

# OTH Regensburg

Bedienungsanleitung für das Planungstool

## **I      Inhaltsverzeichnis**

I	Inhaltsverzeichnis.....	II
II	Abbildungsverzeichnis .....	III
1.	Einleitung .....	1
2.	Bedienung .....	2
2.1	Tabellenblatt „Verbrauchereingabe“ .....	2
2.2	Tabellenblatt „Netzauslegung“ .....	3
2.3	Tabellenblatt „Energetisch“ .....	4
2.4	Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“ .....	8
2.5	Auswertung .....	14
2.5.1	Tabellenblatt „Monatlich_Energetisch“ .....	14
2.5.2	Tabellenblatt „Ökobilanz“ .....	15
2.6	Tabellenblatt „Solver“ .....	18

## II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Formatvorlagen für Benutzereingabe und Ergebniss/interne Berechnung .....	2
Abbildung 2.2: Tabellenblatt „Verbrauchereingabe“: Eingabe der Verbraucher, der Fläche sowie Wahl des Gebäudestandards .....	3
Abbildung 2.3: Tabellenblatt „Verbrauchereingabe“: Eingaben zur Bestimmung der Heizleistung nach DIN .....	3
Abbildung 2.4: Tabellenblatt „Netzauslegung“: Eingabemaske zu Netzlänge, spezifischen Investitionskosten des Netzes, spezifische Wärmedurchgangskoeffizienten und Förderung in Abhängigkeit der vor Ort verbauten bzw. zu verbauenden Durchmesser .....	4
Abbildung 2.5: Tabellenblatt „Netzauslegung“: Eingabe der Vor- und Rücklauftemperatur des Netzes sowie der Bodentemperatur.....	4
Abbildung 2.6: Tabellenblatt „Energetisch“: Auswahl der Art des Erzeuger 1 und Eingabe wichtiger Parameter am Beispiel einer Wärmepumpe .....	5
Abbildung 2.7: Tabellenblatt „Energetisch“: Auswahl der Art des Erzeuger 1 und Eingabe wichtiger Parameter am Beispiel eines BHKWs.....	6
Abbildung 2.8: Tabellenblatt „Energetisch“: Auswahl der Art der Spitzenlast und Eingabe des Wirkungsgrades in Zelle B26 .....	6
Abbildung 2.9: Tabellenblatt „Energetisch“: Eingaben zu Pufferspeicher, Photovoltaik und Häuserdaten .....	7
Abbildung 2.10: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Eingabe und Berechnung der Daten zum BHKW .....	8
Abbildung 2.11: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Eingabe und Berechnung der Daten zu Wärmepumpen, Spitzenlast, Puffer, Photovoltaik und Randparameter.....	9
Abbildung 2.12: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Eingabe sonstige Werte .....	10
Abbildung 2.13: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: VDI 2067 .....	11
Abbildung 2.14: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Preisgleitformel .....	12
Abbildung 2.15: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Grafische Darstellung des kumulierten Cashflows bei Rendite 0% bzw. kostendeckenden Arbeitspreis .....	13
Abbildung 2.16: Angepasster Arbeitspreis und daraus resultierende Rendite.....	13
Abbildung 2.17: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Grafische Darstellung des kumulierten Cashflows bei Rendite 8,9 % bzw. angepassten Arbeitspreis .....	13
Abbildung 2.18: Tabellenblatt „Monatlich_Energetisch“: Grafische Auswertung des Stromsektors.....	14

Abbildung 2.19: Tabellenblatt „Monatlich_Energetisch“: Grafische Auswertung des Wärmesektors .....	15
Abbildung 2.20: Tabellenblatt „Ökologie“: Grafische Auswertung der CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	16
Abbildung 2.21: Tabellenblatt „Ökologie“: Auswertung nach CO <sub>2</sub> -Emissionen, Primärenergiefaktor und Anteil erneuerbarer Energien .....	17

## **1. Einleitung**

Diese Bedienungsanleitung führt durch das Tool, welches an der OTH Regensburg im Rahmen des Forschungsprojektes „MAGGIE“ erstellt wurde. Das Tool ist für die Bestimmung der Anlagengrößen, der Berechnung des Wärmepreises, der Bestimmung der Rendite und der Auswertung einer Nahwärmeversorgung hilfreich. Es liefert zuverlässige Anhaltspunkte für eine wirtschaftliche und ökologische energetische Planung von Nahwärmenetzen. Abseits der Standardmethoden wie BHKW und Spitzenlastkesseln legt das Tool zudem einen Fokus auf innovative, nachhaltige Versorgungskonzepte, wie etwa durch Wärmepumpen und sogenannte „kalte Nahwärmenetze“. In dieser Bedienungsanleitung wird, anhand von Screenshots aus dem Tool, gezeigt, an welchen Stellen der Benutzer Eingaben vorzunehmen hat und welche Ergebnisse erwartet werden können.

Grundsätzlich gilt, dass alle Eingabemasken bzw. vordefinierte Werte angepasst werden können. Die hier vorgestellten Einstellungen lassen sich durchaus durch einen im Umgang mit Excel Erfahrenen ergänzen bzw. erweitert oder ausbessern.

Es wird empfohlen, dass Tool mit der neuesten Version von Microsoft Excel (Office 365 bzw. Office 2019) auszuführen. Eine Nutzung bis Office 2010 ist ohne Probleme möglich. Ältere Office-Versionen konnten nicht getestet werden.

## 2. Bedienung

Das Excel-Tool ist so aufgebaut, dass von links nach rechts durch die Tabellenblätter gegangen wird und die entsprechenden Eingaben des Projektes angegeben werden. Folgende Tabellenblätter gibt es, die jeweils in einem Abschnitt im Folgenden beschrieben werden:

- Verbrauchereingabe,
- Netzauslegung,
- Energetisch,
- Wirtschaftlichkeit,
- Monatlich\_Energetisch,
- Ökobilanz und
- Solver.

Als Verbraucherschutz wird mit Zellformatierungen gearbeitet. Dabei wird sich an den Standardvorlagen von Excel gehalten. Orange Felder mit dunkelblauer Schrift für Benutzereingaben vorgesehen, ohne die auch die Simulation nicht ablaufen kann (s. Abbildung 2.1 links). Da viele Parameter innerhalb eines Projektes anzugeben sind, sind teilweise Werte als Vorschlag vorgegeben. Grau hinterlegte Werte mit oranger Schrift entsprechen der Zellformatvorlage „Berechnung“ von Excel und sind auch in diesem Tool aufgrund von Verbrauchereingaben berechnete Werte (s. Abbildung 2.1 rechts). Diese können im Einzelfall angepasst werden, sollten aber zumeist nicht verändert werden.



**Abbildung 2.1:** Formatvorlagen für Benutzereingabe und Ergebnis/interne Berechnung

### 2.1 Tabellenblatt „Verbrauchereingabe“

Im ersten Tabellenblatt „Verbrauchereingabe“ werden die Verbraucher eingegeben. In *Spalte B und C* können die einzelnen Gebäude benannt und kategorisiert werden (s. Abbildung 2.2). In *Spalte D* können die einzelnen beheizten Flächen eingegeben werden. Es bietet sich hier an, gleiche oder ähnliche Gebäude zusammenzufassen. In *Spalte E* kann der Gebäudestandard nach KfW gewählt werden. Basierend auf dem Gebäudestandard ist ein spezifischer Raumwärmebedarf hinterlegt (*Spalte F*). *Spalte G* stellt die Heizlast für die jeweiligen Gebäude dar. Diese errechnet sich als maximaler Wert des Raumwärmeprofiles, welches in Abhängigkeit der Wetterdaten bestimmt.

