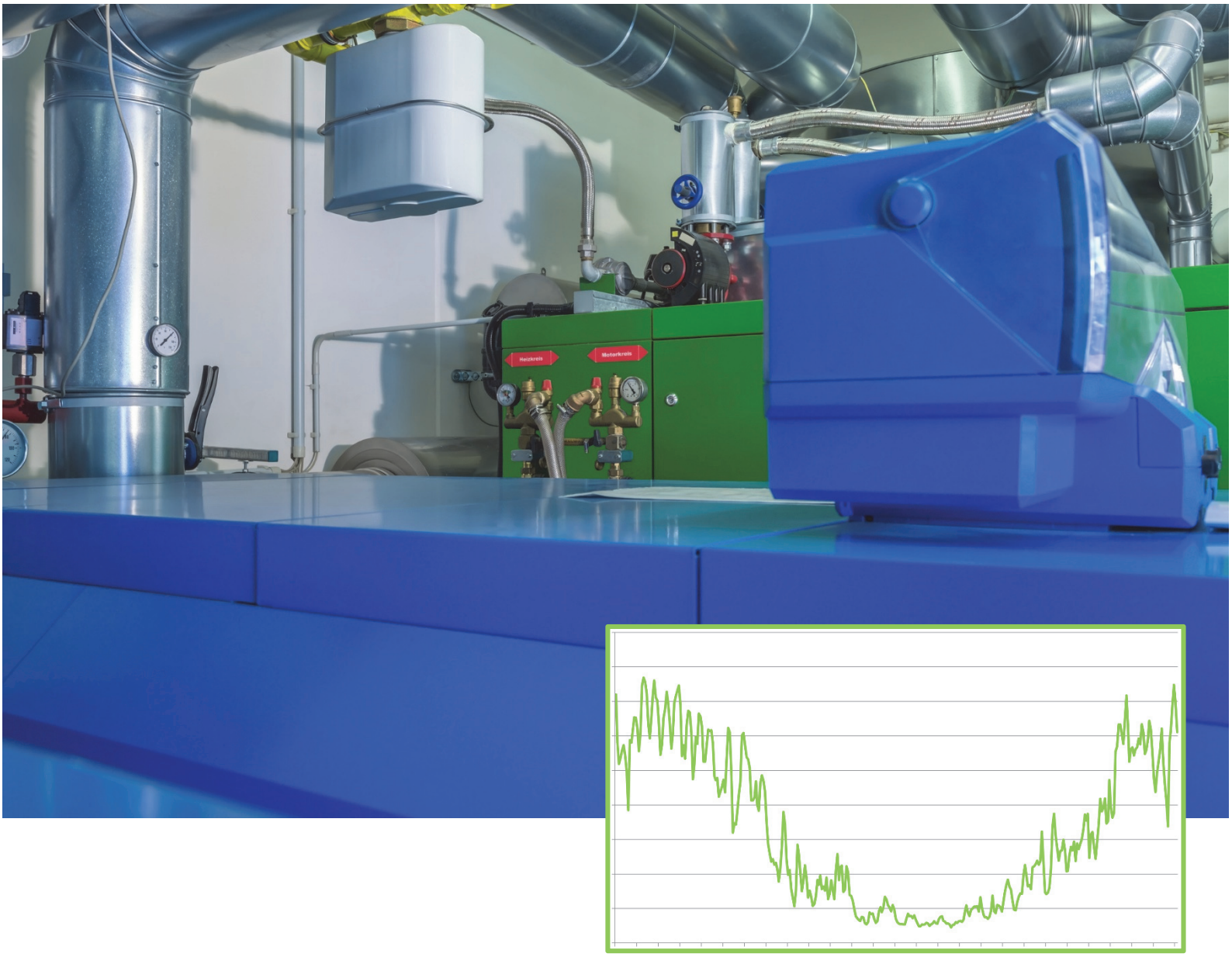
Hochschule **Rosenheim**
University of Applied Sciences

Handbuch
BHKW-Konzept 1.0

Stand: 19.02.2018



Dominikus Bücker
Thomas Stürzer

Vorwort

Sehr geehrter Benutzer,

BHKW-Konzept wurde im Rahmen der Entwicklung des Regionalen Energiekonzepts für die Planungsregion Südostoberbayern erstellt und soll dem Anwender eine einfache Möglichkeit zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von BHKWs geben.

Das vorliegende Handbuch bezieht sich auf die Version 1.0, Stand 19.02.2018.

Autoren:
Dominikus Bücker
Thomas Stürzer

Mit Fragen und Anregungen wenden Sie sich bitte an:

Prof. Dr. Dominikus Bücker
Tel.: 08031-805-2652
Email: dominikus.buecker@fh-rosenheim.de

An der Entwicklung des Tools haben neben den oben genannten Autoren mitgewirkt:

Franz-Xaver Jäger
Manuel Hinteregger
Yannick Nillies

Haftungsausschluss:

Die Autoren dieses Tools und die Hochschule Rosenheim haften nicht für Schäden an Soft- oder Hardware oder Vermögensschäden, die durch das Benutzen des Tools entstehen, es sei denn diese beruhen auf einem grob fahrlässigen oder vorsätzlichen Handeln der Autoren oder der Hochschule Rosenheim, ihrer Erfüllungsgehilfen oder ihrer gesetzlichen Vertreter.

© 2018 Hochschule Rosenheim

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 3

Inhaltsverzeichnis 4

1. Gesamtüberblick über BHKW-Konzept 5

2. Auslegung eines BHKWs mit BHKW-Konzept 7

2.1. Bezeichnung des Projekts 7

2.2. Definieren der Wärmeabnehmer 7

2.2.1. Verwenden der Standardlastprofile (SLP) 8

2.2.2. Definieren von individuellen bekannten Profilen 13

2.3. Spezifikation eines geeigneten BHKWs 15

2.3.1. Vorschlag eines generischen BHKWs durch BHKW-Konzept 15

2.3.2. Einsatz eines Pufferspeichers 15

2.3.3. Eigenverbrauch Strom 16

2.3.4. Weitere Parameter und individuelle Spezifikation der Anlage 17

2.4. Berechnung der Wirtschaftlichkeit gemäß VDI 2067 und DCF 19

2.4.1. Berechnung der Wirtschaftlichkeit gemäß VDI 2067 23

2.4.2. Berechnung der Wirtschaftlichkeit gemäß DCF 26

2.5. Sensitivitätsanalyse 28

2.6. Ergebnisse des untersuchten Projekts 29

3. Quellenverzeichnis 32

1. Gesamtüberblick über BHKW-Konzept

BHKW-Konzept umfasst in seiner aktuellen Version sieben Blätter: Input, Output, Sensitivitätsanalyse, VDI, DCF, Lastprofile und Datenbank.

Input:

Das Blatt „Input“ dient dazu die wichtigsten Parameter zur Auslegung des BHKWs zu definieren. So können allgemeine Informationen wie Wärmeabnehmer inklusive Wärmebedarf in kWh/a und der eingesetzte Brennstoff ausgewählt werden, technische Daten des ausgelegten BHKWs wie beispielsweise die Nennwärmeleistung, Wirkungsgrade oder Wärmeverluste modifiziert werden und Größen wie die Nutzungsdauer oder Preise für Wärme und Strom, welche zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit der auszulegenden Anlage dienen, eingetragen werden.

Output:

Das Blatt „Output“ liefert einen Überblick über wichtige Kenngrößen des ausgelegten BHKWs, Kosten und Einnahmen, sowie die Wirtschaftlichkeitsbeurteilung nach VDI 2067 und DCF. Ebenfalls werden der Wärmelastgang und die Jahresdauerlinie inklusive der vom BHKW erzeugten Wärme grafisch dargestellt.

Sensitivitätsanalyse:

Im Blatt „Sensitivitätsanalyse“ wird grafisch dargestellt, welchen Einfluss eine Veränderung wichtiger Größen auf die Wirtschaftlichkeit der ausgelegten Anlage hat. Eine Veränderung wird für folgende Großen untersucht: Wärmebedarf, Investitionskosten, Brennstoffkosten, anlegbarer Preis für Wärme und Strom und der Anteil an eigenverbrauchtem KWK-Strom. Dargestellt wird die Gesamtannuität gemäß VDI 2067, der Nettobarwert gemäß DCF und der interne Zinsfuß jeweils in Abhängigkeit der entsprechenden Größe.

VDI:

In diesem Blatt wird die Wirtschaftlichkeit der ausgelegten KWK-Anlage gemäß der VDI-Richtlinie 2067 [1] beurteilt. Außerdem ist es möglich vordefinierte Parameter der Wirtschaftlichkeitsrechnung wie beispielsweise den Zinsfaktor, kapitalgebundene oder bedarfsgebundene Kosten zu modifizieren.

DCF:

Ebenfalls zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der ausgelegten Anlage dient das Blatt „DCF“, wobei die Beurteilung nach der „Discounted-Cashflow-Methode“ erfolgt. Es können erneut wichtige Einflussparameter durch den Benutzer

modifiziert werden und exemplarisch Preissteigerungen für den eingesetzten Brennstoff oder den Strompreis definiert werden oder der Kalkulationszinssatz oder der Restwert des BHKWs individuell auf die auszulegende Anlage angepasst werden.

