

Thermos-Rechnungstool

Erläuterungen zum Berechnungstool

Stefan Frei
BSc. FHO in Energie- und Umwelttechnik

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

1 Allgemeines

Das vorliegende Excel-Tool wurde am Institut für Energiesysteme IES an der Interstaatlichen Hochschule für Technik Buchs NTB entwickelt.

Die Berechnungen basieren auf realen Messdaten im Labor und im Feld. Aus ausgewählten Messpunkten wurden Näherungsformeln entwickelt, welche mit guter Genauigkeit das Verhalten des Systems über einen Jahreslauf berechnen. Näherungsformeln mit gewissen Kompromissen waren nötig, um ein bedienerfreundliches Tool aufzubauen. Vergleiche mit neueren Messdaten aus realisierten Anlagen bestätigen realitätsnahe Ergebnisse.

Bitte beachten Sie, dass dieses Tool lediglich eine schlank gehaltene Version ist, welche mit hinterlegten Standardwerten rechnet. Das Thermos-System unterscheidet sich sehr stark vom heutigen Standard für die Warmwasserbereitstellung im Gebäudebau und ist sehr flexibel. Es kann je nach Kundenbedürfnis und Umgebung noch angepasst werden. Dadurch lässt sich ohne Komforteinbussen die Effizienz vom Gerät weiter steigern. Nehmen Sie dazu bitte direkt Kontakt mit Swissframe AG auf.

1.1 Systemgrenzen

Heutzutage werden viele verschiedene Systemgrenzen verwendet, um ein Gerät zu beschreiben, vielfach auch mit irreführenden Bezeichnungen. Geräte, welche in unterschiedlichen Systemgrenzen dargestellt werden, können dabei nicht direkt miteinander verglichen werden.

So kann eine Wärmepumpe einen sehr hohen COP aufweisen, aber in Kombination mit einem schlechten Speicher oder Wärmeverteilung, oder nur schon mit falschen Software-Einstellungen wird die Gesamteffizienz trotzdem sehr schlecht ausfallen.

Daher hier eine kurze Erklärung zu verschiedenen Systemgrenzen (siehe auch die nachfolgende Abbildung):

COP (coefficient of performance - Leistungszahl)

Effizienz eines Gerätes in einem bestimmten Arbeitspunkt, d.h. fixierte Quellen- und Senktemperatur. Diese wird unter Laborbedingungen gemessen und Geräte danach zertifiziert. Dies inkludiert nur den Energieaufwand für das Gerät selber (meist der Kompressor), ohne Steuerung und allfällig notwendige Pumpen quellen- oder senkenseitig. Mit dem COP können lediglich zwei Geräte im gleichen Betriebspunkt verglichen werden, eine Aussage über die Effizienz im Betrieb mit wechselnden Bedingungen ist nur beschränkt möglich.

JAZ (Jahresarbeitszahl):

Die gemittelte Effizienz einer Wärmepumpe über ein Jahr, inklusive der quellenseitigen Armatur (z.B. Erdsondenpumpe oder Ventilator einer Luft-Wasser-Wärmepumpe). Diese wird meist im Feld bestimmt und ist somit bereits von der jeweiligen Umgebung (Temperatur) abhängig.

WNG (Wärmenutzungsgrad):

Die JAZ, erweitert um die senkenseitige Armatur bis zum Speicher und einem allfälligen Elektroersatz.

SNG (Systemnutzungsgrad):

Der WNG, erweitert um den Speicher und die Wärmeverteilung im Gebäude. Dies ist also die Gesamteffizienz eines Systems und beinhaltet jegliche Bauteile von der Wärmeerzeugung bis zum Bezug am Wasserhahn. Somit sind im SNG auch der Speicher mit dessen Verlusten und die elektrische Nachheizung bereits eingerechnet.

Das Thermos-System ist als Komplett-Einheit konzipiert, wo WP, Speicher und elektrische Nachheizung in einem Gerät kombiniert sind. Logische Konsequenz daraus ist, dass die Gesamteffizienz, also der SNG als die Grösse mit der meisten Aussagekraft angesehen wird. Jedoch ist der SNG auch stark abhängig vom jeweiligen Zapfprofil. Dies gilt zwar für alle Systeme, wirkt sich jedoch beim vergleichsweise kleinen Speicher im Thermos stärker aus.