	B	C	D	E	F	G
10	Name	Bezeichnung	Fläche Gesamt	Gebäudestandard	spez. Raumwärmebedarf	Heizlast für Raumwärme
11	Handel 1	Handel 20 kWh/(m²·a)	1.353 m²	KfW 40	24,0 kWh/(m²·a)	11,5 kW
12	Gewerbe 1	Gewerbe 20 kWh/(m²·a)	5.573 m²	KfW 40	24,0 kWh/(m²·a)	47,3 kW
13	Handel 2	Handel 20 kWh/(m²·a)	917 m²	KfW 40	24,0 kWh/(m²·a)	7,8 kW
14	Gewerbe 2	Gewerbe 20 kWh/(m²·a)	7.492 m²	KfW 40	24,0 kWh/(m²·a)	63,5 kW
15	Wohnen 1	Wohnen KfW 40 20 kWh/(m²·a)	26.150 m²	KfW 40	24,0 kWh/(m²·a)	221,7 kW
16	Wohnen 2	Wohnen KfW 40 20 kWh/(m²·a)	19.472 m²	KfW 40	24,0 kWh/(m²·a)	165,1 kW

**Abbildung 2.2:** Tabellenblatt „Verbrauchereingabe“: Eingabe der Verbraucher, der Fläche sowie Wahl des Gebäudestandards

Abbildung 2.3 zeigt die Eingabemaske zur Eingabe der Anzahl der Wohneinheiten je Gebäude bzw. je Gebäudekategorie (*Spalte H*), wie die Leistung für die Warmwasserbereitung ermittelt werden soll (*Spalte I*; standardmäßig nach TU Dresden). Der Gleichzeitigkeitsfaktor (*Spalte J*) ermittelt sich nach der Anzahl an Wohnungen im Gebäude und der in *Spalte I* ausgewählten Methode. Den unterschiedlichen Methoden liegen hierzu entsprechende Kennfelder zugrunde. In *Spalte K* kann angegeben werden, wie die Bestückung der Wohnung ausgewählt werden (standardmäßig nach DIN 4708 – Dusche und Waschtisch). Dementsprechend ermittelt sich die Leistung in *Spalte L* für die Warmwasserbereitstellung. Hierbei geht die Anzahl der Wohnungen, die Bestückungsart und der Gleichzeitigkeitsfaktor ein. Die Angaben in diesen Tabellenblatt dienen der Berechnung des Energiebedarfs des Versorgungsgebietes sowie der Heizlast. Für eine genauere Beschreibung der Berechnung sei auf einschlägige Literatur verwiesen. Idealerweise werden die Standardeinstellungen gewählt. Über *Zelle S1* kann noch ein Sicherheitsfaktor angegeben werden, der den Energiebedarf des jeweiligen KfW-Standards um den angegebenen Wert erhöht. Oft stimmen Praxis und Theorie nicht überein. Hier können eigene Erfahrungswerte eingegeben werden.

Insgesamt können 40 verschiedene Gebäude bzw. Gebäudekategorien angelegt werden.

	H	I	J	K	L	M
10	Anzahl Wohneinheiten n	Leistung für Warmwasser ermitteln nach	Gleichzeitigkeitsfaktor or Wasser	Berechnung/Ausstattung	Leistung für Warmwasserbereitstellung	Benötigte Heizleistung
11	1	TU Dresden	114%	DIN 4708 - Dusche und Waschtisch	26,6 kW	26,6 kW
12	1	TU Dresden	114%	DIN 4708 - Dusche und Waschtisch	26,6 kW	47,3 kW
13	1	TU Dresden	114%	DIN 4708 - Dusche und Waschtisch	26,6 kW	26,6 kW
14	1	TU Dresden	114%	DIN 4708 - Dusche und Waschtisch	26,6 kW	63,5 kW
15	451	TU Dresden	2%	DIN 4708 - Dusche und Waschtisch	246,3 kW	246,3 kW
16	260	TU Dresden	3%	DIN 4708 - Dusche und Waschtisch	201,5 kW	201,5 kW

**Abbildung 2.3:** Tabellenblatt „Verbrauchereingabe“: Eingaben zur Bestimmung der Heizleistung nach DIN

## 2.2 Tabellenblatt „Netzauslegung“

In dem Tabellenblatt „Netzauslegung“ können je nach Durchmesser der verlegten Rohre (*Spalte A*) die jeweils verbauten Längen in m (*Spalte B*, s. Abbildung 2.4), die spezifischen Investitionskosten in €/m je Durchmesser (*Spalte C*), die Wärmedurchgangswerte (U-Werte; *Spalte E*) in W/(m K) sowie die Förderung in €/m (*Spalte G*) angegeben werden. Daraus werden die Gesamtkosten (*Zelle D15*),

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	DN	Länge	spez. Invest	Gesamtkoste	Uwert	spez. Wärmeverl.	Förderung
3	20	600 m	202 €/m	121.211 €	0,198 W/(m K)	12,90 W/m	60 €/m
4	25	400 m	205 €/m	81.819 €	0,215 W/(m K)	13,99 W/m	60 €/m
5	32	425 m	221 €/m	93.921 €	0,234 W/(m K)	15,21 W/m	60 €/m
6	40	300 m	230 €/m	68.953 €	0,274 W/(m K)	17,82 W/m	60 €/m
7	50	1.000 m	259 €/m	259.385 €	0,269 W/(m K)	17,50 W/m	60 €/m
8	65	265 m	285 €/m	75.608 €	0,315 W/(m K)	20,47 W/m	60 €/m
9	80	1.000 m	324 €/m	324.010 €	0,351 W/(m K)	22,78 W/m	60 €/m
10	100	10 m	411 €/m	4.113 €	0,354 W/(m K)	23,02 W/m	60 €/m
11	125	0 m	504 €/m	- €	0,344 W/(m K)	22,33 W/m	60 €/m
12	150	0 m	605 €/m	- €	0,394 W/(m K)	25,63 W/m	60 €/m
13	200	0 m	722 €/m	- €	0,440 W/(m K)	28,61 W/m	60 €/m
14	250	0 m	1.090 €/m	- €	0,628 W/(m K)	40,84 W/m	60 €/m
15	Gesamtlänge	4.000 m	Gesamtkosten	1.029.020 €	durchschn. spez. Wärmeverlust	17,77 W/m	
16			durchsch. Kosten	257 €/m			
17			durchsch. Förderung	60 €/m			

**Abbildung 2.4:** Tabellenblatt „Netzauslegung“: Eingabemaske zu Netzlänge, spezifischen Investitionskosten des Netzes, spezifische Wärmedurchgangskoeffizienten und Förderung in Abhängigkeit der vor Ort verbauten bzw. zu verbauenden Durchmesser

die durchschnittliche Förderung (Zelle D17), die durchschnittlichen spezifischen Wärmeverluste in W/m (Zelle F15) sowie die Gesamtlänge des Netzes (Zelle B15) berechnet. Diese Werte dienen der späteren energetischen sowie wirtschaftlichen Berechnung in Abschnitt 2.3 und 2.4.

Abbildung 2.5 zeigt die Eingabemaske, in der die wichtigen Temperaturen des Netzes eingegeben werden können. Dies sind die Vorlauftemperatur, die Rücklauftemperatur und die durchschnittliche Bodentemperatur des Standortes über das Jahr. Letztere dient der Berechnung der Temperaturdifferenz zwischen Rohr und Boden, welche für die Berechnung der Netzverluste herangezogen wird.

	H	I
1		
2	<b>Eingabe Netztemperaturen</b>	
3	Vorlauf	90,0 °C
4	Rücklauf	60,0 °C
5	Durchschn. Bodentemp.	10,0 °C
6	ΔT	65 K

**Abbildung 2.5:** Tabellenblatt „Netzauslegung“: Eingabe der Vor- und Rücklauftemperatur des Netzes sowie der Bodentemperatur

## 2.3 Tabellenblatt „Energetisch“

Das Tabellenblatt „Energetisch“ ist das Haupttabellenblatt, in der die energetischen Berechnungen stattfinden. Zunächst sind aber für die Berechnungen in den Zellen G2-AB8768 (d. h. stundenscharfe Simulation) Parameter einzugeben. Als erstes kann für den Wärmeerzeuger 1 zwischen Wärmepumpe und BHKW entschieden werden. Wird z. B. die Wärmepumpe ausgewählt, wird die Eingabemaske in A2-E12 für die Parametereingabe entsprechend angepasst, um für die Wärmepumpe relevante Parameter eingeben zu können (s. Abbildung 2.6). Dabei sind die orangen Felder unbedingt für eine exakte Weiterberechnung zu füllen. In Zelle B4 zwischen drei



verschiedenen Wärmepumpentypen ausgewählt werden (Zelle B15 für Erzeuger 2): Luft-Wärmepumpe, Wasser-Wärmepumpe und Erd-Wärmepumpe. Letztere kann nach Erscheinen eines Auswahlfensters noch als Erdkollektor- oder Erdsonden-Wärmepumpe ausgelegt werden. Danach sind Werte wie thermische Leistung (Zelle B5 bzw. für Erzeuger 2 in Zelle B16), COP (Zelle B10 bzw. für Erzeuger 2 in Zelle B21), Einspeichertemperatur (Zelle B11 bzw. für Erzeuger 2 in Zelle B22) und Investitionskosten (Zelle E11 bzw. für Erzeuger 2 in Zelle E22) anzugeben. Bei den Typen Luftwärmepumpe sowie Erdkollektor-Wärmepumpe wird der COP über die Außentemperatur bzw. durchschnittliche Bodentemperatur des Standortes bestimmt. Diese beiden Zeitreihen (Spalte J und Spalte Y) können für beliebige Standorte im Tool ergänzt werden. Bei Auslieferung sind die Werte für Regensburg angegeben. Wird ein Wärmepumpentyp gewählt, wird zudem abgefragt, ob die Einstellungen für den zweiten Erzeuger ebenfalls übernommen werden sollen.

