden Folie werden die Datengrundlagen tabellarisch dargestellt.
- Speziell bei "Altbau unsaniert" und "Altbau saniert light" erfolgt die Berechnung des Jahreswärmebedarfs brennstoffbasiert aus dem durchschnittlichen historischen Brennstoffbedarf (Eingabe durch Nutzer), dem jeweiligen Heizwert sowie einem zugrunde gelegten Jahresnutzungsgrad.
- Bei der Variante „Altbau saniert light“ können vom Nutzer prozentuale Angaben zu Einsparungen des Heizwärmebedarfs (z.B. durch Dämmung, neue Fenster...) eingetragen werden. Auf dieser Grundlage wird bei unverändertem Brauchwasserwärmebedarf der Jahreswärmebedarf ermittelt.

Übersicht spezifischer Heizwärmebedarf und Volllaststunden für die untersuchten Wohngebäudevarianten

Gebäudevariante	Spezif. Heizwärmebedarf [kWh/(m ² *a)]	Spezif. Warmwasserbedarf [kWh/(m ² *a)]	Volllaststunden [h/a]
Neubau KfW 55 – EFH (EnEV 2016)	31	11	1500
Neubau KfW 55 – MFH (EnEV 2016)	29	15	1610
Neubau Standard - EFH (Typischer Wärmeschutz EnEV 2016)	39	11	1610
Neubau Standard - MFH (Typischer Wärmeschutz EnEV 2016)	36	15	1670
Neubau Mindest - EFH (Mindestwärmeschutz EnEV 2016)	46	11	1660
Neubau Mindest - MFH (Mindestwärmeschutz EnEV 2016)	42	15	1720
Altbau saniert Standard - EFH (Typ. Wärmeschutz EnEV 2016)	46	11	1660
Altbau saniert Standard - MFH (Typ. Wärmeschutz EnEV 2016)	42	15	1720
Altbau saniert Mindest - EFH (Mindestwärmeschutz EnEV 2016)	64	11	1750
Altbau saniert Mindest - MFH (Mindestwärmeschutz EnEV 2016)	59	15	1780
Altbau saniert „light“	Auf Basis des bisherigen Brennstoffbedarfs mit Reduktion durch individuelle Sanierungseffekte	Auf Basis des bisherigen Brennstoffbedarfs	1800
Altbau unsaniert	Auf Basis des bisherigen Brennstoffbedarfs	Auf Basis des bisherigen Brennstoffbedarfs	1800

EFH: Einfamilienhaus; MFH: Mehrfamilienhaus

Gebäudevarianten und Heizwärmebedarfe basierend auf Mailach und Oschatz (2016)

Mini- und Mikro-KWK-Anlagen unterliegen gesonderten Annahmen bzgl. Volllaststunden und Auslegung, siehe Folie „Nano-, Mini- und Mikro-KWK“

Betrachtete Gebäudevarianten - Nichtwohngebäude

- Der Wärmekostenrechner - Teil Nichtwohngebäude - umfasst Bürogebäude, Fabrikhallen, Arztpraxen, Krankenhäuser, Kantinen/Restaurants, Hotels, öffentliche Gebäude, Schulen, Sporthallen, Einzelhandel.
- Die Nutzflächen können jeweils individuell gewählt werden. Die Nutzfläche wird analog zur Definition für Wohngebäude gehandhabt.
- Weiterhin wird zwischen Altbaugebäuden und Neubaugebäuden unterschieden. Bei Altbaugebäuden erfolgt eine Kalkulation des spezifischen Heizwärmebedarfs auf Basis des bisherigen Brennstoffeinsatzes, bei Neubaugebäuden erfolgt eine Kalkulation auf Basis der DIN V 18599. Der spezifische Brauchwasserwärmebedarf wurde ebenfalls auf Basis DIN V 18599 festgelegt.
- Ausgehend von dem jeweiligen Jahreswärmebedarf wird - in Abhängigkeit der Volllaststundenzahl - der Leistungsbedarf der Anlagen zur Heizwärmebereitstellung ermittelt.
- Spezifischer Heizwärmebedarf und Volllaststundenzahl variieren je nach Gebäudevariante und werden auf der nachfolgenden Folie tabellarisch dargestellt.

Übersicht spezifischer Heizwärmebedarf und Volllaststunden für alle untersuchten Nichtwohngebäudevarianten

Gebäudevariante	Spezif. Heizwärmebedarf [kWh/(m ² *a)]	Spezif. Warmwasserbedarf [kWh/(m ² *a)]	Volllaststunden [h/a]
Neubau – Büro	104	8	1.700
Neubau – Fabrikhalle leicht / mittel / schwer	45 / 52 / 47	21 / 21 / 21	1.700
Neubau – Arztpraxis	186	9	1.700
Neubau – Krankenhaus	924	146	2.400
Neubau – Kantine / Restaurant	192	253	1.700
Neubau – Hotel	84	128	2.400
Neubau – Öffentliche Gebäude	138	8	1.700
Neubau – Schulen	110	63	1.100
Neubau – Sporthallen	138	111	1.700
Neubau Einkauf	56	3	1.700
Altbau – NWG (Alle Kategorien)	Auf Basis des bisherigen Brennstoffbedarfs	Auf Basis des bisherigen Brennstoffbedarfs	In Abhängigkeit von Gebäudevariante

Quelle: Eigene Berechnung nach DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“

Mini- und Mikro-KWK-Anlagen unterliegen gesonderten Annahmen bzgl. Volllaststunden und Auslegung, siehe Folie „Nano-, Mini- und Mikro-KWK“

Betrachtete Heiztechnologien

Der Heizwärme- und Warmwasserbedarf wird in den Wohn- und Nichtwohn-Gebäudevarianten durch verschiedene Heiztechnologien bereitgestellt. Die Auswahl der Heiztechnologien erfolgte unter Berücksichtigung der aktuellen Vorgaben der EnEV 2016, des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (2009/2015) und des Erneuerbare-Wärme-Gesetzes (2015). Weiterhin wurden technische Anforderungen berücksichtigt (u.a. erforderlicher Leistungsbedarf für Gebäudevarianten und technisch realisierbare Leistungsbereiche der Heiztechnologien).