Lastprofile:

In diesem Blatt können bei Bedarf bis zu drei individuelle Lastprofile hinterlegt werden, die gemeinsam mit den Standardlastprofilen oder anstelle dieser verwendet werden können. Außerdem werden im Hintergrund dieses Blattes alle Berechnungen durchgeführt, welche zur Dimensionierung des BHKWs dienen.

Datenbank:

In der Datenbank des Tools sind wichtige Funktionen hinterlegt, welche zum Beispiel zur Ermittlung der Wirkungsgrade oder der spezifischen Modulkosten der Anlage dienen. Ebenfalls sind unter anderem die Vergütungssätze nach EEG und KWKG sowie Standardlastprofile und Daten möglicher Brennstoffe hinterlegt.

2. Auslegung eines BHKWs mit BHKW-Konzept

2.1. Bezeichnung des Projekts

Zu Beginn eines Projekts werden zuächst, wie Abbildung 1 zu sehen, einige allgemeine Angaben im Blatt „Input“ in den Zellen B3:B6 festgelegt um das Projekt eindeutig zu bezeichnen.

	A	B
1	**BHKW-Konzept**	INPUT
2	**Allgemeine Eingaben**	*Bitte ausfüllen. Die Angaben werden in das Output-Blatt übernommen*
3	**Anlagenbezeichnung**	Muster Anlage
4	**Ansprechpartner**	Mustermann, Max
5	**Ort**	Musterstadt
6	**Postleitzahl**	12345

Abbildung 1: Spezifikation des Projekts im Blatt „Input“

Diese Eingaben haben keine Auswirkungen auf die Berechnungen, sondern werden direkt in die Ausgabetabelle des „Output“-Blattes übernommen.

2.2. Definieren der Wärmeabnehmer

Der Wärmebedarf von Liegenschaften unterliegt starken Schwankungen, beispielsweise in Abhängigkeit von der Außentemperatur. Daher bewertet BHKW-Konzept den Wärmebedarf der Abnehmer für ein Referenzjahr tagesgenau auf der Basis von Wärmelastprofilen. Für bis zu dreißig unterschiedliche Abnehmer können dabei Wärmelastprofile definiert werden um so den gesamten Wärmebedarf aller aus dem BHKW versorgten Liegenschaften abzubilden.

Häufig liegen keine tagesgenauen Wärmelastprofile über ein ganzes Jahr vor. Für diesen Fall bietet BHKW-Konzept die Möglichkeit, Standardlastprofile zu verwenden. Dabei wird das Standardlastprofil (SLP)-Verfahren [2] gemäß dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (bdew) verwendet um die Tagesdurchschnittswerte für den Wärmebedarf zu ermitteln. Der Anwender muss in diesem Fall lediglich den Jahreswärmebedarf der Liegenschaft eingeben und das passende Standardlastprofil auswählen.

Sind jedoch die Tagesdurchschnittswerte des Wärmebedarfs, oder zumindest das individuelle Profil des Wärmebedarfs einer Liegenschaft bekannt, bietet

BHKW-Konzept die Möglichkeit diese Werte als „Bekanntes Profil“ im Tool einzugeben. Falls nötig, kann dieses eingegebene Profil noch auf einen gewünschten Jahreswärmebedarf skaliert werden.

Im Folgenden wird zunächst die Vorgehensweise bei der Verwendung des SLP-Verfahrens erläutert.

2.2.1. Verwenden der Standardlastprofile (SLP)

Die Abnehmer der durch das BHKW erzeugten Wärme können im Blatt „Input“ in den Zellen A59:A88 definiert werden. Es gilt zu beachten, dass die gewünschten Abnehmer nicht identisch benannt werden, da es sonst zu Fehlern bei den Berechnungen kommen kann. Sind die gewünschten Abnehmer definiert worden, wird als nächstes der SLP-Typ der jeweiligen Liegenschaft aus einem Dropdown-Menü in den Zellen B59:B88 ausgewählt. Die zur Auswahl stehenden SLP-Typen werden nachfolgend genauer beschrieben.

Einfamilienhaushalt:

Lastprofilanwendung u.a. für: Haushalte < 50.000 kWh/a, private Haushalte, Einfamilienhäuser, Reihenhäuser, Doppelhäuser, Einzelraumheizer, 1- und 2-Familienhäuser, Feriendorf, Ferienhaus, -wohnung, Kleinverbrauchskunden, Etagenheizungen.

Mehrfamilienhaushalt:

Lastprofilanwendung u.a. für: Haushalte ≥ 50.000 kWh/a, Mehrfamilienhäuser, Hochhäuser, Haushalte in Mehrfamilienhäusern.

Kochgas:

Speziallastprofilanwendung u.a. für: Gas zum Kochen, Warmwasserbereitung.

Gebietskörperschaft, Kreditinstitut und Versicherung, Organisation ohne Erwerbszweck, öffentliche Einrichtung:

Lastprofilanwendung u.a. für: Abendgymnasium, Altenkrankenheim, Altenwohnheim, Amt (allgemein), Asylbewerberheim, Bank, Behörde (öffentliche Verwaltung), Bücherei, Bundeswehr, Deutsche Bundesbahn, Feuerwehr, Forschungseinrichtung, Frauenhaus, Freizeitstätte (Jugendzentrum), Fremdenverkehrsamt, Fundbüro, Galerie, Ausstellung, Gefängnis, Geldinstitut, Gemeindesaal (Kirche), Gericht, Gymnasium, Handwerkskammer, wissenschaftliches Institut, Internatsschule, Jugendherberge, Kindergarten, Kirche, Kloster, Konsulat, Krankenversicherung, Kreditinstitut, Landratsamt, Pfarramt, Polizei, Schule, Sporthalle, Synagoge, Theater, Universität, Verbände, Versicherung, Versorgungsanstalt, Verwaltung (öffentlich), Waisenhaus.

Einzelhandel, Großhandel:

Lastprofilanwendung u.a. für: Antiquariat, Antiquitäten, Bäckerei (Verkauf ohne Herstellung), Bau- und Heimwerkermarkt, Bijoutriewaren, Schmuckstücke, Buchhandlung, Büromaschinen, Dekorationsartikel, Do-it-yourself-Markt, Drogerie, Eisenwaren, Metallwaren, elektrotechnische Erzeugnisse, Feinkostgeschäft, Fleischerei, Fotogeräte, Getränkemarkt, Heimwerkermarkt, Installationsbedarf, Juweliergeschäft, Laborbedarf, Ladengeschäft, Markthalle, medizinische Artikel, Metzgerei, Mineralölerzeugnisse, Möbelhaus, Modewaren, Papierwaren, Schreibwaren, Reformhaus, Sanitätshaus, SB-Warenhaus, Spielwaren, Sportgeschäft, Supermarkt, Tabakwaren, Textilien, Bekleidung, Vervielfältigung Bildträger, Warenhaus, Zoohandlung.

Metall, Kfz:

Lastprofilanwendung u.a. für: Ausbaugewerbe, Autohaus, Werkstätte, Baugeschäft, Bautischlerei, Behälterbau, Blechverarbeitungsbetrieb, Bootsbau, Bremsendienst, Drechslerei, Dreherei, Elektroinstallation (Gewerbe), Feinmechanik, Fertigteilbau, Gasinstallation, Gebrauchtwagen (Kfz), Glaserei, Goldschmiedewaren, Holzmöbelherstellung, Holzschnitzerei, Holzverarbeitung, Installationsgewerbe, Klempner, Kunstschlosserei, Lackierergewerbe, Lüftungsanlagenbau, Maschinenbau, Möbelpolsterei, Plexiglas, Sägewerk, Sanitärinstallateur, Schilder (Metall), Schlosserei, Schreinerei, Schweißerei, Spenglerei, Stahlkonstruktionen, Zentralheizungsbau, Zimmerei, Ingenieurholzbau.

Sonstige betriebliche Dienstleistungen:

Lastprofilanwendung u.a. für: (Innen-) Architekturbüro, Anwaltskanzlei, Arzt, Atelier, Fotostudio, Bestattungsinstitut, Bowlingbahn, vereidigter Buchprüfer (Büro), Dental-Labor, Detektei, Dolmetscher, Übersetzungsbüro, Fahrschule, Fitnesszentrum, Fotolabor, Friseur, Graphiker, baufachlicher Gutachter (Büro), Hausverwaltung (Büro), Heilpraktiker, beratende Ingenieure (Büro), Journalist (selbstständig), Kino, Kleinkunstbühne, Kosmetiksalon, Krankengymnastik, Lehrer (selbstständige), Massageinstitut, Mitfahrerzentrale (Büro), Nachrichtenbüro, Nähstube, Patentanwaltskanzlei, Presseagentur, -dienst, Rechtsanwalt, Reisebüro, Schneiderei, Schreibbüro, Spielkasino, Tanzschule, technischer Überwachungsverein, Theater, Opernhäuser, Tierarzt, Unternehmensberatung, Vermessungsbüro, Wach- /Schließgesellschaft, Zahnarztpraxis.

Beherbergung:

Lastprofilanwendung u.a. für: Autobahn-Raststätte, Beherbergungsgewerbe, Bundeswehrlazarett, Entbindungsheim, Freibad, Gästehaus, Gasthof, Hallenbad, Heilanstalt, Heilbad, Hotel, Hotel garni, Klinik, Krankenhaus, Kuranstalt, Kurbad, Kurhaus, Kurmittelhaus, medizinisches Bad, Motel, Nervenheilanstalt, Pension, Pflegeanstalt (Heilanstalt, Klinik), Poloklinik, Privatklinik, Rasthaus,

Rehabilitationskrankenhaus, Sanatorium, Sportschule, Sprachenschule, Wannen- und Brausebäder.