Wird BHKW als Erzeuger 1 gewählt, sind verschiedene Parameter anzugeben, die für die Simulation benötigt werden. Dies sind in Zelle B5 (bzw. für Erzeuger 2 in Zelle B16) die thermische Leistung, der thermische Wirkungsgrad in Zelle B10 (bzw. für Erzeuger 2 in Zelle B21), der elektrische Wirkungsgrad in Zelle B11 (bzw. für Erzeuger 2 in Zelle B22) und die Investitionskosten in Zelle E12 (bzw. für Erzeuger 2 in Zelle E23). Das BHKW speist standardmäßig bei 75 °C ein.

	A	B	C	D	E
1	<b>Erzeuger 1</b>				
2	Wärmepumpe				
	BHKW				
	Wärmepumpe				
3	Vorgaben		Ergebnisse		
4	Wärmepumpentyp	Auswahl erforderlich	Betriebsstunden		2
5	thermische Leistung	Eingabe erforderlich	Starts		1
6	-	-	Betriebsstunden je Start		2,0
7	elektrische Leistung	#WERT!	Thermische Erzeugung		#WERT!
8					
9			Primärenergieverbrauch		#WERT!
10	COP		COP-Parameter m		0,07
11			COP-Parameter b		2,66
12	Einspeichertemperatur	75,0 °C	Investitionskosten Wärmepumpe		0 €

**Abbildung 2.6:** Tabellenblatt „Energetisch“: Auswahl der Art des Erzeuger 1 und Eingabe wichtiger Parameter am Beispiel einer Wärmepumpe

Abbildung 2.7 zeigt die Eingabemaske für den Erzeuger 2. In Zelle A14 kann analog zu Erzeuger 1 zwischen BHKW und Wärmepumpe gewählt werden.

	A	B	C	D	E
13	Erzeuger 2				
14	BHKW				
15	-	-		Betriebsstunden	2
16	thermische Leistung	Eingabe erforderlich		Starts	1
17	-	-		Betriebsstunden je Start	2,0
18	elektrische Leistung	#WERT!		Thermische Erzeugung	#WERT!
19	-	-			
20	Gasbezug	#WERT!		Primärenergieverbrauch	#WERT!
21	thermischer Wirkungsgrad	0%		-	-
22	elektrischer Wirkungsgrad	0%		-	-
23	Einspeichertemperatur	75,0 °C		Investitionskosten	0 €

**Abbildung 2.7:** Tabellenblatt „Energetisch“: Auswahl der Art des Erzeuger 1 und Eingabe wichtiger Parameter am Beispiel eines BHKWs

Im Zellbereich A24-E29 können Einstellungen für den Spitzenlastkessel vorgenommen werden. In Zelle A25 kann zwischen den Arten Gastherme, Heizstab oder Pelletkessel ausgewählt werden. In Zelle B26 kann der Wirkungsgrad der jeweiligen Technologie eingegeben werden. Das Modell ist so aufgebaut, dass die Leistung des Spitzenlastkessels des maximalen, in der Simulation nicht durch Erzeuger 1 und Erzeuger 2 gedeckten Bedarfs entspricht. Das heißt, dass die Erzeuger 1 und Erzeuger 2 beliebig gewählt werden können und automatisch die Energieversorgung zu jeder Zeit des Jahres erfüllt wird. Nach „DIN 4708 - Dusche und Waschtisch“ liegt die benötigte Anschlussleistung der Wohnungen deutlich höher. Zelle B29 berechnet die Leistung des Spitzenlastkessels, die zur Deckung dieser Anschlussleistung gebraucht werden würde. Eine Simulation zeigt aber, dass diese meist deutlich überdimensioniert ist. Wir wählen einen ressourcenschonenden Ansatz, weshalb die nach der Simulation bestimmte Leistung für die weiteren Berechnungen herangezogen wird.

	A	B	C	D	E
24	Spitzenlast				
25	Pelletkessel				
26	Gastherme				
27	Heizstab				
28	Pelletkessel				
29	Zur Deckung Anschlussleistung	873,4 kW		Primärenergieverbrauch	652.380 kWh/a
30	Gesamt	1395,6 kW		Investitionskosten	

**Abbildung 2.8:** Tabellenblatt „Energetisch“: Auswahl der Art der Spitzenlast und Eingabe des Wirkungsgrades in Zelle B26

In der Eingabemaske A31-E37 werden die Parameter für den Pufferspeicher angegeben (s. Abbildung 2.9). Einzig in Zelle B32 kann das Puffervolumen je Gebäude angegeben werden. In der Simulation wird mit dem Wert in Zelle E32 gerechnet. Wird nur ein dezentraler Pufferspeicher verbaut, dann ist in Zelle E56 „Anzahl Gebäude“ der Wert auf 1 zu setzen, ansonsten wird angenommen, dass in jedem Gebäude (wie in Nahwärmenetzen üblich) ein kleiner Pufferspeicher verbaut ist.

In der Simulation kann sowohl den Wärmesektor, als auch den Stromsektor betrachtet werden. Zusätzlich kann eine PV-Anlage installiert werden. Da in der Simulation Strahlungswerte pro m<sup>2</sup> hinterlegt sind, sind die zu Verfügung stehenden Flächen der PV-Anlage, unterteilt in Ost, West und Süd, in m<sup>2</sup> in den Zellen B40-B42 anzugeben. Über einen Faktor (Zelle B43; berechnet über Modulfläche geteilt durch Modulleistung) lässt sich dieser Wert ebenfalls als Leistung ausdrücken.

	A	B	C	D	E
31	Pufferspeicher je Gebäude				
32	Volumen je Gebäude	4.000 Liter		Gesamtes Volumen	88.000 Liter
33	Warmhalteverluste nach EN 1289	246,52 W		Wärmewiderstand je Puffer	5,48 W/K
34	Temp min	40 °C		Wärmewiderstand gesamt	120,52 W/K
35	Temp max	90 °C		Energieinhalt je Puffer	232,0 kWh
36	Temp Heizraum	25 °C		Energieinhalt gesamt	5104,0 kWh
37	Puffer Temp zu hoch ab	78 °C			
	A	B	C	D	E
39	PV-Anlage				
40	PV-Fläche Ost	0 m²		Leistung Ost	0 kWh/a
41	PV-Fläche Süd	0 m²		Leistung Süd	0 kWh/a
42	PV-Fläche West	0 m²		Leistung West	0 kWh/a
43	Spezifische Fläche	5,9 m²/kWp		Leistung gesamt	0 kWh/a
44	Einspeisebegrenzung auf	100%		Wirkungsgrad	16,9%
	A	B	C	D	E
48	Hausdaten				
49	Rauminnentemperatur	21,0 °C		KfW-Standard	24 kWh/(m²·a)
50	Heizgrenztemperatur	15,0 °C		Nutzfläche Gebäude	60957 m²
51	Auslegungstemperatur	-16,0 °C		Summe Heizleistung	1767,6 kW
52	Korrekturfaktor KfW-Standard	1		Raumwärmebedarf	1.462.968 kWh/a
53	Spez. Warmwasserbedarf je Pers	12,5 kWh/m²		Warmwasserbedarf	761.963 kWh/a
54	Zirkulationsverluste	20,00%		Zirkulationsverluste	444.986 kWh/a
55				Gesamter Energiebedarf	2.669.917 kWh/a
56				Anzahl Gebäude	22
57				Anzahl Wohneinheiten	714,48
58	Spez. Strombedarf je WE	2.800 kWh/WE		Strombedarf	2.000.544 kWh/a

**Abbildung 2.9:** Tabellenblatt „Energetisch“: Eingaben zu Pufferspeicher, Photovoltaik und Häuserdaten

Zur Berechnung des Wärmeprofiles ist neben der Außentemperatur und dem KfW-Standard, der den Energieverbrauch pro m² pro Jahr angibt, vor allem die Rauminnentemperatur und die Heizgrenztemperatur relevant. Letztere gibt an, ab welcher durchschnittlichen Tages-Außentemperatur geheizt wird. Zudem kann in Zelle B53 der spezifische Warmwasserbedarf pro Person und pro m² angegeben werden. Anhand eines Warmwasserprofils des VDI ergibt sich somit ein Jahresprofil, welches zum Wärmelastprofil addiert wird. Zudem können Zirkulationsverluste (Zelle B54), ein Korrekturfaktor (Zelle B52; dieser passt das Wärmelastprofil an, wenn mehr verbraucht wird als angenommen) und der Stromverbrauch je Wohneinheit (Zelle B58) angegeben werden.