Prinzipiell wurden berücksichtigt:

- Pelletöfen mit Wassertasche, Pelletkessel, Scheitholzessel, Hackschnitzelkessel
- Gas- und Öl-Brennwertkessel
- Wärmepumpensysteme (Luft / Sonde)
- Mini- und Mikro-KWK-Anlagen
- Fernwärme
- Solarthermische Anlagen in Kombination mit Holzessel sowie Gas- und Öl-Brennwertkessel

Pelletöfen, Pelletkessel, Scheitholzessel, Hackschnitzelkessel

- Es werden entsprechend der Marktgegebenheiten Holzheizkessel in Abhängigkeit der Heizlast gewählt. Dabei wird davon ausgegangen, dass Pelletöfen im Leistungsbereich von 4 bis 15 kW und Pelletkessel im Leistungsbereich von 4 bis 100 kW zur Verfügung stehen. Scheitholzvergaserkessel werden im Wärmekostenrechner in einem Leistungsbereich von 15 bis 60 kW berücksichtigt, während Hackschnitzelkessel marktüblich ab 20 kW verfügbar sind.
- Es wurde in allen Fällen ein Kombispeicher angesetzt. Bei Hackschnitzelkesseln wird die Speichergröße mit 40l/kW, bei Pelletkesseln mit 50l/kW und bei Scheitholzesseln nach Hartmann et al. (2013) mit 80 l/kW angesetzt. Die Speichergrößen berücksichtigen die MAP-Anforderungen.
- Lagerung: Bei Pellets wird für Jahresbedarfsmengen < 3000 kg von Sackware ausgegangen und ansonsten mit einem Gewebesilo kalkuliert. Hackschnitzel werden in einer Lagerhalle mit Pultdach gelagert. Scheitholz wird ebenfalls unter einer Überdachung gelagert, wofür entsprechende Kosten angesetzt werden.

Gas- und Öl-Brennwertkessel

- Für Öl und Gas werden ausschließlich Brennwertkessel eingesetzt. Zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben (EEWärmeG; EWärmeG) wird für beide Brennstoffarten zusätzlich eine Variante mit solarer Unterstützung gerechnet.
- Als Brennstoffe werden eingesetzt: leichtes Heizöl, Erdgas, Propan und Bioerdgas. Dabei bieten Bioerdgastarife nur einen prozentualen Anteil Bioerdgas an der Gesamtmenge.
- Die Kosten für Brennstofflagerung/Brennstoffanschluss im Neubau basieren auf Werten aus der Literatur. Die Öllagerung wurde nach Hartmann (2013), der Gasanschluss nach Hinz (2015) und der Propantank auf Basis von Herstellerangaben modelliert.
- Im Altbau wurden eventuell vorhandene Brennstofflager/-anschlüsse sowie Entsorgungskosten für Heizöltanks berücksichtigt.
- Für die Varianten ohne solare Unterstützung wurde ein Warmwasserspeicher nach Diefenbach et al. (2002) vorgesehen. Bei solarer Unterstützung wird zusätzlich ein Pufferspeicher vorgesehen (siehe hierzu Kapitel solarthermische Anlagen).

Wärmepumpensysteme

- Das Marktanreizprogramm (MAP) stellt verschiedene technische Anforderungen an eine Förderung von Wärmepumpen im Wohn- und Nichtwohngebäudebereich, die sich u.a. auf die Jahresarbeitszahl (JAZ) beziehen. So werden beispielsweise im Wohngebäudebereich für Wärmepumpen JAZ von 3,8 (Erdwärmesonde) bzw. 3,5 (Umgebungsluft) gefordert (Basisförderung). Praxiserfahrungen und die Durchführung von Feldtests zeigen jedoch, dass die hohen Anforderungen des MAP teilweise nicht erfüllt werden (können). Eine sorgfältige Planung und Auslegung der Anlagen kann dazu beitragen, die Probleme im Praxisbetrieb zu reduzieren (Fraunhofer-ISE (2010)). Um eine realitätsnahe Berechnung der verbrauchsgebundenen Kosten zu ermöglichen, werden JAZ-Angaben aus Feldtests herangezogen (vgl. Günther (2011)). Dennoch wird in Bezug zur Praxis angenommen, dass neu errichtete Wärmepumpen die Förderrichtlinien erfüllen und damit entsprechende MAP-Förderung erhalten.
- Für Altbauten werden Zusatzkosten für die Anpassung der Heizflächen angesetzt. Es werden 1/3 der Kosten für die Verlegung einer Fußbodenheizung nach Hinz (2012) berücksichtigt.