Nachteil vom SNG ist, dass sich diese Zahl vom Thermos nicht direkt mit anderen Systemen vergleichen lässt, da diese erst auf der Baustelle aus mehreren unabhängigen Komponenten zusammengesetzt werden.

2 Berechnungsgrundlagen

Das Berechnungstool ist gemäss Absprache als Excel-Tool umgesetzt worden, um eine einfache Bedienbarkeit, langfristige Funktion und auch spätere Anpassungen einfach zu ermöglichen. Es rechnet basierend auf Realdaten einen Jahreslauf durch.

Gerechnet wird mit einer stündlichen Auflösung. Das heisst, dass Excel das dynamische Verhalten jeweils während einer ganzen Stunde mit den Anfangswerten dieser Stunde berechnet. Dadurch ergeben sich zwangsläufig gewisse Fehler, welche jedoch mit entsprechenden Gegenmassnahmen reduziert wurden.

Es wurde die vereinfachende Annahme getroffen, dass der Speicher immer vollständig durchmischt ist. Untersuchungen von Logdaten in bereits umgesetzten Anlagen haben gezeigt, dass dies bei «normalem» Zapfverhalten mit ausreichender Genauigkeit der Realität entspricht. Wird jedoch sehr wenig Wasser bezogen kann sich im Speicher eine Temperaturschichtung einstellen, welche jedoch bereits bei relativ kleinen Bezügen bereits zerstört wird.

2.1 Wärmequelle

Aus der sogenannten Wärmequelle entzieht die Wärmepumpe die thermische Energie, um diese anschliessend auf einer höheren Temperatur an die Senke abzugeben. In dieser Anwendung ist dies der Output aus dem Enthalpie-Wärmetauscher Lüftungseinheit und ist daher von mehreren Grössen abhängig. Als Input werden jedoch lediglich die Aussenluft- und Raumtemperatur verwendet.

Da zu wenig Messdaten mit verlässlichen Feuchtigkeitswerten vorhanden waren, und eine Abbildung über den WRG-WT über unabhängige Daten nicht möglich war, wurde die Betrachtung davon vernachlässigt. Dadurch wird jedoch das Potenzial der Kondensation als gute Wärmequelle ausgeblendet. Das bedeutet auf der einen Seite eine gegenüber der Realität leicht reduzierten Effizienz der Anlage, werden aber auch Abtauvorgänge ausgelassen. Auch wenn das Abtauen im Thermos-System passiv über die Abluft erfolgt (die WP also keine zusätzliche Leistung aufnimmt), fällt dadurch die Wärmepumpe während dem Abtauvorgang aus. Es wird angenommen, dass sich diese beiden Effekte gegenseitig in etwa ausgleichen.

Auch wurden verschiedene Betriebszustände vom Lüftungsgerät vernachlässigt.

2.2 Speicherverluste

Speicherverluste wurden vom Institut für Solartechnik SPF der Hochschule für Technik Rapperswil HSR bestimmt.

2.3 Frischwassertemperatur

Die Frischwassertemperatur variiert im jahreszeitlichen Verlauf. Da keine verlässlichen Messdaten von verschiedenen Standorten verfügbar waren, wurde die Temperatur auf 10°C festgelegt. An den meisten Standorten in der Schweiz sinkt die Temperatur nicht unter diesen Wert, sondern liegt deutlich darüber. Durch eine höhere Frischwassertemperatur kühlt der Speicher bei WW-Bezug weniger aus und das System muss weniger häufig laden. Die Betriebszeiten sinken also mit höheren Frischwassertemperaturen.