Die stundenscharfe Simulation des Versorgungsgebietes erfolgt in den Zellen G2-BH8768. In diesen Zellen wird auf Basis der Verbrauchereingaben und stundenscharfer Profile die Energieversorgung berechnet.

Sollen Zeitreihen für andere Standorte bzw. andere Jahre verwendet werden, dann sind folgende Spalten mit folgenden Eigenschaften anzupassen:

- Spalte J: Außentemperatur
- Spalte L, M, N: Globalstrahlung des Standortes auf eine um 30°-geneigte Fläche, welche in Spalte O, P, Q in Energie umgerechnet wird
- Spalte R: Warmwasserprofil
- Spalte S: Stromlastprofil
- Spalte U: Wärmelastprofil

- Spalte Y: Bodentemperatur in 1 m Tiefe

In den folgenden Spalten AE-BH werden verschiedenste Berechnungen zur Erfüllung aller Gleichungen gemacht.

Für die Auslegung der einzelnen Energieerzeuger ist dieses Tabellenblatt ausreichend. Ist eine Berechnung des Wärmepreises gewünscht, sind im letzten Eingabetabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“ weitere Angaben zu machen.

## 2.4 Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“

In dem Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“ werden die Ergebnisse der energetischen Simulation übernommen und für die Berechnung von wirtschaftlichen Eckdaten verwendet. Zudem sind wiederum einige Parameter einzugeben, die für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wichtig sind.

Das Tabellenblatt ist primär unterteilt in vier Kategorien: Wirtschaftliche Parameter zu den Energieerzeugern und Verbraucher (s. Abbildung 2.10 und Abbildung 2.11), die VDI Norm 2067 (Nutzungsdauern, Wartungs-, Betriebs- und Instandhaltungskosten; s. Abbildung 2.13), die Preisgleitformel, d. h. welche Kosten auf den Arbeitspreis bzw. den Grundpreis aufzuteilen sind (s. Abbildung 2.15), und eine Cash-Flow-Tabelle.

In Abbildung 2.10 sind die Daten für das BHKW anzugeben. In Zelle K3 kann zwischen Biogas (=Ja) oder Erdgas (=Nein) gewählt werden. In Zelle K4 und K5 kann der Arbeitspreis und Grundpreis für den Gasbezug eingegeben werden. Zelle K6 spiegelt die Energiesteuer wieder, die am Ende des Jahres rückerstattet werden kann. Gibt es einen Vollwartungsvertrag für das BHKW, kann dies in Zelle K7 berücksichtigt werden. Ansonsten werden die Wartungs- und Instandhaltungskosten in der Berechnung VDI 2067 angegeben. In Zelle K8 wird der durchschnittliche Quartalsbörsenpreis angegeben, den das BHKW für die Einspeisung erhält. Als Einspeisezuschuss deklariert, werden in den Zellen K9-K13 die Werte aus dem KWKG für die eingespeiste Kilowattstunde je Leistungsklasse eingetragen. Bei Biogas wird dies mit den Werten des EEGs gemacht. Das KWKG sieht einen Zuschuss für jede eigenverbrauchte Kilowattstunde vor, die in Zelle K14-K18 angegeben werden. Beim EEG entfällt dies.

	J	K	L	M	N
1	Vorgaben			Ergebnisse	
2			BHKW		
3	Auswahl Biogas (Ja/Nein)	Nein	BHKW elektrisch		0,0 kW
4	Erdgas GP	0,00 €/Jahr	BHKW thermisch		0,0 kW
5	Erdgas AP	3,80 ct/kWh_Gas	BHKW Brennstoff		0,0 kW
6	davon Energiesteuer	0,55 ct/kWh_Gas			
7	Vollwartungsvertrag in ct/kWh_el (kein Vertrag = 0)	0,00 ct/kWh_el	Volllaststunden		0
8	Base Load Preis	4,00 ct/kWh_el	Jahresbenutzungsdauer v		0,0
9	Einspeisezuschuss KWKG <=50 kW	8,00 ct/kWh_el	Investitionskosten		0 €
10	Einspeisezuschuss KWKG 50 - 100 kW	6,00 ct/kWh_el	Gaskosten		0 €
11	Einspeisezuschuss KWKG 100 - 250 kW	5,00 ct/kWh_el			
12	Einspeisezuschuss KWKG 250 - 2000 kW	4,40 ct/kWh_el	Spez. Einspeisevergütung		4,00 ct/kWh_el
13	Einspeisezuschuss > 2000 kW	3,10 ct/kWh_el	Spez. Einspeisezuschuss		0,00 ct/kWh_el
14	Eigenstromzuschuss KWKG <= 50 kW	4,00 ct/kWh_el	Spez. Eigenstromzuschuss		4,00 ct/kWh_el
15	Eigenstromzuschuss KWKG 50 - 100 kW	3,00 ct/kWh_el			
16	Eigenstromzuschuss KWKG 100 - 250 kW	2,00 ct/kWh_el			
17	Eigenstromzuschuss KWKG 250 - 2000 kW	1,50 ct/kWh_el			
18	Eigenstromzuschuss KWKG > 2 MW	1,00 ct/kWh_el	Förderzeitraum		60.000 Vollbenutzungsstunden
19					
20	EEG-Umlage BHKW	4,075 ct/kWh_el			

Abbildung 2.10: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Eingabe und Berechnung der Daten zum BHKW



Für die Wärmepumpe, die Gastherme, den Heizstab und den Pelletkessel sind die Eingabeanforderungen geringer. Bei der Wärmepumpe sind die Investitionskosten bereits im Tabellenblatt „Energetisch“ anzugeben. Hier können noch Förderungen z. B. durch das Marktanzreizprogramm angegeben werden (Zelle K25). Die Investitionskosten für den gewählten Spitzenlastkessel (Gastherme Zelle N28, Heizstab Zelle K30 und Pelletkessel Zelle N33) sind anzugeben. Der Energiebezugspreis für Wärmepumpen und für den Heizstab kann in Zelle K48 angegeben werden, der für die Gastherme ist derselbe wie für das BHKW und für den Pelletkessel ist eine Angabe in Zelle K34 zu tätigen. Die Werte können dauerhaft gefüllt und nur bei Änderungen angepasst werden, da das Tool erkennt, welche Energieerzeuger gewählt werden.