Gaststätten:

Lastprofilanwendung u.a. für: Ausflugslokal, Café, Diskothek, Eisdiele, Eiscafé, Festhalle, Flugplatz, Gaststättengewerbe, Großküche, Imbisshalle, -stand, Kabarett (Varieté), Kantine, Milchbar, Nachtlokal, Partyservice mit Küchenbetrieb, Restaurant, Schankwirtschaft, Schnellimbiss, Speisewirtschaft, Tanz-, Vergnügungslokal, Teestube (als Café betrieben), Trinkhalle.

Bäckereien:

Lastprofilanwendung u.a. für: Bäckerei, Backwaren, Gemeinschaftsbackanlage, Konditorei, Konditorwaren.

Wäschereien:

Lastprofilanwendung u.a. für: Alkoholbrennerei, Bekleidungsfärberei, Brauerei, Brennerei, Bügelei, chemische Reinigung, Erdgastankstelle, Heißmangel, Käserei/ Milchverarbeitung, Kleiderbad (Reinigung), Krematorium, Wäschemangelei, Wäscherei, Waschsalon, Weinkellerei.

Gartenbau:

Lastprofilanwendung u.a. für: Friedhofsgärtner, Gärtnerei (gewerblich), Landschaftsgärtnerei, Pflanzenbau, Botanischer Garten.

Papier und Druck:

Lastprofilanwendung u.a. für: Bürobedarf aus Papier und Pappe, Druckerei, Zeitungsdruckerei, Bekleidungsgewerbe, Buchbinderei, Druckgewerbe, kartographische Anstalt (Druckerei), Landkartenherstellung, Lichtpauserei, Textilgewerbe (sonstiges), Textilienveredelung, Verpackungsgewerbe, Adressbuchverlag, Buchverlag, Verlagsgewerbe.

Haushaltsähnliche Gewerbebetriebe:

Lastprofilanwendung u.a. für: Campingplatz, Champignonzucht, Enttrümmerungsfirma, Gürtlerei, Honigerzeugung, (Naturhonig), Hundepension, -pflege,-zucht, Jagd (gewerblich), Kammerjäger (Betrieb), Kläranlage, Kurierdienste (privat), Kürschner, landwirtschaftliche/ gärtnerische Dienstleistung, Leder- und Täschnerwesen, Maschinengenossenschaft, Maurer, Mosterei, Munitionsdepot, Pelztierhaltung, -zucht, Pelzwaren, Pilzanbau, Reitschule, Tierhaltung, -zucht, -pflege, Tierheim, Wohnlager, Erdgasvorwärmung.

Summenlastprofil Gewerbe, Handel, Dienstleistung:

Dieses Summenlastprofil eignet sich, wenn die konkrete Nutzungsart einer Liegenschaft im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistung liegt, aber nicht genau bekannt ist, oder wenn mehrere Betriebe dieses Sektors in einer Liegenschaft angesiedelt sind und die einzelnen Wärmebedarfe nicht bekannt sind.

Es setz sich wie folgt aus oben beschriebenen Lastprofilen zusammen: 30 % Einfamilienhaus, 20 % Mehrfamilienhaus, 0 % Kochgas, 16,8 % Gebietskörperschaft, Kreditinstitut und Versicherung, Organisation ohne Erwerbszweck, öffentliche Einrichtung, 13,6 % Einzelhandel, Großhandel, 2,8 % Metall, Kfz, 6,2 % sonstige betriebliche Dienstleistung, 3,2 % Gaststätten, 2,9 % Beherbergung. 1,6 % Bäcker, 0,9 % Wäscherei, 1,6 % Gartenbau, 0,4 % Papier, Druck, 0 % haushaltsähnliches Gewerbe.

Bekanntes Profil 1, 2, 3:

Diese Profile dienen dazu, vom Benutzer hinterlegte Lastprofile für den Wärmebedarf verwenden zu können. Die Handhabung dieser Profile wird in Abschnitt 2.2.2 erläutert.

Sind die gewünschten SLPs für die jeweilige Liegenschaft ausgewählt wird der jeweilige jährliche Wärmebedarf einer Liegenschaft in den Zellen D59:D88 eingetragen. Abbildung 2 zeigt beispielhaft ein mögliches Abnehmerverzeichnis mit den definierten Liegenschaften „Abnehmer 1“ und „Abnehmer 2“, den jeweiligen SLP-Typen und jährlichen Wärmebedarfen.

	A	B	C	D
57	**Abnehmerverzeichnis**	Gesamter Wärmebedarf	1.194.903	[kWh/a]
58	**Abnehmer**	**SLP-Typ**	**Wärmebedarf**	**[kWh/a]**
59	Abnehmer 1	Gebietskörperschaft, Kreditinst, Vers., öffentl. Einr.	**1.159.241**	1.159.241
60	Abnehmer 2	Metall, Kfz	**35.662**	35.662
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				

Abbildung 2: Beispielhaftes Abnehmerverzeichnis mit definierten Liegenschaften, SLP-Typen und jährlichen Wärmebedarfen im Blatt „Input“

2.2.2. Definieren von individuellen bekannten Profilen

BHKW-Konzept bietet neben der Verwendung von Standardlastprofilen auch die Möglichkeit, individuelle Wärmelastprofile zu definieren. Bis zu drei solcher Profile können im Blatt „Lastprofile“ in den Bereichen B20:B384, E20:E384 bzw. H20:H384 hinterlegt werden. Diese „Bekannten Profile“ werden als Tagessummenwerte in kWh eingegeben. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die ersten Zeilen eines individuellen Wärmelastprofils im oben genannten Tabellenbereich.

Soll ein so definiertes bekanntes Profil verwendet werden, muss es wie ein Standardlastprofil im Abnehmerverzeichnis (Blatt „Input“) ausgewählt werden. Dazu wird bei der Definition der einzelnen Liegenschaften wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben vorgegangen. Im Drop-Down-Menü des Abnehmerverzeichnisses (Zellen B59:B88) ist dabei entsprechend „Bekanntes Profil 1“, „Bekanntes Profil 2“ bzw. „Bekanntes Profil 3“ auszuwählen.

Genau wie bei der Verwendung von Standardlastprofilen kann auch ein individuell eingegebenes bekanntes Lastprofil durch Eingabe eines gewünschten Jahreswärmebedarfs (Blatt „Input“, Zellen D59:D88) skaliert werden. Dies ist beispielsweise dann sinnvoll, wenn das eingegebene Lastprofil in Prozentwerten vorliegt, oder wenn das bekannte Lastprofil einer Liegenschaft auf eine andere, gleichartige Liegenschaft, von der nur der Jahreswärmebedarf bekannt ist, übertragen werden soll.

Soll keine Skalierung vorgenommen werden, muss in den Zellen D59:D88 keine weitere Angabe zu einem Wärmebedarf gemacht werden. Der Jahreswärmebedarf entspricht dann der Summe der 365 Tageswerte.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft das Abnehmerverzeichnis mit den zwei bekannten Profilen „Abnehmer 1“, welches nicht skaliert worden ist, und „Abnehmer 2“, welches skaliert worden ist.

6	Abnehmer	Bekanntes Profil 1		Abnehmer	Bekanntes Profil 2		Abnehmer	Bekanntes Profil 3	
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15			1058975			#NV			#NV
16									
17	Summe	1058975	1058975	Summe	221	0	Summe	0	0
18		1058975 skaliert			221 skaliert			1 skaliert	
19		Q_{tag} [kWh]	1		Q_{tag} [kWh]	0		Q_{tag} [kWh]	0
20		6.572	6571,53		15	0,00			0,00
21		5.331	5330,53		21	0,00			0,00
22		4.741	4740,53		21	0,00			0,00
23		4.895	4895,37		23	0,00			0,00
24		5.099	5098,75		22	0,00			0,00
25		5.237	5236,79		20	0,00			0,00
26		4.962	4961,56		18	0,00			0,00
27		4.530	4529,81		16	0,00			0,00
28		3.518	3518,14		21	0,00			0,00
29		5.368	5367,82		21	0,00			0,00
30		5.306	5306,07		23	0,00			0,00

Abbildung 3: Beispielhaftes bekanntes Wärmelastprofil einer Liegenschaft hinterlegt im Blatt „Lastprofile“

	A	B	C	D
57	**Abnehmerverzeichnis**	Gesamter Wärmebedarf	60.662	[kWh/a]
58	Abnehmer	SLP-Typ	Wärmebedarf	[kWh/a]
59	Liegenschaft A	Bekanntes Profil 1	35.662	
60	Liegenschaft B	Bekanntes Profil 2	25.000	25.000
61				
62				
63				
64				
65				

Abbildung 4: Beispielhaftes Abnehmerverzeichnis im Blatt „Input“ mit den bekannten Wärmelastprofilen für die Abnehmer „Liegenschaft A“ (nicht skaliert) und „Liegenschaft B“ (skaliert)

2.3. Spezifikation eines geeigneten BHKWs

2.3.1. Vorschlag eines generischen BHKWs durch BHKW-Konzept

Sobald mindestens ein Verbraucher, wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, spezifiziert wurde, ermittelt BHKW-Konzept die folgenden technischen Daten eines generischen BHKWs, welches die gewünschten Anforderungen der Anlage erfüllen könnte.