2.4 Arbeitszahlen

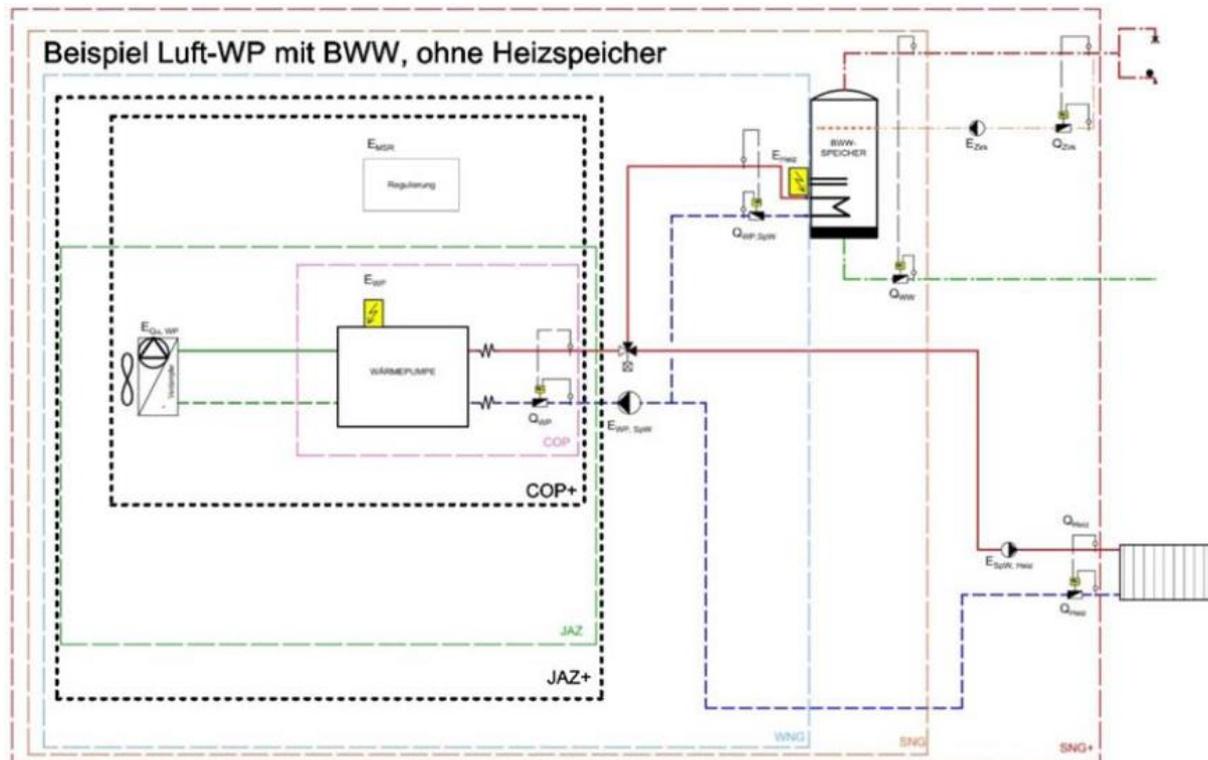


Abbildung 1: Definition Arbeitszahlen. Quelle: BFE

2.5 Meteodaten

Die Wetterdaten stammen von MeteoSchweiz. Es wurde der Parameter «Lufttemperatur 2m über Boden; Stundenmittel» verwendet, von einem dem Durchschnitt von 1980-2010 entsprechenden Jahr. Der Übersichtlichkeit halber wurde eine deutlich reduzierte Anzahl Messstationen in die Auswahl aufgenommen, welche jedoch die gesamte Schweiz abdeckt.

2.6 Zapfprofile

Um das System unter verschiedenen Nutzerverhalten zu simulieren, können verschiedene Zapfprofile ausgewählt werden. Zur Auswahl stehen die Norm-Nutzungsprofile aus der SIA385/2, sowie aus der EN16147.

Die Bezugsdaten der EN16147 sind als Energiewert eingetragen. Diese wurden mit einer konstanten Temperatur von 60°C (und $T_{\text{FW}} = 10^\circ\text{C}$) in Volumenwerte umgerechnet, gemäss Angaben in der Norm.

Die Bezugsdaten der SIA385/2 sind hingegen stündlich als prozentuale Anteile des Tagesverbrauchs angegeben. Daher muss dazu der tägliche Warmwasserbedarf separat als Input eingetragen werden.

Zudem wurden mittels *DHWcalc* mehrere «reale» Zapfprofile erstellt. *DHWcalc* ist ein «Programm zur Generierung von Trinkwasser-Zapfprofilen auf statistischer Basis», entwickelt am Institut für thermische Energietechnik der Universität Kassel. Eingaben zum Wasserbezugs- und Streuverhalten werden mittels statistischer Methoden aus realen Messungen zu einmaligen Zapfprofilen beliebiger Länge verarbeitet. Da die Streuungen auch einen Zufallsfaktor aufweisen, werden auch bei identischen Eingaben immer leicht unterschiedliche Zapfprofile generiert.

Die Zapfprofile wurden jeweils mit einer fiktiven Bezugsmenge von 100L/d erstellt, um wie bei den Daten der SIA385/2 eine prozentuale Angabe zu erhalten.