	J	K	L	M	N
21	Wärmepumpe				
22	Spez. Investitionskosten	0 €/kW_el		Wärmepumpe thermisch	372,0 kW
23	Mittlerer COP Erzeuger 1	3,09		Wärmepumpe elektrisch	247,3 kW
24	Mittlerer COP Erzeuger 2	3,09			
25	Förderung Wärmepumpe	0 €		Investitionskosten	0 €
26	Gastherme				
27	Spez. Investitionskosten	0		Gasverbrauch	0 ct/kWh_Erdgas
28	Leistung	0,0 kW		Investitionskosten	
29	Heizstab				
30	Spez. Investitionskosten	40,00 €/kW		Investitionskosten	0 €
31	Leistung	0,0 kW		Strompreis	19,00 ct/kWh_el
32	Pelletkessel				
33	Spez. Investitionskosten	0,00 €/kW		Investitionskosten	0 €
34	Kosten Pellets	4,40 ct/kWh_Pellet		Pelletsverbrauch	652.380 kWh/a
35				Leistung	530,0 kW
36	Pufferspeicher je Wohneinheit				
37	Spez. Investitionskosten	0,91 €/Liter		Investitionskosten inkl. F	80.000 €
38	Volumen	4.000 Liter			88.000 Liter
39	Photovoltaik				
40	Spez. Investitionskosten	0 €/kWp		Investitionskosten	
41	Einspeisezuschuss <= 10 kW	12,20 ct/kWh_el		PV elektrisch	0,0 kWp
42	Einspeisezuschuss 10 - 40 kW	11,87 ct/kWh_el			
43	Einspeisezuschuss 40 - 750 kW	10,61 ct/kWh_el		Spez. Einspeisezuschuss	12,20 ct/kWh_el
44	Degradation	0,50 % /Jahr		EEG-Umlage auf Eigenver	0,000 ct/kWh_el
45	Hausdaten				
46	Anzahl Wohneinheiten	714 WE			
47	Auswahl EE-Strom (Ja/Nein)	Ja			
48	Strompreis Wärmepumpe AP	19,00 ct/kWh_el			
49	Strompreis Netzbezug GP	78,00 €/Jahr			

**Abbildung 2.11:** Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Eingabe und Berechnung der Daten zu Wärmepumpen, Spitzenlast, Puffer, Photovoltaik und Randparameter

Für die Pufferspeicher sind in Zelle N37 die Investitionskosten inkl. Förderung anzugeben, für Photovoltaik in Zelle N40. Die jeweiligen Einspeisevergütungen von PV nach dem EEG werden in Zelle K41-K43 eingegeben. Abbildung 2.12 zeigt die Eingabemaske zu sonstigen Eingabeparameter, z. B. die Preissteigerungsraten für verschiedene Preise (Zelle K51-K62). Sonstige Kosten können in den Zellen K64-K66 eingegeben werden

	J	K	L	M	N
50	Zeitliche Änderungen pro Jahr				
51	Steigerung Gaspreis AP	2%			
52	Steigerung Gaspreis GP	2%			
53	Steigerung Pelletpreis AP	2%			
54	Steigerung Strompreis Wärmepumpe AP	2%			
55	Steigerung Strompreis Wärmepumpe GP	2%			
56	Steigerung Strompreis Netzbezug AP	2%			
57	Steigerung Strompreis Netzbezug GP	2%			
58	Steigerung Strompreis Bewohner AP	2%			
59	Steigerung Strompreis Bewohner GP	2%			
60	Steigerung Wärmepreis Bewohner AP	2%			
61	Steigerung Wärmepreis Bewohner GP	2%			
62	Inflation (Steigerung Instandhaltung, Wartung und Betrieb)	2%			
63	Sonstiges				
64	Kaminkehrer	100,00 €			
65	Versicherung	250,00 €			
66	EEG-Umlage	6,792 ct/kWh_el			

**Abbildung 2.12:** Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Eingabe sonstige Werte

Abbildung 2.13 zeigt die Berechnungen zu VDI 2067. Hier sind in *Spalte S* die Investitionskosten genauestens aufzuschlüsseln, die für die weitere Berechnung in *Zelle S45* summiert werden. In *Spalte Z* ist für die Berechnung der Instandhaltungskosten ein Wert in Prozent der Investitionskosten pro Jahr anzugeben. Die vorgegebene Werte sind die Werte aus der VDI 2067. Eigene Werte können eingegeben werden. Über die Werte in *Spalte AB* können die jährlichen Kosten für Wartung und Inspektion wieder über Prozentwerte angegeben werden (Initialwerte stammen aus VDI 2067). In *Spalte AD* ist der Aufwand für Bedienung in Stunden pro Jahr anzugeben (Initialwerte stammen aus VDI 2067).

In dem Tool betrachtete Energiesysteme werden standardmäßig für 20 Jahre ausgelegt (aufgrund der EEG-Vergütung).

		P	Q	R	S	T	L	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
		Investitionen		Nutzungsdauer nach VDI 2067	Vertragsbeginn Jahr 0	Jahr 5	Jahr 10	Jahr 12	Jahr 15	Jahr 18	Jahr 20	Instandhaltung nach VDI 2067	Wertung und Inspektion nach VDI 2067	AC	AD	AE	
1	2	Vertragslaufzeit: 20 Jahre															
3				Jahre									p.a.		Stunden pro Jahr	30,00 €/h	
4	Heizkesselanlage	Öl Brenner + Zubehör		12	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	10,00%	6,00 €	0	0,00 €
5		Gas-Brennwert-Kessel, bodensehend, unter 200 k		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,50%	0,00 €	70	0,00 €
6		Gas-Brennwert-Kessel, bodensehend über 200 k		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	2,00%	0,00 €	20	0,00 €
7	Wärmepumpe	Luft/Wasser		18	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,50%	0,00 €	5	0,00 €
8		Sole/Wasser, Wasser/Wasser		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,50%	0,00 €	5	0,00 €
9		Grabungskosten (Erdsonde)		30	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	2,00%	0,00 €	0	0,00 €
10		Verriegelkosten (Elektronik)		12	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	2,00%	0,00 €	0	0,00 €
11	Heizkessel für Festbrennstoff-Heizkessel			15	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	3,00%	6,00 €	15	0,00 €
12		Hackschnitzel-Heizkessel		15	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	3,00%	0,00 €	20	0,00 €
13		Pellet- und Hackschnitzelager mit Fördereinrichtung		22	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	2,00%	0,00 €	10	0,00 €
14	Heizstab	Elektrisches Direktheizgerät:		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
15	BHKW	BHKW-Modul		15	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	4,0%	0,00 €	10	0,00 €
16				15	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,00%	0,00 €	0	0,00 €
17	Solarmodule	Flachkollektor		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,5%	0,00 €	5	0,00 €
18	Pufferspeicher	Pufferspeicher / Warmwasserspeicher		20	80.000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	30.000,00 €		800,00 €	1,00%	800,00 €	0	0,00 €
19	Ausdehnungsgefäß	Ausdehnungsgefäß mit Membrane		15	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,00%	0,00 €	0	0,00 €
20		Ausdehnungsgefäß mit Druckpolster		25	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,00%	0,00 €	5	0,00 €
21	Photovoltaikanlage	Photovoltaikanlage		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
22				15	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,00%	0,00 €	0	0,00 €
23	Regeltechnik	Regelung		15	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,50%	0,00 €	0	0,00 €
24	Pumpen	Dezentrale Regelventile		12	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,00%	0,00 €	0	0,00 €
25		Geregelte Strahlpumpen		15	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,00%	0,00 €	0	0,00 €
26		Umwälzpumpen		10	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	1,00%	0,00 €	0	0,00 €
27	Einbindung	Rohrleitungen + Zubehör		40	789.020,28 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		7.890,20 €	1,00%	7.890,20 €	0	0,00 €
28		Schornstein im Gebäude		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	2,00%	0,00 €	0	0,00 €
29		Plattenwärmelüberträger		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
30		Installation Heizzentrale		20	45.000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	45.000,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
31		Isolierungen, Wärmedämmung		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
32		Elektrotechnik		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
33		Lüftungsarbeiten		20	30.000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	30.000,00 €		300,00 €	1,00%	300,00 €	0	0,00 €
34		Erdgasanschluß		20	5.000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	5.000,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
35		Hausübergabestation bei Fernwärme mit indirekter Gasleitung		20	150.000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	150.000,00 €		3.000,00 €	1,00%	1.500,00 €	0	0,00 €
36		Wärmeleitung + Anschlussgebühren		15	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
37	Anbindung	Strommeßeinrichtung		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
38		Wärmemeßeinrichtung		5	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
39		Demontage / Entsorgung Altanlage		20	428.030,00 €	107.172,00 €	107.172,00 €	0,00 €	107.172,00 €	0,00 €	107.172,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
40		Baukosten/Gebäude		50	100.000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		1.000,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
41		Grundstück		30	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
42		Leistungen nach HOAI		20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
43				20	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €		0,00 €	0,00%	0,00 €	0	0,00 €
44		BKZ (aus Vorgabe)		20	1.627.706,28 €	107.172,00 €	107.172,00 €	0,00 €	107.172,00 €	0,00 €	417.172,00 €		11.990,40 €	Summe Wertung	Summe Bedienung	0,00 €	