- Nennwärmeleistung,
- Wärmeleistung bei minimaler Teillast („Mindestwärmeleistung“),
- elektrischer Wirkungsgrad
- thermischer Wirkungsgrad
- Gesamtwirkungsgrad
- elektrische Nennleistung

Die Werte werden in den Zellen B11:B21 im Blatt „Input“ dargestellt.

Die von BHKW-Konzept ermittelten Werte basieren auf den „BHKW-Kenndaten“ der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch (ASUE) [3], welche technische und wirtschaftliche Daten der meisten marktgängigen BHKWs zusammenstellt. BHKW-Konzept verwendet Ausgleichsfunktionen um aus diesen Daten ein geeignetes generisches BHKW zu ermitteln.

Die thermische Nennleistung des generisch ausgewählten BHKW ist auf die mittlere Wärmelast der Liegenschaft ausgelegt. Mit dieser Auslegung kann ein großer Teil des Wärmebedarfs der Liegenschaft abgedeckt und gleichzeitig eine hohe Vollbenutzungsstundenzahl erreicht werden. Eine weitere wirtschaftliche Optimierung der Anlage kann durch individuelle Einstellungen, wie sie im Folgenden beschrieben werden, erreicht werden.

2.3.2. Einsatz eines Pufferspeichers

Im Blatt „Input“ kann in einem Drop-Down-Menü in Zelle B13 ausgewählt werden, ob ein Pufferspeicher im System berücksichtigt werden soll oder nicht. Um die Verwendung des Tools einfach zu halten, wird in BHKW-Konzept ein sehr einfacher Ansatz für den Pufferspeicher gewählt:

Die Größe des Pufferspeichers richtet sich nach der thermischen Nennleistung des BHKWs und beträgt 1 kWh pro kW Nennleistung. Das bedeutet, dass der Pufferspeicher die Wärmemenge aufnehmen kann, die das BHKW bei Volllast in einer Stunde erzeugt. Der wesentliche Effekt eines solchen Pufferspeichers ist, dass auch niedrige Wärmebedarfe, mit Wärme aus dem BHKW gedeckt werden können und dass die Laufzeit des BHKWs erhöht wird.

Es ist empfehlenswert, den Pufferspeicher zu berücksichtigen. Sollte bereits ein Pufferspeicher vorhanden sein, so sollte ebenfalls die Option „Ja“ ausgewählt werden. In diesem Falle können dann die Investitionskosten für den Pufferspeicher bei der Eingabe der Wirtschaftlichkeitsparameter auf 0 gesetzt werden (Eingabe in Zelle C30, Blatt „Input“).

2.3.3. Eigenverbrauch Strom

Der Eigenverbrauch Strom gibt an, welcher Anteil des im BHKW erzeugten Stroms durch den Betreiber des BHKWs vor Ort verbraucht wird. Dieser Eigenverbrauch ist wirtschaftlich sehr attraktiv, weil die so eingesparten Stromkosten in der Regel deutlich höher liegen als die erreichbare Vergütung bei Einspeisung des Stroms in das öffentliche Netz. Der erreichbare Eigenverbrauchsanteil hängt von der Größe und Fahrweise des BHKWs sowie dem Stromverbrauchsprofil der Liegenschaft ab und ist projektspezifisch sehr unterschiedlich, so dass sich leider kein pauschaler Wert angeben lässt. Der voreingestellte Wert beträgt 0 %, individuelle Werte können in Zelle C19, Blatt „Input“ eingegeben werden.

Achtung: Eigenverbrauch liegt nur dann vor, wenn der Betreiber des BHKWs und der Verbraucher (also im Regelfall der Eigentümer der versorgten Liegenschaft) dieselbe juristische Person sind und BHKW und Verbraucher in räumlicher Nähe zueinander liegen. Bei der Versorgung mehrere Liegenschaften durch ein BHKW trifft dies in der Regel also nur für die Liegenschaft zu, in der sich das BHKW befindet.

Eine belastbare Abschätzung des Eigenverbrauchsanteils sollte von Experten durchgeführt werden. Eine erste Abschätzung des erzielbaren Eigenverbrauchsanteils lässt sich aber bereits durch den Vergleich der elektrischen Nennleistung des BHKWs mit der elektrischen **Grundlast** der versorgten Liegenschaft erreichen.

Die elektrische Grundlast ist die Last, die auch in Schwachlastzeiten mindestens anliegt. Sie lässt sich aus dem Stromlastgang der Liegenschaft ablesen. Der Stromlastgang kann beim Energieversorgungsunternehmen erfragt werden. Ist der Stromlastgang der Liegenschaft nicht bekannt, sondern nur der Jahresstromverbrauch, so kann eine grobe Abschätzung der Grundlast wie folgt ermittelt werden:

$$\text{el. Grundlast Liegenschaft}\,[\text{kW}] = \frac{\text{Jahresstromverbrauch}\,[\text{kWh}]}{30.000\,\text{h}}$$

Dieser Abschätzung liegt die Annahme zugrunde, das etwa 30 % des Stromverbrauchs einer Liegenschaft der Grundlast zuzuordnen sind.

Ist die Grundlast bekannt, lässt sich der erreichbare Eigenverbrauchsanteil wie folgt abschätzen.

1. Liegt die Nennleistung des BHKWs unter der elektrischen Grundlast der Liegenschaft, so kann der gesamte Strom, der im BHKW erzeugt wird, in der Liegenschaft verbraucht werden. Der Eigenverbrauch ist dann sehr hoch (z. B. 90 % oder mehr).

2. Liegt die Nennleistung des BHKW oberhalb der elektrischen Grundlast der Liegenschaft, so liefert der Quotient aus elektrischer Grundlast der Liegenschaft und elektrischer Nennleistung des BHKW eine Abschätzung des mindestens erreichbaren Eigenverbrauchsanteils:

$$\text{Eigenverbrauchsanteil} = \frac{\text{el. Grundlast Liegenschaft}\,[\text{kW}]}{\text{el. Nennleistung BHKW}\,[\text{kW}]} \cdot 100\%$$

Der tatsächlich erzielbare Eigenverbrauchsanteil wird höher liegen als der nach Punkt 2. ermittelte, so dass diese Abschätzung konservativ ist. Er kann durch eine angepasste Fahrweise des BHKWs in der Regel auch weiter optimiert werden.

2.3.4. Weitere Parameter und individuelle Spezifikation der Anlage

Der eingesetzte Brennstoff wird in einem Drop-Down-Menü in Zelle B9 ausgewählt. Zur Auswahl stehen hier Biogas, Klärgas, Flüssiggas, Heizöl und Erdgas. BHKW-Konzept schlägt jeweils generische Werte für den (unteren) Heizwert vor. In besonderen Fällen kann es sinnvoll sein, diese durch eigene Eingabe in Zelle C10 zu ändern.

In den Zellen B18:B21 werden neben dem Eigenverbrauch an KWK-Strom auch der elektrische Wirkungsgradabfall, Verteilverluste und Speicherverluste aufgeführt. Bei diesen Werten handelt es sich um vorgeschlagene Werte, welche durch den Benutzer überprüft und je nach Projekt angepasst werden müssen.

Der **elektrische Wirkungsgradabfall** gibt an, um wie viele Prozentpunkte sich der elektrische Wirkungsgrad verschlechtert, wenn das BHKW nicht in seinem Nennbetriebspunkt läuft, sondern bei 50 % Teillast (elektrisch). Durch diesen Wert wird berücksichtigt, dass BHKWs bei Teillast schlechtere elektrische Wirkungsgrade erreichen als bei Volllast. Der vorgegebene Wert von 3 %-Punkten ist eine realistische Annahme für die meisten Fälle, eine individuelle Anpassung sollte nur von erfahrenen Anwendern vorgenommen werden.

Durch die Angabe von **Verteilverlusten** und **Speicherverlusten** wird berücksichtigt, dass sowohl im Pufferspeicher als auch in ggf. vorhandenen Wärme-

netzen, über die die Wärme vom BHKW zu den einzelnen Liegenschaften transportiert wird, Wärmeverluste auftreten. Diese Verluste sind vom BHKW durch Mehrerzeugung auszugleichen und sind in den Lastgangkurven von BHKW-Konzept enthalten. In der Wirtschaftlichkeitsrechnung wird daher zwischen „erzeugter Wärme“ und „gelieferter Wärme“ unterschieden. Die tatsächlichen Verluste hängen insbesondere von der eingesetzten Dämmung und Verlegetechnik sowie der Betriebsweise und der Wärmeabnahmedichte des Netzes ab. Speicherverluste liegen typischerweise in der Größenordnung von 2 %, Verteilverluste im Netz liegen bei neu geplanten Netzen üblicherweise um 10 %, können aber bei älteren oder schlecht geplanten Netzen auch deutlich höher liegen. Es wird empfohlen, die vorgegebenen Verluste von 2 % bzw. 10 % beizubehalten, wenn mehrere räumlich getrennte Liegenschaften versorgt werden. Wenn lediglich eine Liegenschaft versorgt wird und das BHKW Teil dieser Liegenschaft ist, können die Wärmeverluste im Netz auf 0 % gesetzt werden.