Es wurden 3 Nutzungsprofile definiert: Einzelperson, Zweipersonenhaushalt und Hotelnutzung. Einzelperson-Profil entspricht eher einem «Morgenduscher»-Typ. Beim Zweipersonenhaushalt wurden 2 Nutzungskategorien definiert, welche vom Programm anschliessend überlagert werden, wobei die zweite Kategorie im Vergleich zur ersten etwas mehr Wasserbezug aufweist. In der Hotelnutzung wurde der Verbrauch tagsüber stark reduziert, wodurch eine intensivere Nutzung morgens und abends resultiert.

3 Argumente für Thermos-System

Auf den ersten Blick sehen die Zahlen vom Thermos-System, verglichen mit anderen Systemen, unter gewissen Umständen nicht sehr gut aus. Um eine qualifizierte Aussage zu treffen, müssen jedoch gewisse Punkte beachtet werden. Allen voran die zuvor erwähnten Systemgrenzen. Auf diese wird hier nicht mehr weiter eingegangen.

3.1 COP verschiedener WW-Bereitungssysteme

Am Wärmepumpentestzentrum in Buchs wurden Untersuchungen zur Effizienz von Elektro- und WP-Boilern gemacht, wobei damit zentrale Geräte im Keller eines Gebäudes gemeint sind. Folgende Grafik soll aufzeigen, dass Elektroboiler -entgegen der weit verbreiteten Meinung- nicht einen Wirkungsgrad von 100% aufweisen. Zwar wird die Inputenergie vollständig in Wärme umgewandelt, jedoch fallen auch bei diesen Geräten Wärme- und Verteilverluste ins Gewicht, je kleiner die Bezugsmenge, desto stärker. Dies gilt auch für entsprechende WP-Systeme. Gemäss einer Studie vom NTB betragen die Verluste in den Verteilleitungen (durch Ausstossverluste, Warmhaltung etc.) in realen Anlagen im Schnitt ca. 17%.

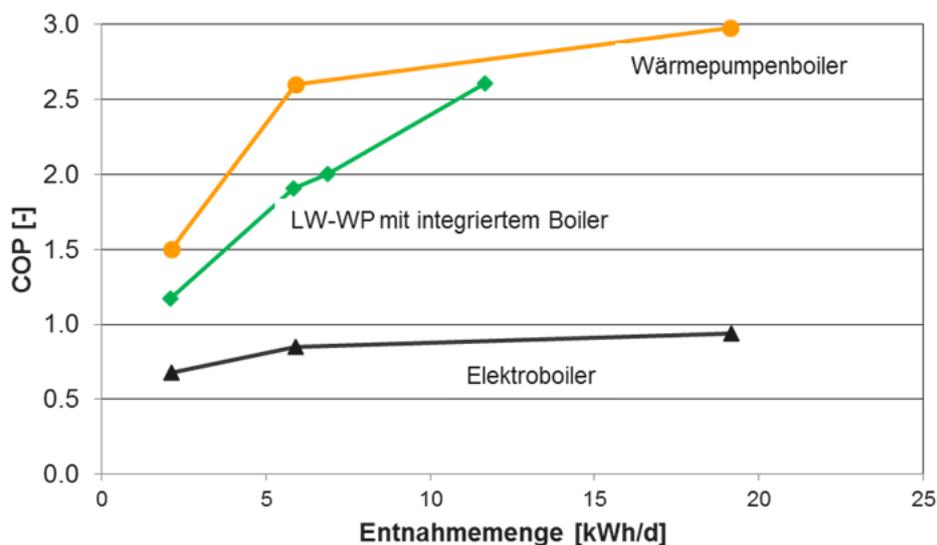


Abbildung 2: COP in Abhängigkeit der Bezugsmenge. Quelle WPZ

Zwar ist auch das Thermos-System nicht frei von Verlusten. Durch die gezwungen flache Geometrie des Speichers steigt das Verhältnis zwischen Speichervolumen und –oberfläche und bietet so eine grössere Verlustfläche. Durch die kurzen Leitungen vom Thermos-System können Verteilverluste jedoch nahezu eliminiert werden.