Abbildung 2.13: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: VDI 2067



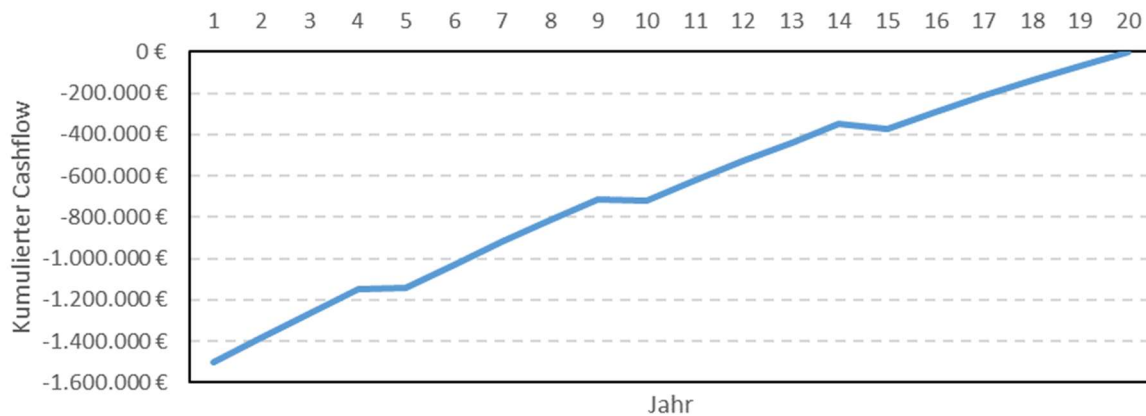
In Bereich AG2-AM33 in Abbildung 2.14 wird die Möglichkeit geboten, die entstehenden Kosten und Erträge über 20 Jahre auf entweder den Arbeitspreis bzw. Grundpreis über eine Preisgleitformel aufzuteilen. In Spalte AG wird festgelegt, ob der jeweilige Wert in der Betrachtung berücksichtigt wird oder nicht. In Spalte AI kann bestimmt werden, wie die Kosten auf den Arbeitspreis bzw. Grundpreis aufgeteilt werden sollen. Es lassen sich zwar beliebige Prozentsätze einstellen, gängiger Weise wird 100 % oder 0 % eingestellt. Die auf den Arbeitspreis bezogenen Kosten geteilt durch alle in dem betrachteten Zeitraum (20 Jahre) bezogenen Kilowattstunden ergeben einen über den gesamten Zeitraum fixen kostendeckenden Arbeitspreis (Zelle AJ33). In der Zelle AM33 wird der Grundpreis berechnet, der sich über die Gesamtkosten in Zelle AM31 geteilt durch den betrachteten Zeitraum (20 Jahre) und geteilt durch die Leistung der Wärmerzeuger (Summe aus Erzeuger 1, Erzeuger 2 und Spitzenlast) ergibt.

	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM
1		<b>Preisgleitformel - Vorschlagswerte</b>					
2	Faktor	Gesamt	Ermittlung Arbeitspreis			Ermittlung Grundpreis	
3	1	1.949.224 €	0%	0 €	= Kapitalkosten	100%	1.949.224 €
4	1	0 €	0%	0 €	= Förderung	100%	0 €
5	1	0 €	100%	0 €	= Arbeitspreis Gas, gesamt	0%	0 €
6	1	0 €	0%	0 €	= Leistungspreis Gas, gesamt	100%	0 €
7	1		100%	0 €		0%	0 €
8	1		100%	0 €		0%	0 €
9	1	697.449 €	100%	697.449 €	= Biomasse AP	0%	0 €
10	1	315.628 €	0%	0 €	= Instandhaltung	100%	315.628 €
11	1	254.884 €	0%	0 €	= Wartung	100%	254.884 €
12	1	0 €	0%	0 €	= Betriebsführung	100%	0 €
13	1	2.430 €	0%	0 €	= Kaminkehrergebühr	100%	2.430 €
14	1	6.074 €	0%	0 €	= Versicherung	100%	6.074 €
15	1	0 €	100%	0 €	= Strom BHKW Einspeisung Tarif-EEX	0%	0 €
16	1	0 €	100%	0 €	= Strom BHKW Einspeisezuschuss KWKG	0%	0 €
17	1	0 €	100%	0 €	= Strom BHKW Eigenverbrauchszuschuss KWKG	0%	0 €
18	1	0 €	100%	0 €	= Strom PV Einspeisungszuschuss EEG	0%	0 €
19	1		100%	0 €		0%	0 €
20	1		100%	0 €		0%	0 €
21	1		100%	0 €		0%	0 €
22	1	4.233.741 €	100%	4.233.741 €	= Netzbezugskosten	0%	0 €
23	1	0 €	100%	0 €	= Strom Bewohner	0%	0 €
24	1	0 €	100%	0 €	= Strom Grundpreis Einnahmen	0%	0 €
25	1	1.895 €	100%	1.895 €	= Strom Grundpreis Ausgaben	0%	0 €
26	1	0 €	100%	0 €	= EEG-Umlage BHKW	0%	0 €
27	1	0 €	100%	0 €	= EEG-Umlage PV	0%	0 €
28	1		100%	0 €	= EEG-Umlage Batterie-BHKW	0%	0 €
29	1		100%	0 €	= EEG-Umlage Batterie-PV	0%	0 €
30	1	0 €	100%	0 €	= EnergieSt.R	0%	0 €
31		7.461.326 €		4.933.086 €	= Summe		2.528.240 €
32							
33		kostendeckender AP		110,86 €/MWh <sub>th</sub>		GPO =	140,15 €/kW <sub>th</sub>

Abbildung 2.14: Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Preisgleitformel

Abbildung 2.15 zeigt die grafische Darstellung des kumulierten Cashflows bei einem kostendeckenden Arbeitspreis, d. h. Rendite gleich 0 %. Zu Beginn startet der Cashflow tief im negativen Bereich (Startinvestitionen). Über die Jahre sind Reinvestitionen notwendig, die über die VDI 2067 in Abbildung 2.13 vorgegeben werden (Knicke in Abbildung 2.15 und Abbildung 2.17). Am Ende zahlt sich das Projekt bei einem kostendeckenden Arbeitspreis ab. Hier beträgt die Amortisationszeit gleich Betrachtungszeitraum, d. h. 20 Jahre.



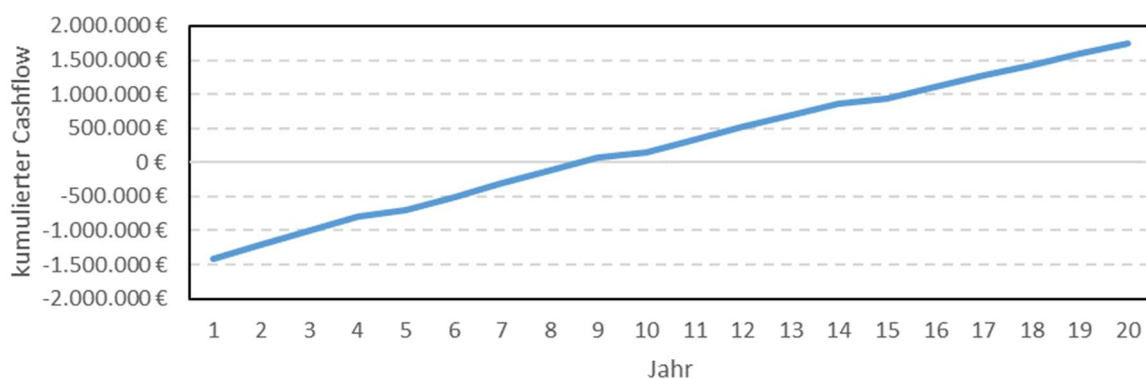


**Abbildung 2.15:** Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Grafische Darstellung des kumulierten Cashflows bei Rendite 0% bzw. kostendeckenden Arbeitspreis

Projekte werden mit einer gewissen Renditeerwartung betrieben. Daher kann ein angepasster Arbeitspreis in Zelle AJ35 eingegeben werden, auf Basis dessen ein interner Zinsfuß berechnet wird (s. Abbildung 2.16). In Abbildung 2.17 wird der kumulierte Cashflow gezeigt, wenn die Rendite wie Abbildung 2.16 über den Arbeitspreis angepasst ist. Im Jahr beginnt dieser ebenso wie in Abbildung 2.15 im Minus, erreicht aber am Ende der Laufzeit aufgrund der Rendite, die durch den Arbeitspreis angepasst werden kann, einen Wert im Positiven. Eine Amortisationsdauer, welche grundsätzlich der Überschreitung der Nulllinie entspricht, wird nicht angegeben, da aufgrund Reinvestitionen etc. mehr als eine Überschreitung der Nulllinie vorkommen kann.