Um die Genauigkeit bei spezifischen Projekten zu steigern wird empfohlen, dass eine **individuelle Spezifikation der Anlage** durch den Benutzer vorgenommen wird, um die projektspezifischen Anforderungen tatsächlich optimal zu erfüllen. Dies kann beispielsweise durch eine Parametervariation, ausgehend von den Parametern, die BHKW-Konzept vorschlägt, geschehen. Eine individuelle Spezifikation kann auch eingesetzt werden um die technischen Daten einer konkreten, bekannten Anlage (beispielsweise aus dem Angebot eines Lieferanten) abzubilden.

Ist eine optimale Anlagengröße bekannt und tatsächliche technische Daten eines BHKWs sind vorhanden, so können diese Angaben im Bereich C11:C21 eingetragen werden. Abbildung 5 zeigt beispielhaft, wie in BHKW-Konzept tatsächliche Daten eines BHKWs eingetragen werden können.

	A	B	C
8	**Technische Daten**	**Verwendete Werte**	**Individuelle Eingabe**
9	Eingesetzer Brennstoff	Erdgas	
10	Heizwert Brennstoff [kWh/m³]	8,80	
11	Nennwärmeleistung BHKW [kW]	67	66,6
12	Mindestwärmeleistung BHKW [kW]	33	
13	Soll ein Pufferspeicher berücksichtigt werden?	Ja	
14	Elektrischer Nennwirkungsgrad [%]	33,3%	33,30%
15	Thermische Nennwirkungsgrad [%]	60,0%	60,00%
16	Gesamtwirkungsgrad [%]	93,3%	
17	Elek. Nennleistung BHKW [kW]	33,0	33
18	Elektrischer Wirkungsgradabfall [%]	0,0%	0%
19	Eigenverbrauch Strom [%]	60,0%	60,0%
20	Wärmeverluste im Netz [%]	0,0%	0,00%
21	Wärmeverluste durch Pufferspeicher [%]	2,0%	

Abbildung 5: Beispielhafte technische Daten eines BHKWs, welches die projektspezifischen Anforderungen optimal erfüllt, eingetragen im Blatt „Input“ inklusive Annahmen für den elektrischen Wirkungsgradabfall, den Anteil an eigenverbrauchten KWK-Strom und Speicher- und Verteilverlusten

Bei der individuellen (händischen) Spezifikation der technischen Daten ist zu beachten, das BHKW-Konzept das generische BHKW auf der Basis der thermischen Nennleistung vorschlägt. Das bedeutet:

- Durch Eingabe einer individuellen thermischen Nennleistung ändert sich auch die vorgeschlagene generische elektrische Nennleistung des BHKWs.
- Durch Eingabe einer individuellen elektrischen Nennleistung ändert sich hingegen die vorgeschlagene generische thermische Nennleistung des BHKWs **nicht**.

Während also die händische Variation der thermischen Nennleistung automatisch passende generische Vorschläge für die elektrische Nennleistung bewirkt, muss bei der händischen Variation der elektrischen Nennleistung darauf geachtet werden, dass gleichzeitig die thermische Nennleistung händisch angepasst wird, um sinnvolle Kombinationen aus elektrischer und thermischer Leistung zu erhalten.

Dem Laien wird daher empfohlen, eine händische Parametervariation nur für die thermische Leistung vorzunehmen und die anderen Parameter nur dann händisch einzugeben, wenn Daten eines konkreten BHKWs (beispielsweise von einem Lieferanten) vorliegen, das untersucht werden soll.

2.4. Berechnung der Wirtschaftlichkeit gemäß VDI 2067 und DCF

BHKW-Konzept führt automatisch Wirtschaftlichkeitsberechnungen nach VDI Richtlinie 2067 (Annuitätenmethode) und nach DCF (Discounted-Cash-Flow-Methode) durch. Alle wesentlichen Eingangsparameter und die anlagenspezifischen Kostenfunktionen sind hinterlegt, so dass der Anwender nur wenige Einstellungen vornehmen muss um eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit zu erhalten. Gleichwohl lassen sich alle wesentlichen Parameter händisch einstellen um individuellen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung fußt dabei auf folgendem Grundkonzept:

- Für die Lieferung und Installation der Anlage fallen **Investitionskosten** an. Im Betrieb entstehen **weitere Kosten** wie Brennstoffkosten und Instandhaltungskosten. Dafür erzeugt und liefert die Anlage Strom und Wärme.
- Die gelieferte Wärme verdrängt die vorhandene (oder alternative) Wärmeerzeugung und generiert damit eine Ersparnis bzw. Einnahme. Der Preis, der dabei zugrunde gelegt wird, wird als **anlegbarer Wärmepreis**

bezeichnet und entspricht den Wärmegestehungskosten der vorhandenen oder alternativen Erzeugung bzw. – bei Lieferung der Wärme an Dritte – dem vereinbarten Wärmepreis.

- Der erzeugte Strom kann entweder in der Liegenschaft selber verbraucht werden (Eigenstromverbrauch, siehe oben), oder er wird in das öffentliche Netz eingespeist. In beiden Fällen wird eine Ersparnis bzw. Einnahme generiert.
- Weitere Wärmeerzeuger, wie beispielsweise Spitzenlast- oder Reservekessel, werden in der Wirtschaftlichkeitsrechnung nicht berücksichtigt.

Die wesentlichen Einstellungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden im Blatt „Input“ im Bereich „Input Wirtschaftlichkeit“, wie in Abbildung 6 dargestellt, getätigt. Zunächst wird in Zelle B24 die geplante **Nutzungsdauer** des BHKWs angegeben. Falls der Benutzer, wie in Abschnitt 2.3.4 beschrieben, ein konkretes BHKW ausgewählt hat, für das die Wirtschaftlichkeit überprüft werden soll, besteht die Möglichkeit in den Zellen C27:C29 die genauen **Investitionskosten**, also Modulkosten, Einbindungskosten und die Kosten für den Transport und die Abnahme des BHKWs anzugeben. Sind diese Kosten nicht bzw. nur teilweise bekannt, werden mögliche Kosten mittels Ausgleichsfunktionen aus der Datensammlung der ASUE [3], abgeschätzt. Ebenfalls können in den Zellen C30:C32 zusätzliche Investitionskosten, beispielsweise für einen Pufferspeicher, durch den Benutzer angegeben werden.

	A	B	C
23	**Input Wirtschaftlichkeit**	Alle generischen Kosten sind Nettokosten (ohne Mehrwertsteuer).	
24	Nutzungsdauer [a]	15	
25			
26	**Investmentkosten (CAPEX)**		
27	Modulkosten [€]	100.000 €	100.000,00 €
28	Einbindungskosten [€]	0 €	0,00 €
29	Transport & Abnahme [€]	3.156 €	
30	Pufferspeicher [€]	2.664 €	
31	Zusätzliche Investition 1 [€]	- €	
32	Zusätzliche Investition 2 [€]	- €	
33			
34	**Betriebsgebundene Kosten (OPEX)**		
35	Brennstoffkosten [€/kWh]	0,05650 €	
36	Instandhaltungskosten [€/a]	9.001 €	
37	Generalüberholung alle 5 Jahre [€/5a]	15.873 €	
38	Andere laufende Kosten [€/a]		
39			
40	**Einsparung/Vergütung für eigenverbrauchten KWK-Strom**		
41	Bruttostrombezugspreis der Liegenschaften [€/kWh]	0,2400 €	0,2400 €
42	EEG-Umlage [€/kWh]	0,0679 €	
43	Stromkostenersparnis der Liegenschaft [€/kWh]	0,1721 €	
44	Verbrauch in stromkostenintensiven Unternehmen?	Nein	
45	Vergütung gem. KWKG bzw. EEG [€/kWh]	0,0400 €	
46	Anlegbarer Strompreis für Eigenverbrauch [€/kWh]	0,2121 €	
47			
48	**Vergütung für Netzeinspeisung KWK-Strom**		
49	Vergütung gem. KWKG bzw. EEG [€/kWh]	0,0800 €	
50	Üblicher Preis (KWK-Index) [€/kWh]	0,0342 €	
51	Vermiedene Netznutzungskosten [€/kWh]	0,0050 €	
52	Anlegbarer Strompreis für Netzeinspeisung [€/kWh]	0,1192 €	
53			
54	**Anlegbarer Wärmepreis [€/kWh]**	0,0565 €	
55	**Zusätzliche Einnahmen [€/a]**		

Abbildung 6: Angaben für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Anlage gemäß VDI 2067 und DCF im Blatt „Input“

Betriebsgebundene Kosten wie Brennstoffkosten, Instandhaltungskosten und Generalüberholungskosten können in den Zellen C35:C37 eingetragen werden. BHKW-Konzept schlägt hier generische Werte vor. Die generischen Werte für Instandhaltung und Generalüberholung werden durch Ausgleichsfunktionen aus den ASUE-Daten [3] ermittelt. Die hinterlegten Brennstoffkosten entsprechen Durchschnittswerten für das Jahr 2017.

Alle Brennstoffpreise sind in €/kWh, bezogen auf den (unteren) Heizwert H_i einzugeben. Erdgas wird allerdings üblicherweise von den Lieferanten auf den Brennwert H_s bezogen abgerechnet. Der Preis ist dann wie folgt umzurechnen:

$$\text{Preis Erdgas (Heizwert, } H_i) = 1{,}11 \cdot \text{Preis Erdgas (Brennwert, } H_s)$$

Der anlegbare Strompreis für eigenverbrauchten bzw. ins Netz eingespeisten KWK-Strom wird im Bereich B41:C46 bzw. B49:C52 ermittelt. Ein anlegbarer Preis für Wärme kann in Zelle B54 angegeben werden.