Nano-, Mini- und Mikro-KWK

- Nano-, Mini- und Mikro-KWK Anlagen werden wärmegeführt betrieben und decken damit einen Teil der Grundlast des Wärmebedarfes ab. Der weitere Wärmebedarf wird durch einen erdgasbefeuerten Spitzenlastkessel abgedeckt.
- Der Einsatz von KWK-Anlagen wird durch gesetzliche Regelungen limitiert. Nach dem EEWärme-Gesetz muss eine KWK-Anlage mindestens 50 % des Gesamtwärmebedarfes decken. Dieser Wert wurde im HKV für Neubauten übernommen. In Verbindung mit dem EWärme-Gesetz gelten für Altbauten spezifische Anforderungen.
- Die Stromeigennutzungsquote wird je nach Gebäudeart (WG; NWG) und Gebäudevariante auf Basis von Studien festgelegt. Siehe hierzu Wunsch et al. (2014); Ministerium für Umwelt, Energiewirtschaft und Klimaschutz (2014) u.a.
- Die Auslegung der KWK-Anlagen wird anhand der thermischen Leistung durchgeführt. $P_{th; KWK}$ ergibt sich aus dem Anteil am Gesamtwärmebedarf und den Volllaststunden (VLH) der KWK-Anlage. Die VLH werden je nach Gebäudeart (WG; NWG) und Gebäudevariante auf Basis von Wunsch et al. (2014) festgelegt. Die elektrische Leistung wird für Nano-KWK-Anlagen pauschal mit 1 kW_{el} angesetzt, während die elektrische Leistung von Mini- und Mikro-KWK-Anlagen anhand einer Marktanalyse auf Basis der thermischen Leistung berechnet wird.
- Neben Erdgas als Brennstoff wird für Wohngebäude auch Bioerdgas als möglicher Brennstoff betrachtet.
- Der Wärmespeicher wird für Nano-KWK-Anlagen (inkl. Spitzenlast) mit $60 \text{ l/kW}_{th; \text{Gesamtleistung}}$ zuzüglich eines Speichervolumens für Trinkwasser angesetzt. Für Mini- und Mikro-KWK-Anlagen wird der Wärmespeicher mit $80 \text{ l/kW}_{th; KWK}$ angesetzt zuzüglich eines Speichervolumens für Trinkwasser.

Fernwärme

- Es wird davon ausgegangen, dass ein Fernwärmenetz verfügbar ist. Daher werden hierfür keine Kosten berücksichtigt.
- Es werden aber Anschlusskosten nach Hinz (2015) und Kosten für die Hausstation (Recherche Marktpreise) angesetzt.
- Die Speichergröße berechnet sich nach Diefenbach (2002).

Solarthermische Anlagen

- Solarthermische Anlagen werden in Kombination mit Pelletöfen, Pelletkessel, Gas- und Heizölbrennwertkessel untersucht. Dabei wird eine kombinierte Nutzung zur Heiz- und Brauchwassererwärmung unterstellt.
- Als Kollektortypen werden Flachkollektoren betrachtet. Nach Stuible et al. (2014) sind dies die im Rahmen des Marktanreizprogramms am häufigsten geförderten Kollektortypen.
- Die Auslegung erfolgt jeweils mit Bezug auf die Mindestanforderungen nach EEWärmeG und EWärmeG. Die gesetzlichen Regelungen sehen vor, dass mindestens 15% des Jahreswärmebedarfs eines Gebäudes durch solarthermische Anlagen gedeckt werden muss. Sofern vorteilhaft werden pauschale Werte zur Auslegung nach EEWärmeG oder EWärmeG verwendet. Ansonsten wird von einem Kollektorkreisnutzungsgrad von 40 % und einer solaren Bestrahlung von $1.000 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ausgegangen.
- Im Falle einer solarthermischen Wärmezeugung wird von einem zusätzlichen Speicherbedarf von $60 \text{ l}/\text{m}^2_{\text{Kollektorfläche}}$ ausgegangen.

Allgemeingültige technische Rahmenbedingungen

- Der Jahresbrennstoffbedarf errechnet sich als Quotient aus dem Jahreswärmebedarf des Gebäudes und dem Nutzungsgrad der Anlage. Für Neuanlagen werden die nachfolgenden Nutzungsgrade angewendet:

	Öl-Brennwertkessel	Gas-Brennwertkessel	Scheitholz-kessel	Pellet-kessel	Hackschnitzelkessel	Pelletofen	Fernwärme
Jahresnutzungsgrad [%]	90	90	75	81	75	78	97

Quellen: Pellets: Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung (2013)
Fernwärme: Blesl (2009)
Pelletofen: <http://heizkostenrechner.eu/jahresnutzungsgrad-heizung.html>
Weitere: MINENERGIE (2009)

- Für Heiztechnologien, die einen Schornstein benötigen, werden bei Neubauten Kosten in Abhängigkeit der Gebäudehöhe angesetzt. Für Altbauten werden Schornstein-Sanierungskosten ebenfalls in Abhängigkeit der Gebäudehöhe angesetzt.
- Für eine Förderung nach dem Marktanzreizprogramm ist der hydraulische Abgleich häufig eine Voraussetzung. Daher wird er mit Kostendaten nach Hinz (2012) pauschal in die Investitionskosten aufgenommen.

Trinkwasser- und Kombispeicher

- Holzheizungen: Es wurde in allen Fällen ein Kombispeicher angesetzt. Bei Hackschnitzelkesseln wird die Speichergröße mit 40l/kW, bei Pelletkesseln mit 50l/kW und bei Scheitholz-kesseln nach Hartmann et al. (2013) mit 80 l/kW angesetzt. Die Speichergrößen berücksichtigen die MAP-Anforderungen.
- Gas- und Öl-Brennwertkessel: Für die Varianten ohne solare Unterstützung wurde ein Warmwasserspeicher nach Diefenbach et al. (2002) vorgesehen. Bei solarer Unterstützung wird zusätzlich ein Pufferspeicher vorgesehen (siehe unten).
- Wärmepumpen: Es wurde ein Kombispeicher mit einer Speichergröße von 40 l/kW angesetzt.
- KWK-Anlagen: Der Wärmespeicher wird für Nano-KWK-Anlagen (inkl. Spitzenlast) mit $60 \text{ l/kW}_{\text{th; Gesamtleistung}}$ zuzüglich eines Speichervolumens für Trinkwasser angesetzt. Für Mini- und Mikro-KWK-Anlagen wird der Wärmespeicher mit $80 \text{ l/kW}_{\text{th; KWK}}$ angesetzt zuzüglich eines Speichervolumens für Trinkwasser.
- Solarthermische Anlagen: Im Falle einer solarthermischen Wärmeerzeugung wird von einem zusätzlichen Speicherbedarf von 60 l/m^2 Kollektorfläche ausgegangen.
- Die Speicherkosten ergeben sich aus Regressionsanalysen auf Basis von Herstellerdaten. Wird eine Speichertechnologie mit einem größeren Funktionsumfang günstiger als eine einfachere Speichertechnologie, dann wird über eine Wenn-Dann-Abfrage der günstigere, bessere Speicher ausgewählt. Bei einem großen Speichervolumen kann es beispielsweise vorkommen, dass ein Kombispeicher mit Solarwärmetauscher günstiger wird als ein Kombispeicher ohne Solarwärmetauscher. Da der zusätzliche Wärmetauscher keinen Nachteil bringt, wird in diesem Fall der Preis des Speichers mit Solarwärmetauscher einberechnet. Genauso verhält es sich im Vergleich von reinen Trinkwasserspeichern (mit oder ohne Solar) und Kombispeichern (mit oder ohne Solar). Letztere besitzen mehr Funktionen.