	AG	AH	AI	AJ
35	angepasster Arbeitspreis			150,00 €/MWh_th
36				
37	Interner Zins			8,9%

**Abbildung 2.16:** Angepasster Arbeitspreis und daraus resultierende Rendite



**Abbildung 2.17:** Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeit“: Grafische Darstellung des kumulierten Cashflows bei Rendite 8,9 % bzw. angepassten Arbeitspreis

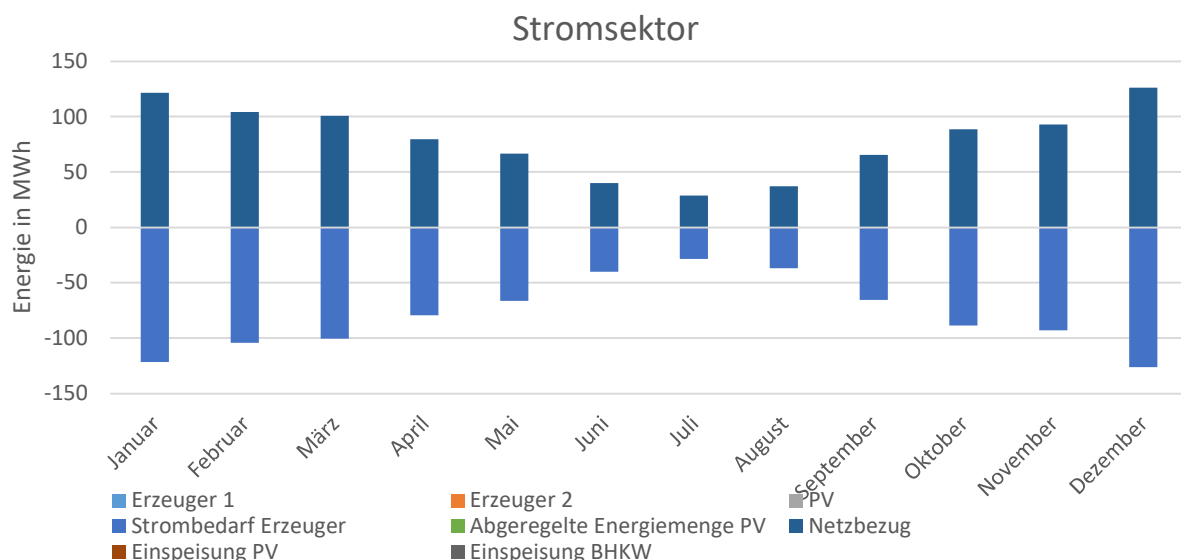
In den Zellen AH42-AK49 werden die Kosten eines Bewohners übersichtlich dargestellt. Um den Stromsektor auch abzudecken, können in Zelle AJ45 und AJ47 der Arbeits- und Grundpreis für Strom eingegeben werden.

## 2.5 Auswertung

Sind alle Daten sowohl im Tabellenblatt „Energetisch“ als auch „Wirtschaftlichkeit“ eingegeben (orangen Felder), kann das Projekt ausgewertet werden. Eine Auswertung der Daten ist grundsätzlich dem Benutzer überlassen. Dieser kann beliebige Daten für Grafiken oder zur Weiterverarbeitung verwenden. Die in diesem Abschnitt gezeigten Abbildungen sind voreingestellt und werden daher kurz beschrieben.

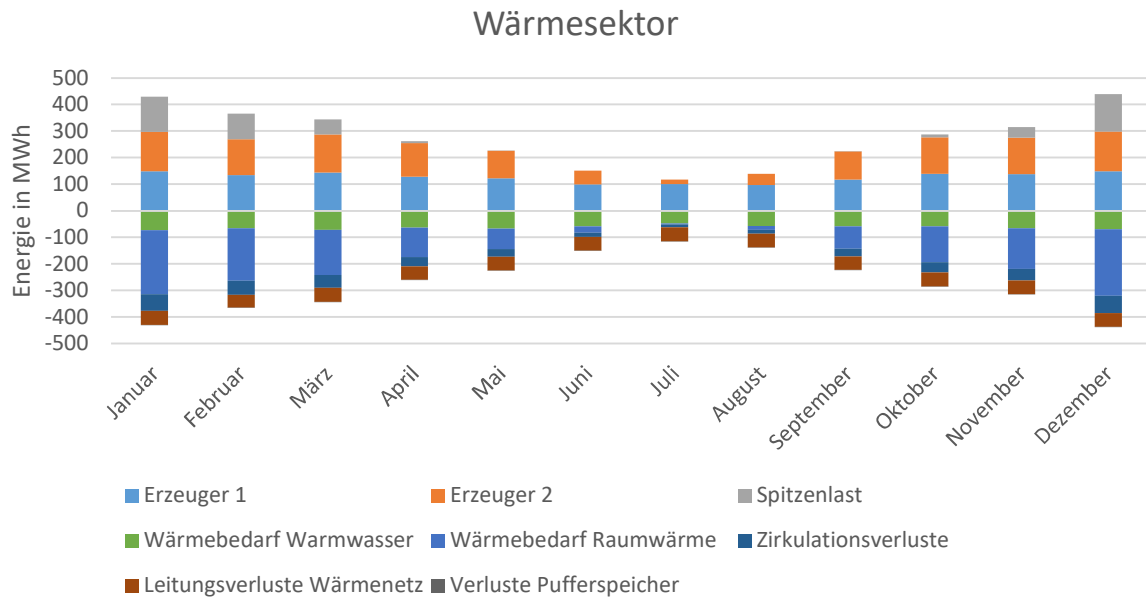
### 2.5.1 Tabellenblatt „Monatlich\_Energetisch“

Im Tabellenblatt „Monatlich\_Energetisch“ werden für eine Zeitreihenauswertung alle Verbräuche und Erzeugungen monatsweise aufgelistet. Vorgegeben sind dabei zwei Diagramme, einmal für den Stromsektor und einmal für den Wärmesektor. Positiv dargestellt ist jeweils der Bedarf, negativ, wie dieser Bedarf gedeckt wird. Erzeuger 1 und 2 entsprechen dabei den beiden Wärmeerzeuger (in dem Beispiel in Abbildung 2.18 sind dies Wärmepumpen). Zudem ist in diesem Beispiel keine PV-Anlage installiert, weshalb sich die Auswertung des Stromsektors nur auf den Strombedarf der Wärmepumpen und die Deckung über den Netzbezug reduziert.