Um den **anlegbaren Strompreis je eigenverbrauchter kWh KWK-Strom** zu ermitteln, wird zunächst der Bruttostrombezugspreis der Liegenschaft herangezogen, da durch den Eigenverbrauch ja der Strombezug aus dem Netz gesenkt wird. Allerdings ist seit 1.1.2018 auch für den eigenverbrauchten KWK-Strom die volle EEG-Umlage zu bezahlen, so dass diese in Abzug gebracht werden muss. Auf die so berechnete Stromkostenersparnis kann dann noch die KWK-Vergütung für Eigenverbrauch gemäß KWKG addiert werden. Das Ergebnis ist der anlegbare Strompreis für Eigenverbrauch.

Stromkostenintensive Unternehmen gemäß §2 Nr. 28 KWKG erhalten eine höhere Vergütung für eigenverbrauchten KWK-Strom, diese Option kann durch ein Drop-Down-Menü in Zelle B44 ausgewählt werden.

Der **anlegbare Preis für in das öffentliche Netz eingespeisten Strom** ergibt sich für KWK-Anlagen, die nicht nach EEG vergütet werden, als Summe aus der Vergütung nach KWKG, „üblichem Preis“ sowie den vermiedenen Netznutzungskosten.

Der übliche Preis entspricht dem durchschnittlichen Preis für Baseload-Strom an der Leipziger Strombörse EEX des jeweils letzten Quartals. Werte hierfür lassen sich unter dem Stichwort „KWK-Index“ auf der Website der EEX (https://www.eex.com/de/marktdaten/strom/spotmarkt/kwk-index) finden. Anstelle des üblichen Preises kann auch ein am Markt erzielter Preis angesetzt werden. Dies ist insbesondere für Anlagen mit einer elektrischen Leistung über 100 kW relevant, da der Leistungsanteil oberhalb 100 kW nicht mehr vom Netzbetreiber abgenommen werden muss. Dieser Anteil muss also vom Betreiber direkt vermarktet werden. Dennoch stellt auch für diesen Anteil der „übliche Preis“ einen guten Anhaltspunkt dar.

In BHKW-Konzept sind die aktuell (Stand Anfang 2018) gültigen Sätze für die EEG-Umlage und die Vergütungen nach KWKG hinterlegt, sowie der durchschnittliche „übliche Preis“ des Jahres 2017. Diese Werte müssen zu einem späteren Zeitpunkt ggf. durch individuelle Eingaben vom Anwender überschrieben werden. Eine Eingabe von alternativen Werten ist jeweils in den Zellen C41:C42, C45 und C49:C51 möglich.

Anlagen, die mit Biomasse bzw. Biogas betrieben werden, können alternativ nach EEG vergütet werden. Dann entfällt der übliche Preis. Anstelle der Vergütung nach KWKG ist die jeweils anzusetzende Vergütung nach EEG bzw. die relevante Summe aus Marktpreis und Marktprämie anzusetzen. Sätze und Mechanismus dieser Vergütung unterliegen stetigen Änderungen, so dass für diese

Angaben kein Algorithmus in BHKW-Konzept hinterlegt ist. Bei Fragen zur Anwendung dieser Vergütungsvariante sei an die Autoren verwiesen.

Abschließend kann noch ein **anlegbarer Wärmepreis** in Zelle B54 eingetragen werden. Liefert die Anlage ausschließlich Wärme für den Eigenverbrauch, so entspricht der anlegbare Preis den Wärmegestehungskosten der vorhandenen oder alternativen Erzeugung. Wird die Wärme an Dritte geliefert, so ist der anlegbare Wärmepreis der vereinbarte Preis für die Wärmelieferung.

Falls zusätzliche jährliche Einnahmen durch die Anlage generiert werden können, sind diese in Zelle B55 einzutragen.

Nachdem die grundlegenden Angaben zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Anlage getätigt wurden, können in den Blättern „VDI“ und „DCF“ weitere Einstellungen zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit gemacht werden.

2.4.1. Berechnung der Wirtschaftlichkeit gemäß VDI 2067

Alle Einstellungen, die im Blatt „VDI“ vorgenommen werden, wirken sich ausschließlich auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI aus und haben für diese Berechnung Vorrang vor den im Blatt „Input“ getätigten Eingaben. Es ist also bei Beginn eines neuen Projektes zu beachten, in wie weit die Einstellungen auf dem Blatt „VDI“ ggf. wieder auf ihre Ausgangswerte zurückgesetzt werden sollen.

Zunächst werden, wie in Abbildung 7 dargestellt, in den Zellen B26:B28 der Betrachtungszeitraum, der Aufwand für die Bedienung der Anlage und sonstige Kosten definiert. Der Betrachtungszeitraum muss nicht der technischen Nutzungsdauer der Anlage, die im Blatt „Input“ festgelegt wird, entsprechen, dennoch wird dies in vielen Fällen eine sinnvolle Annahme sein.

Ebenfalls wird der Zinsfaktor in Zelle A29 angegeben und die Faktoren für die Steigerung der kapital-, bedarfs- und betriebsgebundenen Kosten, sowie der Instandhaltungskosten, sonstiger Kosten und der Erlöse in den Zellen A30:A35.

Wie in Abbildung 8 aufgezeigt, werden anschließend, falls vorhanden, weitere Bauteile in den Zellen J11:J22 eingetragen, welche eventuell ausgetauscht werden müssen bzw. noch nicht in den bisherigen Eingaben zur Wirtschaftlichkeit berücksichtigt worden sind. In den Zellen I5:I22 kann für das jeweilige Bauteil angegeben werden, wie oft dieses im Betrachtungszeitraum ausgetauscht werden muss.

	A	B
25	**EINGABE**	
26	**Betrachtungszeitraum [a]**	15
27	**Aufwand für Bedienung [€/h]**	35
28	**Sonstige Kosten (S1)**	0 €
29	7,0%	**Zinsfaktor q**
30	3,0%	**Kapitalgebundene Kosten r_K**
31	3,0%	**bedarfsgebundene Kosten r_v**
32	2,0%	**betriebsgebundene Kosten r_b**
33	2,0%	**Instandhaltungskosten r_{IN}**
34	3,0%	**Sonstige Kosten r_S**
35	3,0%	**Erlöse r_{NE}**

Abbildung 7: Definition des Betrachtungszeitraums, des Aufwands für die Bedienung der Anlage, sonstiger Kosten, des Zinsfaktors und der Preissteigerungsfaktoren für kapital-, bedarfs- und betriebsgebundener Kosten, sowie Instandhaltungs- und sonstiger Kosten und Erlöse im Blatt „VDI“

	I	J	K	L
3	**Ersatzhäufigkeit der aufgeführten Komponente während der Nutzungsdauer des BHKWs**	**Bauteilbezeichnung**	**Faktor für Instandhaltung**	
4			fK=(fInst + fW+Insp) [%]	
5	0	**Modulkosten**	**8,0%**	
6	0	**Einbindungskosten**	**8,0%**	
7	0	**Transport & Abnahme**	**8,0%**	
8	0	**Pufferspeicher [€]**	**8,0%**	
9	0	**Zusätzliche Investition 1 [€]**	**8,0%**	
10	0	**Zusätzliche Investition 2 [€]**	**8,0%**	
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				

Abbildung 8: Hinzufügen weiterer Bauteile zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit gemäß VDI 2067 inklusive der Angabe der Ersatzhäufigkeit des Bauteils und dem jeweils entsprechenden Faktor für die Instandhaltung im Blatt „VDI“

Wie ebenfalls in Abbildung 8 und Abbildung 9 zu sehen ist, können in den Zellen L5:L22 Faktoren für die Instandhaltung der einzelnen Komponenten definiert werden. Standardmäßig sind diese auf 8 % gesetzt.

Für jede Komponente wird, wie nachfolgend abgebildet, ein Aufwand für die Bedienung in den Zellen N5:N22 manuell eingetragen und in den Zellen P11:P22 der jeweilige Investitionsbetrag der Komponente. Lediglich die Investitionsbeträge für die bereits getätigten Eingaben zu den Modulkosten, den Einbindungskosten, den Kosten für Transport und Abnahme der Anlage und den Investitionen 1/ 2/ 3 werden automatisch übernommen.

	K	L	M	N	O	P
3	**Faktor für Instandhaltung**		**Aufwand für Bedienung**		**Aufwand für Bedienung**	**Investitionsbetrag**
4	fK=(fInst + fW+Insp) [%]		[h/a]		€/a	A_0
5	**8,0%**		**100**	100	**3.500 €**	**100.000 €**
6	**8,0%**		-	-	**0 €**	**0 €**
7	**8,0%**		-	-	**0 €**	**3.156 €**
8	**8,0%**		-	-	**0 €**	**2.664 €**
9	**8,0%**		-	-	**0 €**	**0 €**
10	**8,0%**		-	-	**0 €**	**0 €**
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23					3.500 €	105.820 €

Abbildung 9: Eingabe des Faktors für die Instandhaltung und des Aufwands für die Bedienung einer Komponente im Blatt „VDI“

2.4.2. Berechnung der Wirtschaftlichkeit gemäß DCF

Alle Einstellungen, die im Blatt „DCF“ vorgenommen werden, wirken sich ausschließlich auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung nach DCF-Methode aus und haben für diese Berechnung Vorrang vor den im Blatt „Input“ getätigten Eingaben. Es ist also bei Beginn eines neuen Projektes zu beachten, in wie weit die Einstellungen auf dem Blatt „DCF“ ggf. wieder auf ihre Ausgangswerte zurückgesetzt werden sollen.