Investitionen und kapitalgebundene Kosten I

Der Wärmekostenrechner berücksichtigt die nachfolgend aufgelisteten, wesentlichen Systemkomponenten und Investitionskosten verschiedener Heiztechnologien. Die Kostenangaben beinhalten die Mehrwertsteuer, die im Wärmekostenrechner abschließend noch einmal getrennt ausgewiesen wird.

Kostenkomponente	Quelle
Biomassekessel	FNR (2012); FNR (2013); FNR (2015)
Fossile Kessel / Hausstation /Wärmepumpen / Kombispeicher / Trinkwasserspeicher / Flüssiggastank / Schornstein / Schornsteinsanierung / Entsorgung Heizöltank / Zu-/Abluft mit WRG	Eigene Recherche; Hersteller – Preislisten, Hinz (2012)
Erdwärmesonde	Walker-Hertkorn (2016)
Flachkollektoren	Stuible et al. (2014)
Lagerung / Austragung / Tank	Hartmann (2013)
Gasanschluss/Fernwärmeanschluss	Hinz (2015)
Montage / Inbetriebnahme	Stuible et al. (2014); Hartmann (2013); ASUE (2014)
Bauliche Anpassungen der hausinternen Verteilung	Hinz (2012)
Hydraulischer Abgleich	Hinz (2012)

Investitionen und kapitalgebundene Kosten II

- Die Berechnung der kapitalgebundenen jährlichen Kosten basiert auf der Summe der Investitionskosten und erfolgt anhand der „Annuitätenmethode“.
- Es wird eine Lebensdauer der Anlagenkomponenten von einheitlich 20 Jahren zugrunde gelegt (Ausnahme 15 Jahre bei Nano-, Mini-/Mikro KWK).
- Der Zinssatz wird entsprechend dem passenden KfW-Programm gewählt. Ist keine Förderung durch das KfW möglich, wird der Zinssatz nach aktuellen Angaben der Deutsche Bundesbank gewählt (2018).

Fördermittel, Tilgungszuschüsse, zinsvergünstigte Darlehen

- Der Heizkostenvergleich berücksichtigt ausgewählte Fördermittel, Zuschüsse und zinsvergünstigte Darlehen, die sich aus Förderoptionen auf Bundesebene ergeben.
- Folgende Förderoptionen werden berücksichtigt und nachfolgend näher erläutert:
 - ✓ Marktanzreizprogramm (MAP) - BAFA,
 - ✓ Anreizprogramm Energieeffizienz,
 - ✓ Marktanzreizprogramm (MAP) - KfW-Kredite und Tilgungszuschüsse sowie die
 - ✓ Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW_{el}
- Der Heizkostenvergleich zeigt damit exemplarisch Förderoptionen auf. Grundsätzlich sind für den Einzelfall die Fördermöglichkeiten gezielt zu recherchieren und es sind unterschiedliche Förderoptionen auf Bundes-, Länder- und Regionalebene zu beachten.

Marktanreizprogramm - Bundesamt für Ausfuhrkontrolle (BAFA)

- Mit der „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ steht ein umfangreiches Förderprogramm zur Verfügung. Die Förderung fokussiert auf den Gebäudebestand. Nur in wenigen Fällen werden auch Maßnahmen bei Neubauten gefördert.
- Link: <http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Foerderung/Marktanreizprogramm/marktanreizprogramm.html>
- Die Fördermittel (Investitionskostenzuschüsse) werden im Heizkostenvergleich als Gutschrift den Investitionskosten zugerechnet, da nur für den durch die Förderung verminderten Betrag Kredite benötigt werden.
- Das Marktanreizprogramm (MAP) hält eine Basisförderung (für Biomassekessel, effiziente Wärmepumpen, Solarkollektoren) und u.a. verschiedene Zusatz- und Innovationsförderungen bereit. Der Heizkostenvergleich berücksichtigt ausgewählte Förderoptionen des MAP-BAFA.