**Abbildung 2.18:** Tabellenblatt „Monatlich\_Energetisch“: Grafische Auswertung des Stromsektors

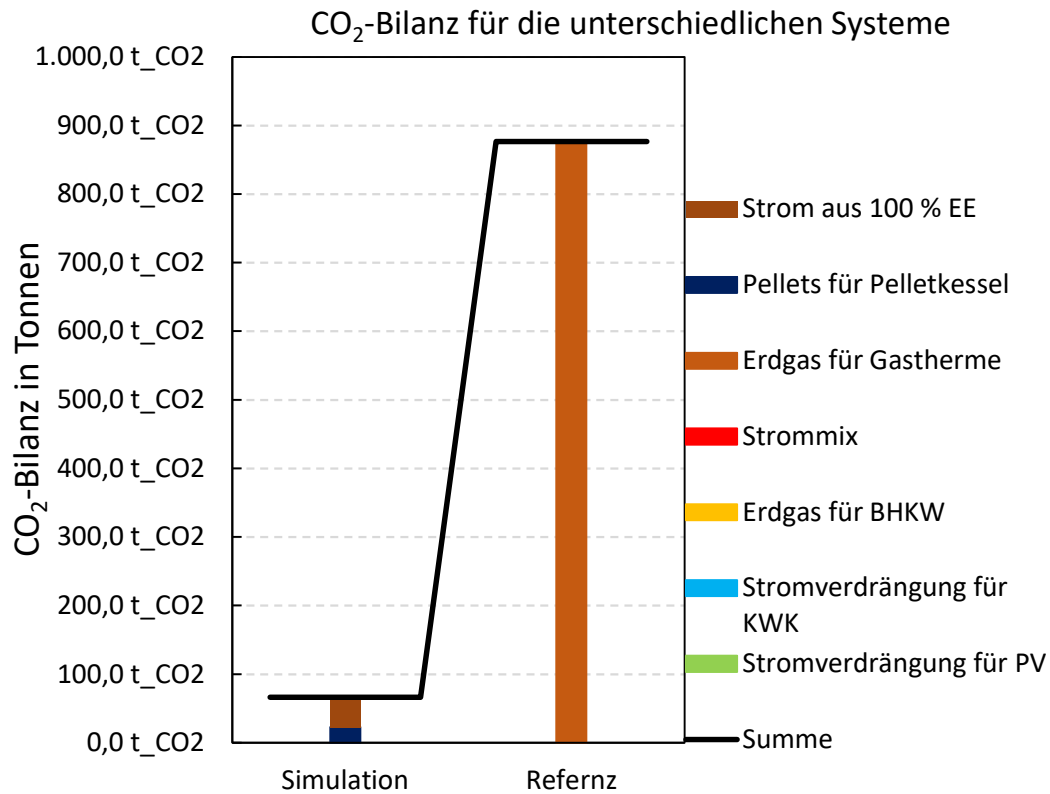
In Abbildung 2.19 wird der Wärmesektor näher betrachtet. Im positiven Bereich ist die Erzeugung der Wärme vor Ort. Im negativen Bereich – deckungsgleich – wird der Bedarf abgebildet. Dieser wird durch die jeweiligen Verluste ergänzt. Es stehen aber weitere vorgefertigte Abbildungen zur Verfügung, z. B. eine Übersicht über die Betriebsstunden der einzelnen Anlagen.



**Abbildung 2.19:** Tabellenblatt „Monatlich\_Energetisch“: Grafische Auswertung des Wärmesektors

## 2.5.2 Tabellenblatt „Ökobilanz“

Da wir mit der Energiewende und dem Klimawandel eine der größten Herausforderungen unserer Zeit zu bestehen haben, ist aufgrund der großen Auswirkung der Wärmeversorgung auf den ökologischen Fußabdruck einer Person eine ökologische Betrachtung nicht zu vernachlässigen. Hierfür werden die Jahres-Ergebnisse aus der Simulation in Bezug auf den Primärenergiefaktor, der CO<sub>2</sub>-Bilanz und die erneuerbare Wärmemenge ausgewertet. Diese dienen zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gesamtprojektes, des Primärenergiefaktors oder des Anteils erneuerbarer Energien an der Wärme- und Stromversorgung (s. Abbildung 2.21). Wie bereits mit den energetischen Daten ist es dem Benutzer überlassen, welche er für eine Präsentation weiterbenutzen möchte. Abbildung 2.20 wird ihm ein Vorschlag für die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegeben. Hier wird das eingestellte System mit einem Referenzszenario verglichen, welches ebenfalls die Wärme deckt, nur aber mit einer Gastherme als einzigen Energieerzeuger. Wird z. B. eine BHKW oder eine PV-Anlage verwendet, kann die Gesamtsumme auch negativ werden, da für die Einspeisung von Strom grauer Strom im Netz verdrängt wird, der derzeit mit 489 g/kWh zu Buche schlägt. Dem Benutzer sollte aber bewusst sein, dass dies nur eine Momentaufnahme ist und in Zukunft geringere Stromverdrängungsfaktoren anzusetzen sind und deshalb in 10-20 Jahre Systeme, die heute nachhaltig erscheinen, nicht mehr zwingend nachhaltig sind.



**Abbildung 2.20:** Tabellenblatt „Ökologie“: Grafische Auswertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Abbildung 2.21 zeigt eine Übersicht über das Tabellenblatt „Auswertung\_Ökobilanz“, in dem in den Zellen B1-I33 die Berechnungen zur Ökologie angepasst werden können. Die Emissionswerte von Strom sind die Werte für 2017. Sind neuere bekannt können diese angepasst werden.

	B	C	D	E	F	G	H	I
▲					Simulation			
3								
4	Bilanzraum zugeführt	Primärenergiefaktor	CO2-Bilanz	Energiemenge	CO2-Emission	Anteil Wärmeerzeugung	Energiemenge	Referenz CO2-Emission
5	Erdgas für BHKW	1,1	0,239 kg/kWh	0 kWh/a	0,0 t_CO2	0,0%	-	-
6	Biomethan für BHKW	0,5	0,170 kg/kWh	0 kWh/a	0,0 t_CO2	0,0%	-	-
7	Erdgas für Gastherme	1,1	0,239 kg/kWh	0 kWh/a	0,0 t_CO2	0,0%	3.689.909 kWh/a	881,9 t_CO2
8	Biomethan für Gastherme	0,5	0,170 kg/kWh	0 kWh/a	0,0 t_CO2	0,0%	-	-
9	Pellets für Pelletkessel	0,2	0,042 kg/kWh	652.380 kWh/a	27,4 t_CO2	17,7%	-	-
10	Strommix	1,8	0,489 kg/kWh	0 kWh/a	0,0 t_CO2	0,0%	-	-
11	Strom aus 100 % EE	0,1	0,046 kg/kWh	917.089 kWh/a	42,2 t_CO2	85,2%	-	-
12	Innerhalb Bilanzraum		CO2-Bilanz	Energiemenge	CO2-Emission		Energiemenge	CO2-Emission
13	Strom aus PV Direktverbrauch	0	0,000 kg/kWh	0 kWh/a	0,0 t_CO2	0,0%	nicht nötig	-
14	Strom aus BHKW Direktverbrauch	0	0,000 kg/kWh	0 kWh/a	0,0 t_CO2	0,0%	fällt aus Berechnung	-
15	Bilanzraum abgeführt		CO2-Bilanz	Energiemenge	CO2-Emission		Energiemenge	CO2-Emission
16	Stromverdrängung für KWK	2,8	-0,489 kg/kWh	0 kWh/a	0,0 t_CO2		-	-
17	Stromverdrängung für PV	1,8	-0,489 kg/kWh	0 kWh/a	0,0 t_CO2		0 kWh/a	0,0 t_CO2
18	Wärmesektor		CO2-Bilanz	Energiemenge	CO2-Emission		Energiemenge	CO2-Emission
19	Abgerechnete Wärme	-	-	2.669.917 kWh/a	69,6 t_CO2	102,9%	2.669.917 kWh/a	881,9 t_CO2
20							Summe	
21								
22								
23								
24				Primärenergiefaktor Wärmeversorgungssystem	Ist		Berechnet	Ist
25				0,08	0,08		1,52	1,52
26								
27				Flex-System				Carnotherm
28	Strom Direktverbrauch			0 kWh/a				0 kWh/a
29	Strom Bedarf gesamt			917.089 kWh/a				0 kWh/a
30	Stromerzeugung gesamt			0 kWh/a				0 kWh/a
31	Netzeinspeisung			0 kWh/a				0 kWh/a
32	Autarkiegrad			0,0%				0,0%
33	Eigennutzungsgrad			0,0%				0,0%

Abbildung 2.21: Tabellenblatt „Ökologie“: Auswertung nach CO<sub>2</sub>-Emissionen, Primärenergiefaktor und Anteil erneuerbarer Energien

## 2.6 Tabellenblatt „Solver“

Im Tabellenblatt „Solver“ kann der Excel-interne Solver verwendet werden, um gewisse Parameter automatisch abändern zu lassen und so einen Zielwert zu minimieren. Minimiert wird im eingestellten Planungstool auf die Summe aus Arbeitspreis (AP) und Grundpreis (GP) des Tabellenblattes „Wirtschaftlichkeit“.

Die jeweiligen abzuändernden Parameter sind in den Zellen H3 bis H10 ersichtlich. Zuvor können obere und untere Grenzen für die jeweiligen Parameter eingestellt werden, um den Suchbereich durch den Solver bereits im Voraus einzuschränken.

Weiteren können zusätzliche Nebenbedingungen angegeben werden, um so die automatische Dimensionierung mit weiteren Randparametern einzuschränken.

Um den Solver zu aktivieren ist vor Nutzung das entsprechende Plugin in Excel zu aktivieren.