3.2 Arbeitszahlen im Feld

Die NTB führt im Auftrag vom BFE Feldmessungen von WP-Systemen durch, d.h. dass zufällig bestimmte Neu-Installationen mit erweiterter Messinfrastruktur ausgestattet wurden und der Betrieb und die Effizienz im gewöhnlichen Alltag ausgewertet werden. Der gesamte Bericht findet sich unter folgendem Link:

https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen/_jcr_content/par/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZGUvcHVib-GljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvOTU3NS5wZGY=.pdf

Die nachfolgende Grafik findet sich auf Seite 17. Sie zeigt WNG und SNG von Luft/Wasser-WP-Anlagen im Heiz- und TWW-Betrieb. Es zeigt sich dabei, dass der SNG für den Warmwasserbetrieb in der Praxis im Bereich von 1 bis 2.5 liegt.

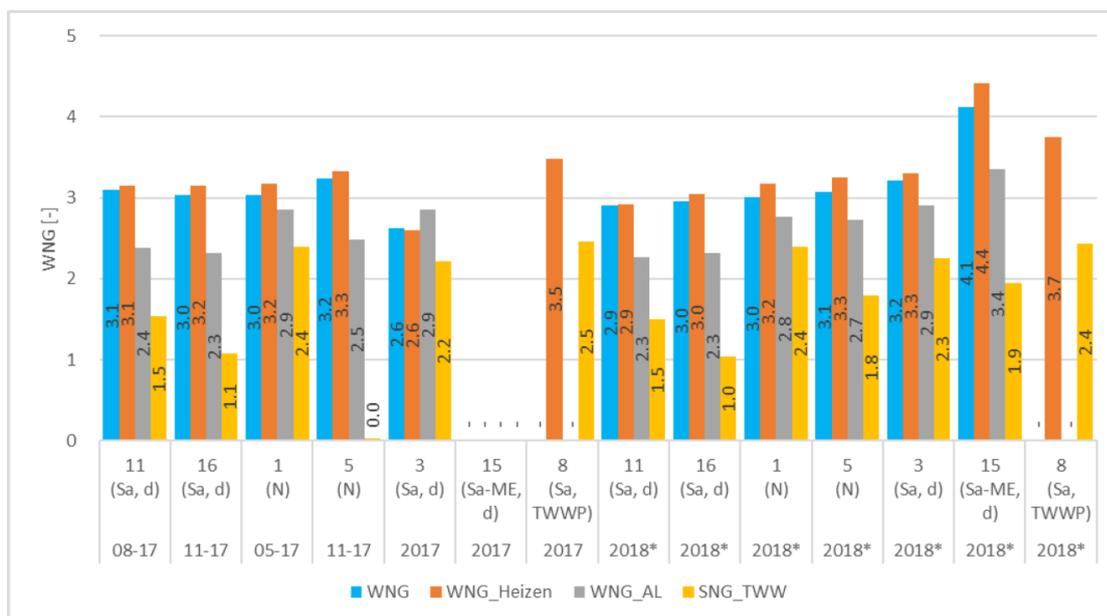


Abbildung 3: Arbeitszahlen von Luft/Wasser-WP, (Quelle: WP-Feldmessungen, Jahresbericht 2018)

3.3 Nicht quantifizierbare Vorteile

Das Thermos-System bietet neben der effizienten Nutzung von «Energieresten», welche nicht durch die WRG zurückgewonnen werden konnten noch weitere Vorteile. Derzeit wurden diese Größen nicht quantifiziert und dienen lediglich als Input.

- Kurze Leitungen und damit weniger Ausstossvolumen und kürzere Wartezeit, bis warmes Wasser austritt
- Falls Thermos im Zuge eines Umbau neu eingesetzt wird: neue kontrollierte Wohnraumlüftung und damit Komfortsteigerung
- Platzersparnis im Keller/ Heizungsraum durch Wegfall des Zentralspeichers bei gleichzeitig minimen Platzverlust in den Nasszellen, wo das System eingebaut wird.
- Im Mietverhältnis: keine separate Abrechnung von Warmwasserbezügen, da das System am gleichen Stromzähler angeschlossen wird
- Bei längerer Abwesenheit könnte das System ggf. einfach abgeschaltet werden, um Verluste ganz zu eliminieren. Im MFH werden andere Parteien dadurch nicht beeinflusst.
- Interessierte Nutzer könnten direkt selber bestimmen, welche Temperaturen sie fahren möchten. Je nach Nutzungsverhalten kann die Effizienz dadurch noch weiter gesteigert werden. Dies könnte künftig z.B. auch eine intelligente Steuerung übernehmen, welche das Nutzungsverhalten vor Ort ständig analysiert.