Aus dem MAP-BAFA werden berücksichtigt:

- Basisförderung im Gebäudebestand
- Kombinationsbonus EE (mehrere kombinierte erneuerbare Energiesysteme oder Anschluss ans Wärmenetz)
- Kesseltauschbonus (Neuer Kessel mit Brennwerttechnik)

Zusätzliche, u.a. nicht berücksichtigte Förderoptionen des MAP-BAFA:

- Optimierungsbonus für weitere Einzelmaßnahmen am Heizsystem
- Innovationsförderung
- Gebäudeeffizienzbonus
- Nachträgliche Optimierungsmaßnahmen

Anreizprogramm Energieeffizienz

- Wird ein Investitionszuschuss im Rahmen des MAP bewilligt, so können für den Gebäudebestand zusätzliche Fördermittel im Rahmen des Anreizprogramms Energieeffizienz (APEE) erzielt werden.
- Bedingung des APEE ist, dass die alte Heizungsanlage mit fossilen Brennstoffen betrieben und keine Brennwert- oder Brennstoffzellentechnologie verwendet wird. Außerdem darf für die Heizungsanlage keine gesetzliche Austauschpflicht (für Anlagen älter als 30 Jahre) nach §10 der EnEV bestehen.
- Sind diese Bedingungen erfüllt, hält das APEE bei folgenden Maßnahmen den APEE-Zuschuss von 20% auf die MAP-Grundförderbetrag (Basis/Innovations- plus Zusatzförderung) bereit:
 - Austausch einer Heizungsanlage gegen eine förderfähige Biomasseanlage
 - Austausch einer Heizungsanlage gegen eine förderfähige Wärmepumpenanlage
 - Errichtung einer Solarkollektoranlage zur Unterstützung einer bestehenden Heizungsanlage
- Um den vorgestellten APEE-Zuschuss tatsächlich zu erhalten ist es obligatorisch, eine Optimierung der Heizungsanlage vorzunehmen. Diese Optimierung wird mit weiteren 600€ gefördert und setzt sich aus folgenden Einzelmaßnahmen zusammen:
 - Bestandsaufnahme und Analyse des Ist-Zustandes (z.B. nach DIN EN 15378)
 - Durchführung eines hydraulischen Abgleichs
 - Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz am gesamten Heizungssystem (z.B. Optimierung der Heizkurve, Anpassung der Vorlauftemperatur und der Pumpenleistung, Einsatz von Einzelraumreglern)

KfW-Kredit und Tilgungszuschüsse

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) stellt zinsvergünstigte Darlehen zur Verfügung und gewährt Tilgungszuschüsse.

- Wohngebäude
 - Für den Heizkostenvergleich werden nur Basisprogramme zum Kauf oder zur Finanzierung von Wohneigentum (Programme Nr. 124 und 153) und zum effizienten Sanieren von Bestandsgebäuden (Programme Nr. 152 und 167) berücksichtigt.
 - Speziell sei u.a. auf weitere Fördermöglichkeiten z.B. von Wärmenetzen und deren Hausübergabestationen im KfW-Programm Erneuerbare Energien „Premium“ hingewiesen.
- Nichtwohngebäude
 - Für Unternehmen und Privatpersonen jeglicher Größe berücksichtigt der HKV das KfW-Programm 270, für Kommunen wird das KfW-Programm 208 angewendet.
 - Das KfW-EE-Premium hält neben vergünstigten Krediten analog zum MAP Tilgungszuschüsse für besonders förderungswürdige größere Anlagen zur Nutzung von Erneuerbaren Energien bereit. Auch bei diesem Programm werden nur die Basisförderungen berücksichtigt. Keine Berücksichtigung finden Innovationsförderungen, Zuschüsse für große Wärmespeicher und die besondere Bezuschussung kleiner sowie mittelständischer Unternehmen.

KWK-Förderung

- Mit der „Richtlinie zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW_{el}“ wird von der BAFA speziell für KWK-Anlagen im kleinen Leistungsbereich ein Investitionskostenzuschuss gewährt. Im Wärmekostenrechner wird ausschließlich die leistungsabhängige Basisförderung berücksichtigt.
- Zu beachten sind hier die Fördervoraussetzungen, die nachweislich eingehalten werden müssen.
- Die Bonusförderungen „Wärmeeffizienz“ und „Stromeffizienz“, die zusätzliche 25% bzw. 60% bezogen auf den Basis-Förderbetrags bedeuten können, werden nicht berücksichtigt.
- Grundsätzlich sind auch hier für den Einzelfall die Fördermöglichkeiten gezielt zu recherchieren und auch die spezifischen Förderoptionen auf Länder- und Regionalebene zu beachten.

http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Mini_KWK/mini_kwk_node.html

- Die KWK-Zuschläge auf eingespeisten und selbst genutzten Strom variieren mit der Anlagengröße. KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung $P_{el, KWK} < 50\text{kW}$ erhalten die Zuschläge während 60.000 Stunden Betriebszeit, die Vergütung größerer Anlagen erstreckt sich nur über 30.000 Betriebsstunden.
- Der KWK-Zuschlag auf eingespeisten Strom beträgt 8 ct/kWh, selbst genutzter Strom wird mit 4 ct/kWh vergütet.

Betriebsgebundene Kosten I

- Für die Ermittlung der Höhe der Instandsetzungs- und Wartungskosten der Heiztechnologien wurde nach VDI 2067 jeweils ein prozentualer Anteil an den Investitionskosten herangezogen. Für die Heiztechnologien die in VDI 2067 nicht aufgeführt sind, wurden Annahmen getroffen.

Heiztechnologie/Anlagenteil	Instandsetzung [%]	Wartung [%]	Quelle/Annahme
Pelletkessel/Pelletofen	3	3	VDI 2067
Scheitholzessel	2	2,5	Abschätzung
Erdgas (Brennwertkessel)	1,5	1,5	VDI 2067
Bioerdgas (Brennwertkessel)	1,5	1,5	Annahme: Entspricht Erdgas
Heizöl (Brennwertkessel)	2	1,5	VDI 2067
Flüssig-Gas	1,5	1,5	Annahme: Entspricht Erdgas
Flüssiggasbehälter	1,5	1	VDI 2067
Solarkollektoren	0,5	1	VDI 2067
Wärmepumpe	1	1,5	VDI 2067
Erdsonde	2	1	VDI 2067
KWK-Anlagen	6	2	VDI 2067
Fernwärme (Übergabestation)	2	1	VDI 2067
Fernwärme (Hausanschluss)	1	-	Abschätzung
Hackschnitzel	3	3	VDI 2067