Im Blatt „DCF“ können weitere Angaben zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit gemäß der Discounted-Cashflow-Methode getätigt werden. Zunächst können in den Zellen H5:H10 Faktoren für eine Preissteigerung nachfolgender Positionen angegeben werden: Instandhaltungskosten, Brennstoffkosten, andere laufende Kosten, Strompreis, Wärmepreis und andere Einnahmen. Weitere zu tätigende Angaben befinden sich in den Zellen H12:H15, in denen der Kalkulationszinssatz, der Restwert der Anlage nach dem Abschreibungszeitraum, die zu entrichtenden Steuern und der Abschreibungszeitraum definiert werden müssen. Die zu tätigenden Eingaben werden nachfolgend abgebildet.

	G	H
3	**Weitere Angaben:**	
4	Preissteigerung	
5	für Instandhaltung [%]	2,0%
6	für Brennstoff [%]	2,0%
7	für andere laufende Kosten [%]	2,0%
8	für Strompreis [%]	2,0%
9	für Wärmepreis [%]	2,0%
10	für andere Einnahmen [%]	2,0%
11		
12	Kalkulationszinssatz [%]	4,0%
13	Restwert der Anlage [€]	0
14	Steuer [%]	0,0%
15	Abschreibungszeitraum [a]	10

Abbildung 10: Angaben für die Preissteigerungsfaktoren, den Kalkulationszinssatz, den Restwert der Anlage und den Abschreibungszeitraum im Blatt „DCF“

Im Blatt „DCF“ können ebenfalls weitere, durch das BHKW generierte, jährliche Einnahmen bzw. Ausgaben berücksichtigt werden. Die Eingabe der Einnahmen bzw. Ausgaben erfolgt für jedes Jahr separat in den Zellen B39:AP41 bzw. B44:AP46, wie in Abbildung 11 exemplarisch dargestellt.

	A	B	C	D	E	F	G
38	*Hier können zusätzliche Einnahmen eingegeben werden. Diese wirken sich nur auf die Berechnungen nach der Discounted-Cash-Flow-Methode aus, nicht auf die Berechnungen gemäß VDI 2067.*						
39	**Einahmen1**						
40	**Einahmen2**						
41	**Einahmen3**						
42							
43	*Hier können zusätzliche Ausgaben eingegeben werden. Diese wirken sich nur auf die Berechnungen nach der Discounted-Cash-Flow-Methode aus, nicht auf die Berechnungen gemäß VDI 2067.*						
44	**Ausgaben1**						
45	**Ausgaben2**						
46	**Ausgaben3**						

Abbildung 11: Angabe von weiteren Einnahmen bzw. Ausgaben im Blatt „DCF“

2.5. Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse dient dazu abzuschätzen, wie sich die Wirtschaftlichkeit einer projektierten Anlage ändert, wenn einzelne Parameter von den angenommenen Werten abweichen. Es besteht die Möglichkeit eine Veränderung der Parameter „Gesamter Wärmebedarf“, „Investitionskosten“, „Brennstoffkosten“, Anlegbarer Preis für Wärme“, „Anlegbarer Strompreis“ und „Anteil Eigenverbrauch KWK-Strom“ in einem Bereich von 10 % bis 190 % des jeweils angenommenen Wertes zu überprüfen.

Bei der Sensitivitätsanalyse werden die Größe und andere technische Parameter des BHKWs nicht verändert, es wird vielmehr untersucht, wie sich die Wirtschaftlichkeit der spezifizierten Anlage bei veränderten Randbedingungen entwickelt. Es werden jeweils die Gesamtannuität gemäß VDI 2067 sowie der Nettobarwert und der interne Zinsfuß gemäß DCF in Abhängigkeit des jeweiligen Parameters dargestellt. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen exemplarisch, wie sich eine Veränderung des angenommenen Wärmebedarfs auf die Wirtschaftlichkeit der gewählten Anlage auswirken kann.

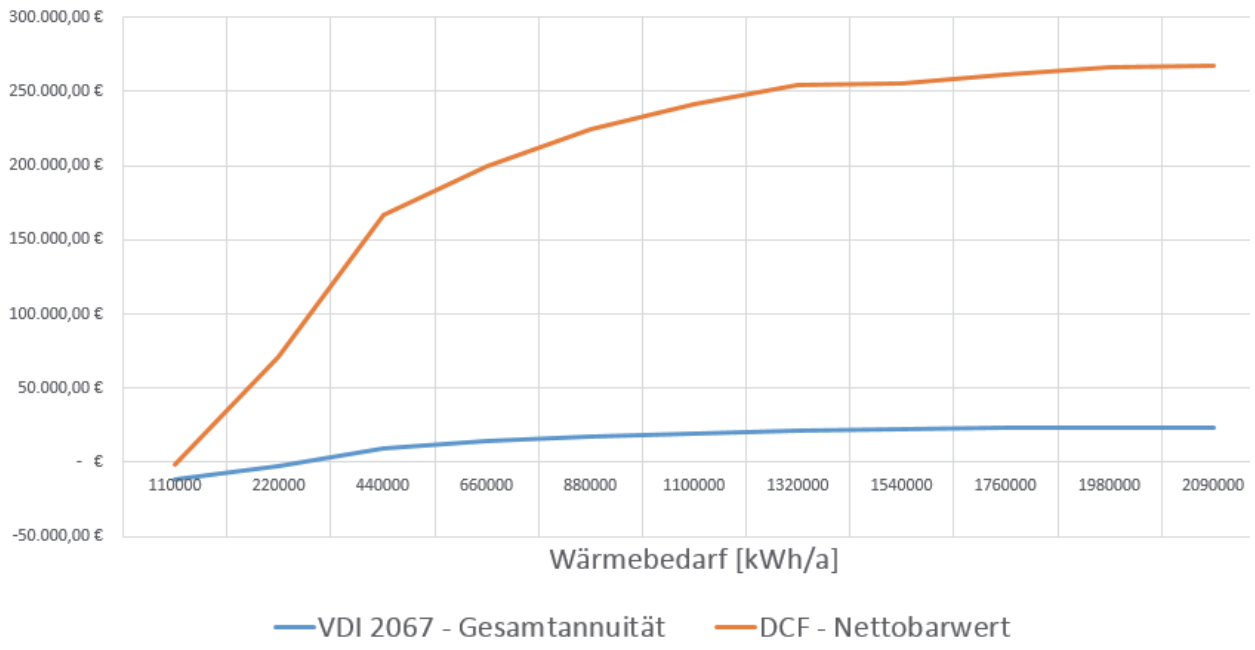


Abbildung 12: Veränderung der Gesamtannuität gemäß VDI 2067 und des Nettobarwerts gemäß DCF in Abhängigkeit des Wärmebedarfs der untersuchten Liegenschaften im Blatt „Sensitivitätsanalyse“

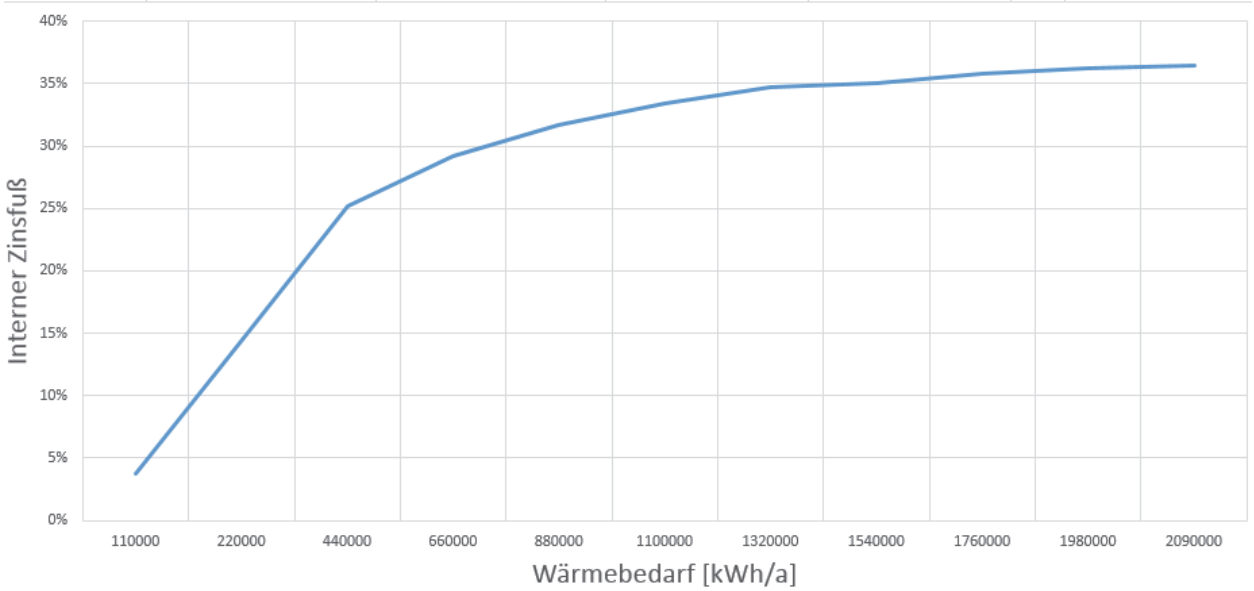


Abbildung 13: Veränderung des internen Zinsfußes gemäß DCF in Abhängigkeit des Wärmebedarfs der untersuchten Liegenschaften im Blatt „Sensitivitätsanalyse“

2.6. Ergebnisse des untersuchten Projekts

Die wesentlichen Eingangsgrößen und Ergebnisse der technisch-wirtschaftlichen Untersuchung werden stets aktuell im Blatt „Output“, wie in Abbildung 14 zu sehen, dargestellt.