Betriebsgebundene Kosten II

- Die Schornsteinfegerkosten berücksichtigen Kosten für die Feuerstättenschau und die Erstellung des Feuerstättenbescheids sowie - unterschieden nach Kesseln für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe - die Tätigkeiten des Schornsteinfegers für Reinigen, Kehren und Emissionsmessung (vgl. KÜO (2013)).
- Kosten für Öltankreinigung und Prüfung von Gastanks werden spezifisch anhand der gelagerten Brennstoffmenge berechnet.
- Der Hilfsstromverbrauch wird als prozentualer Anteil der thermischen Arbeit bestimmt und unterscheidet sich je nach Heiztechnologie (Schoch (2009), Hartmann (2013)):

	Scheitholz- kessel	Gas- /Öl- Brenn- wertkessel	Pellet- kessel	Solaranlage	Wärme- pumpe	Pelletofen	Fernwärme
Hilfsstrom- verbrauch[%]	1,5	1	2,5	5	0	1,25	2,5

- Bzgl. Hilfsstrombedarf von KWK-Anlagen wird angenommen, dass der Betrieb mit Eigenstrom erfolgt und dies in der Festlegung des Nutzungsgrads der KWK-Anlagen bereits berücksichtigt ist (vgl. ASUE 2014). Daher wird für den KWK-Betrieb kein Hilfsstrombedarf kalkuliert. Ausschließlich für den Betrieb des erdgasbetriebenen Spitzenlastkessels wird der Hilfsstrombedarf ermittelt.

Verbrauchsgebundene Kosten

Wohngebäude:

- Die Grundpreise und spezifischen Kosten für Heizöl, Erdgas, Flüssiggas, Strom, Pellets, Scheitholz, Hackschnitzel und Fernwärme basieren auf regelmäßig aktualisierten Internetangaben (u.a. www.enbw.com, www.depv.de, www.tfz.bayern.de, BMWI (2017)). Die Angaben beinhalten Mehrwertsteuer und für die jeweiligen Fälle Strom- und Erdgassteuer sowie Energiesteuer auf Flüssiggas.
- Die Höhe der verbrauchsgebundenen Kosten und damit die Energieträgerpreise für Holz, Heizöl, Gas und Strom unterliegen z.T. deutlichen zeitlichen Schwankungen. Speziell für Pellets, Heizöl und Flüssiggas, die monatliche bzw. auch tägliche Preisvolatilitäten aufweisen, wird jeweils das Preismittel der letzten 12 Monate den Kostenkalkulationen zugrunde gelegt.

Nichtwohngebäude:

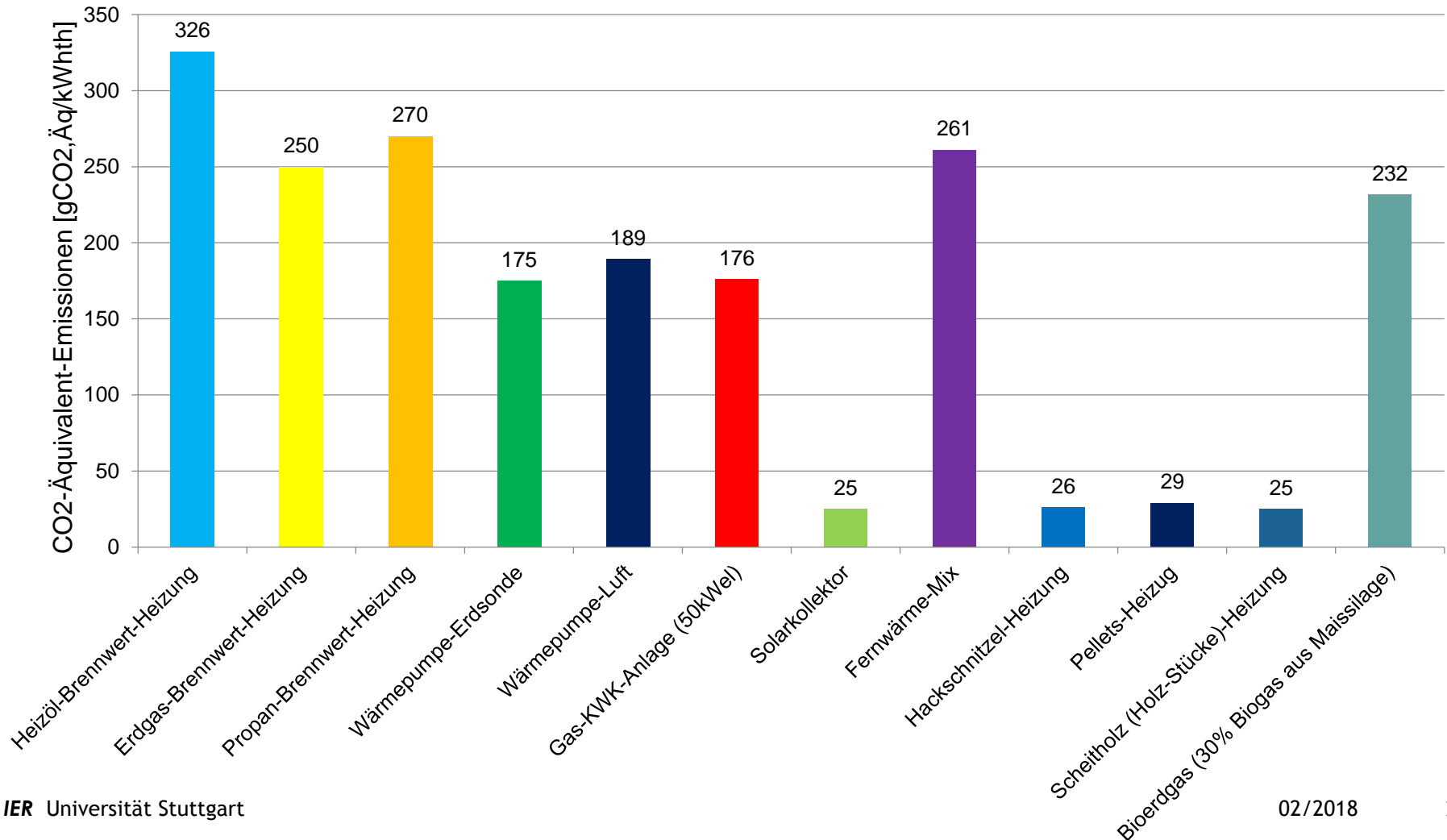
- Hier ist in den meisten Fällen von individuellen Verträgen und damit individuellen Energieträgerpreisen speziell für Strom, Erdgas und Heizöl auszugehen. Für die Berechnungen werden daher Energieträgerpreise für Strom, Heizöl und Erdgas auf Basis von Studien/Literaturrechen herangezogen (Wünsch et al. (2014)). Sonstige Energieträgerpreise werden analog zu den Wohngebäuden angenommen.

Preissteigerungen:

- Die Angabe der jährlichen Gesamtkosten der Heiztechnologien erfolgt damit auf Basis der aktuellen Energieträgerpreise. Dies wird durch Szenarien unterschiedlicher Teuerungsraten am Beispiel von Pellets und Erdgas ergänzt. Anhand unterschiedlicher Energieträger-Teuerungsraten (jeweils 2 % und 5% pro Jahr, effektiv, sowohl für Pellets als auch für Erdgas) werden die Auswirkungen auf die jährlichen Gesamtkosten der Heiztechnologien im Verlaufe von 20 Jahren aufgezeigt.

CO₂-Äquivalent-Emissionen

- Quelle: GEMIS, Version 4.95: Es werden heiztechnologie-spezifische Emissionsfaktoren je kWh Nutzwärme im Wärmekostenrechner angewendet. Die Angabe der Bioerdgas-Emissionen stammt nicht aus GEMIS und wird auf der nächsten Folie erläutert.



CO₂-Äquivalent-Emissionen Biomethan

- Verschiedene Faktoren nehmen Einfluss auf die Emissionsbilanz von Biomethan entlang der gesamten Prozesskette. Nach Vogt (2008) wurden unten stehende Annahmen festgelegt, woraus CO₂-Äquivalent-Emissionen des Biomethan in Höhe von 170 g/kWh_{Biomethan} resultieren.

Einflussfaktor	Annahme
Biogenes Ausgangsprodukt	Laut Vogt (2008) erfordern wirtschaftliche Aspekte bei Biogasanlagen zur Biomethanproduktion eine gewisse Größe, was den überwiegenden Einsatz von Energiepflanzen zur Folge hat. Deshalb wurde die Bilanzierung für Silomais durchgeführt.
Biogas-Produktionsverfahren (Fermentierung)	Für die Fermentierung wurde ein Methanschlupf von 1% angenommen.
Eigen- oder Fremdversorgung der Biogasanlage	Der Strombedarf der Biogasanlage wird vom Netz gedeckt, die benötigte Wärme wird durch das Biogas bereitgestellt.
Gaslagerung	Die Gaslagerung erfolgt in einem gasdichten Lager mit Restgasnutzung.(CH ₄ -Verlust ca. 0%)
Aufbereitungsverfahren	Zur Biogasaufbereitung wird die Druckwechseladsorption (PSA) in Betracht gezogen.

- Die im Heizkostenvergleich berücksichtigte Bioerdgasmischung mit einem Biomethananteil von 30% (Bio-/Erdgas 30/70) verursacht auf dieser Datengrundlage, bei einem Nutzungsgrad von 90% des Kessels, CO₂-Äquivalent-Emissionen in Höhe von 232 g/kWh_{th}.

Literatur I (Auswahl)

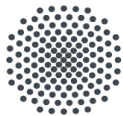
- ASUE (2015): Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. BHKW-Kenndaten 2014/2015. Module, Anbieter, Kosten.
- ASUE (2014): Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. Leitfaden zur Anmeldung und steuerlichen Behandlung von Mikro-BHKWs bis zu 5 kW. Stand Mai 2014
- ASUE (2011): Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. Ratgeber Wärmeversorgung mit Kostenvergleich Heizung 2011, Neubau / Grundsanierung. Im Internet unter <http://asue.de/node/438>, zuletzt besucht am 19.01.2016
- BAFA (2015): Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Informationen zu KWK-Förderung. Im Internet unter: http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/index.html, Zuletzt besucht am: 17.01.2016
- Bachor et al. 2013: Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Status quo und Perspektiven. Statusreport 2013. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Düsseldorf
- Büchner, Daniel, Krüger, Dennis (2015). Mikro-KWK auf Basis fester Biomasse: Stand der Technik und aktuelle Entwicklungen. ENERTEC, 27.-29.Januar 2015 in Leipzig.
- BMWI (2017): Energiedaten, Tabelle 26 Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes; Stand 04.09.2017
- Deutsche Bank (2016): Deutsche Bank: „Zinsstatistik“ - Zeitreihe SUD119: Effektivzinssätze Banken DE / Neugeschäft / Wohnungsbaukredite an private Haushalte, anfängliche Zinsbindung über 10 Jahre
- Diefenbach et al. (2002): Institut Wohnen und Umwelt GmbH: „Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand“
- DPI (Deutsches Pelletinstitut) (2015): Übersicht zur Entwicklung der Verbraucherpreise für Pellets, Heizöl (leicht) und Erdgas. http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/DEPI_Brennstoffkostenentwicklung-Gas_Oel_Pellets.jpg, zuletzt besucht am 02.03.2016
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hrsg.) (2012): Hackschnitzel-Heizungen Marktübersicht. 4. Aktualisierte Auflage. Gülzow. November 2012
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hrsg.) (2013): Pelletheizungen Marktübersicht. 7. Überarbeitete Auflage. Gülzow. Januar 2013