Ebenfalls werden im Blatt „Output“ die Jahresdauerlinie Wärme der Liegenschaft und des ausgewählten BHKWs (inkl. Verluste) und der Wärmelastgang des projektierten BHKWs, wie in Abbildung 15 und Abbildung 16 zu sehen, grafisch dargestellt.

	A	B	C	D	E	F	G
1	**BHKW-Konzept**				Übersicht technisch-wirtschaftliche Parameter und Ergebnisse		Hochschule Rosenheim University of Applied Sciences
2	**Allgemeine Angaben**				**Technische Ergebnisse**		
3	Anlagenbezeichnung		Muster Anlage		Eingespeiste elektrische Energie BHKW	[kWh/a]	129.518
4	Gesamtwärmebedarf	[kWh/a]	1.194.903		Eigenverbrauch elektrische Energie BHKW	[kWh/a]	194.278
5	Ansprechpartner		Mustermann, Max		Elektrische Energie BHKW gesammt	[kWh/a]	323.796
6	Ort		Musterstadt				
7	Postleitzahl		12345		Gesamterzeugung thermische Energie BHKW	[kWh/a]	583.416
8					Wärmeverluste im Netz	[kWh/a]	0
9	**Technische Parameter BHKW**				Wärmeverluste im Pufferspeicher	[kWh/a]	23.898
10	Brennstoff		Erdgas		An Liegenschaft gelieferte Wärmemenge	[kWh/a]	559.518
11	Elektrische Leistung	[kW]	33				
12	Wärmeleistung	[kW]	67		**Technische Kennzahlen**		
13	Elektrischer Wirkungsgrad	[%]	33,3%		Vollbenutzungsstunden (VBH)	[h/a]	9.812
14	Thermischer Wirkungsgrad	[%]	60,0%		Deckungsgrad Wärmebedarf durch BHKW	[%]	46,8%
15					Eigenverbrauchsanteil KWK-Strom	[%]	60,0%
16	**Investitionskosten**						
17	Modulkosten	[€]	100.000		**Wirtschaftlichkeitskennzahlen**		
18	Einbindungskosten	[€]	0		VDI2067		
19	Transport & Abnahme	[€]	3.156		Berechnungszeitraum [a]	[a]	15
20	Pufferspeicher	[€]	2.664		Kalkulationszinsatz	[%]	7,0%
21	Zusätzliche Investition 1	[€]	0		Annuitäsfaktor		0,110
22	Zusätzliche Investition 2	[€]	0		Gesamtannuität	[€]	13.549
23	Gesamtkosten	[€]	105.820				
24					DCF		
25	**Wartungskosten**				Interner Zinsfuß	[%]	21,67%
26	Instandhaltung	[€/a]	9.001		Nettobarwert	[€]	168.844
27	Generalüberholung	[€/5a]	15.873				
28							
29	**Einnahmen**						
30	Verbrauch in stromkostenintensiven Unternehmen?		Nein				
31	Ins Netz eingespeister Strom	[€/a]	15.439				
32	Eigenverbrauchter Strom	[€/a]	41.206				
33	Wärme	[€/a]	31.613				
34	Gesamt	[€/a]	88.258				

Abbildung 14: Übersicht der erzielten Ergebnisse eines projektierten BHKWs im Blatt „Output“

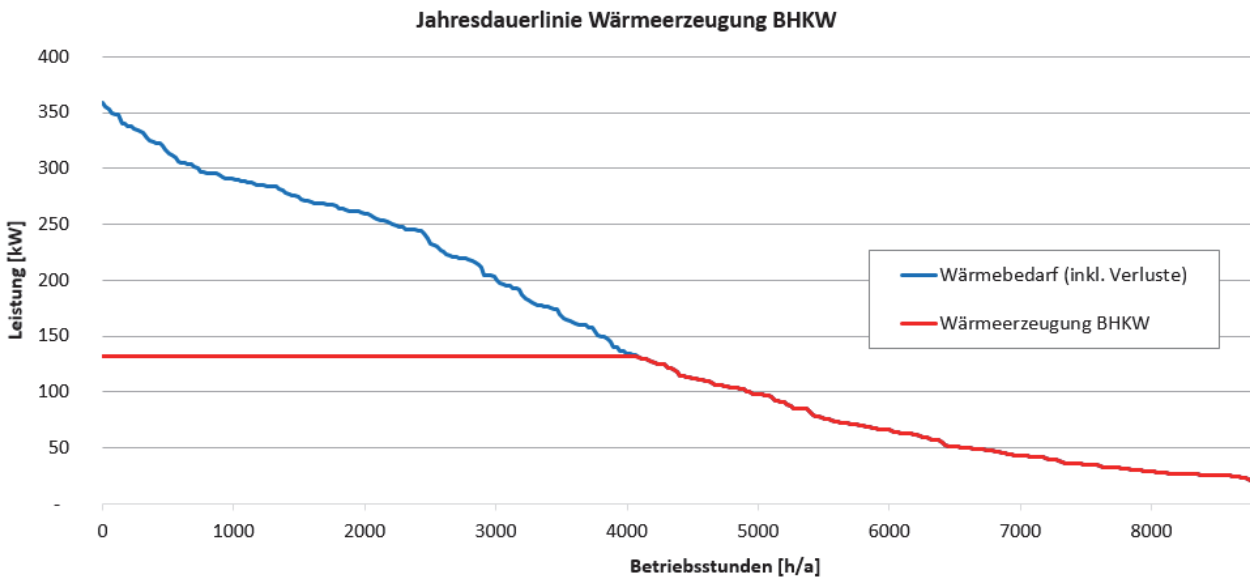


Abbildung 15: Mittels SLP-Verfahren ermittelte Wärme-Jahresdauerlinie (inkl. Verluste) der Liegenschaft und eines generischen BHKWs im Blatt „Output“

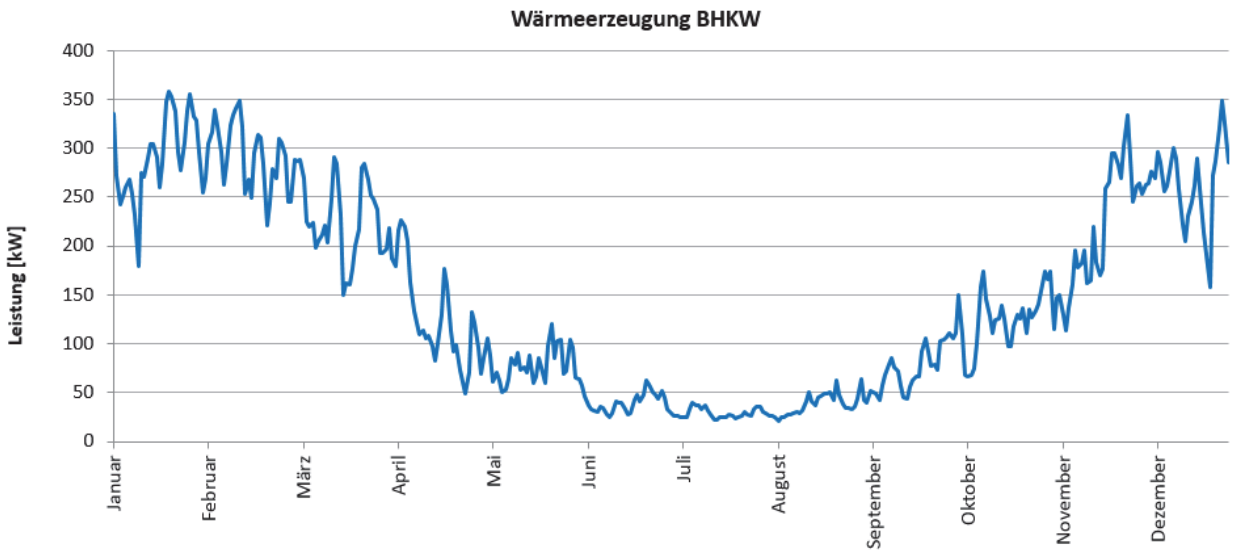


Abbildung 16: Durch BHKW-Konzept ermittelter Wärmelastgang eines generischen BHKWs im Blatt „Output“

3. Quellenverzeichnis

[1] Verein Deutscher Ingenieure, VDI 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung, Berlin: Beuth, 2016.

[2] „www.bdew.de," [Online]. Available: https://www.bdew.de/internet.nsf/id/588AD9E65B7F3DBAC1257A2A00348DE4/$file/LF-Abwicklung-von-Standardlastprofilen-Gas_20110630_final.pdf. [Zugriff am 02 01 2018].

[3] ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., BHKW-Kenndaten 2014/2015, 2014.

Kontakt:
Prof. Dr. Dominikus Bücker
Hochschule Rosenheim
Hochschulstr. 1
D-83024 Rosenheim

Tel.: +49 (0)8031-805 2652
E-Mail: dominikus.buecker@fh-rosenheim.de
www.fh-rosenheim.de/forschung-entwicklung