Literatur II (Auswahl)

- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hrsg.) (2015): Scheitholzvergaser- / Kombikessel Marktübersicht. 9. Überarbeitete Auflage. Gülzow. April 2015
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (2010): Forschungsprojekt „Wärmepumpen-Effizienz“. Freiburg. Im Internet unter: <http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de>
- Günther (2011): Wärmepumpen Monitoring: Reale Effizienz in Alt- und Neubau: Fraunhofer ISE; (2011)
- Hartmann, H. et al. (2013): Handbuch Bioenergie Kleinanlagen. Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR e.V.). Gülzow. 3. Überarbeitete Auflage 2013.
- Hinz (2015): Institut Wohnen und Umwelt GmbH: „Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten“
- Hinz (2012): Institut Wohnen und Umwelt GmbH: „Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden“
- IE (2011): Leipziger Institut für Energie GmbH: Vollkostenvergleich von Heizsystemen - Mehrfamilienhaus Bestand. Systemvergleich unter Berücksichtigung eines BHKW. Leipzig. 14.11.2011. Im Internet unter: http://www.bhk-systeme.de/uploads/media/Vollkostenvergleich_MFH.pdf; zuletzt besucht am 17.01.16
- Kunde et al (2013): Optimierung von Biomasse-Kleinf Feuerungssystemen durch hydraulisch-regelungstechnische Konzeptverbesserungen und Entwicklung einer neuartigen sorptiven Wärmeauskopplung zur Erzielung hoher Effizienz und geringer Emissionen; ZAE Bayern (2013)
- KÜO (2013): Verordnung über die Kehrung und Überprüfung von Anlagen (Kehr- und Überprüfungsordnung - KÜO) Vom 16. Juni 2009 (BGBl. I S. 1292), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 08. April 2013 (BGBl. I S. 760)
- Mailach & Oschatz (2016): BDEW-Heizkostenvergleich Neubau 2016. Ein Vergleich der Gesamtkosten verschiedener Systeme zur Heizung und Warmwasserbereitung im Neubau. Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden. 02.Juli 2013. Im Internet unter [https://www.bdew.de/internet.nsf/res/3CF1D7D642F76B6FC1257F620048D420/\\$file/BDEW-HKV-Neubau-2016.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/res/3CF1D7D642F76B6FC1257F620048D420/$file/BDEW-HKV-Neubau-2016.pdf); Zuletzt besucht am 29.02.2016

Literatur III (Auswahl)

- Mazlis (2013): Mazlis, Lew: Kostenanalyse und Vergleich moderner Wärmeerzeugungs-technologien anhand typischer Stuttgarter Wohngebäude. Masterarbeit. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, Band Nr. Band 647. Juli 2013
- Minenergie (2009): Ermittlung der Heizleistung - Allgemeine Informationen; (2009)
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2014): „KWK - Gute Beispiele in der Praxis“
- Oschatz, Bert und Mailach, Bettina (2013): BDEW-Heizkostenvergleich Altbau 2013. Ein Vergleich der Gesamtkosten verschiedener Systeme zur Heizung und Warmwasserbereitung in Altbauten. Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden. 02.Juli 2013. Im Internet unter <https://shop.wvgw.de/Produkte/Informationsmedien/Erdgas-Energie/Broschueren-und-weitere-Printmedien/BDEW-Heizkostenvergleich-Altbau-2013>; Zuletzt besucht am 19.01.2016
- Oschatz, Bert (2014): Energetische und wirtschaftliche Betrachtungen zur Optimierung von Bestandsanlagen. 21. Mitteldeutsche Immobilientage. Fachforum 3: Energieeffizienz. Leipzig, 12.11.2014. Im Internet unter: http://www.bfw-nrw.de/uploads/media/Prof._Dr.-Ing._Bert_Oschatz.pdf; zuletzt besucht am 19.01.2016
- Preißner, Marek (2011): Erfahrungen im Anlagenbetrieb mit Mikro-KWK-Anlagen. Verbundnetz Gas AG. Im Internet unter: <http://www.asueffizienzdialog.de/sites/default/files/effizienz/vortraege/ed-dresden-preissner.pdf>; Zuletzt besucht am 19.01.2016
- Schoch (2009): „EnEV 2009 und DIN V 18599 - Nichtwohnbau: Kompaktdarstellung - Kommentar - Praxisbeispielen“
- Stuitable et al. (2014): Fichtner, DLR, TFZ, die, DBI-Gas- und Umwelttechnik, TUUH - IUE, Ecofys, Fraunhofer ISE: „Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014“
- Verbraucherzentrale NRW (2013): Marktübersicht für kleine Blockheizkraftwerke bis 10 Kilowatt elektrische Leistung (August / September 2013). Im Internet unter: <http://www.verbraucherzentrale.de/mediabig/225356A.pdf>, Zuletzt besucht am 19.01.2016
- Vogt (2008): IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, E.ON Ruhrgas AG; „Basisdaten zu THG-Bilanzen für Biogas-Prozessketten und Erstellung neuer THG-Bilanzen“
- Walker-Hertkorn (2016): „Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. Simone Walker-Hertkorn zu den Kosten von Erdwärmesonden“
- Wünsch et al. (2014): Prognos AG, Fraunhofer IFAM, IREES, BHKW-Consult: „Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014“



Universität Stuttgart

Institut für Energiewirtschaft und
Rationelle Energieanwendung (IER)

Kontakt



Dr. Marlies Härdtlein

+49 711 685 87815

mh@ier.uni-stuttgart.de



Dr. Ludger Eltrop

+49 711 685 87816

le@ier.uni-stuttgart.de