



EnergiePlan GmbH
Gebäude- und Umwelttechnik

Abschlussbericht der
Kindertagesstätte
Buggingen Seefeld

Analyse des Wärmepumpenbetriebs
und
Beschreibung der Raumluftechnischen
Anlagen

Gefördert durch den Innovationsfonds der
Badenova

Kita Seefeldten

Auftraggeber: Gemeinde Buggingen
Hauptstrasse 31
79426 Buggingen

Auftragnehmer: ist EnergiePlan GmbH
Werderstraße 34
79379 Müllheim
Tel.: 07631/93637-0
Fax: 07631/93637-11

Stand: März 2016



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einführung und Aufgabenstellung.....	2
2 Projektbeschreibung und Zielsetzung	3
3 Erläuterung Heizungsschemata	4
4 Arbeitsweise Wärmeerzeuger Sole/Wasser	
Wärmepumpe	5
4.1 Wärmeaufnahme aus der Umwelt.....	5
4.2 Steigerung des Temperatur Niveaus	5
4.3 Nutzwärmeabgabe	6
4.4 Expansion	6
4.5 Effektivität	6
5 Regelbeschrieb Raumluftechnische Anlage	7
5.1 Kindergarten	7
5.2 Kleinkinder	8
6 Einblick in die Auswertung.....	10
7 Berechnung	11
8 Bewertung/Fazit.....	13

1 Einführung und Aufgabenstellung

Hinsichtlich des immer wichtiger werdenden Klimaschutzes, hat sich die Gemeinde Buggingen beim Neubau einer Kindertagesstätte für eine Sole/Wasser Wärmepumpe entschieden. Ursprünglich sollte eine Wasser/Wasser Wärmepumpe mit solarer Unterstützung installiert werden. Bei einer Probebohrung wurde leider eine zu geringe Schüttleistung des Brunnes festgestellt, wodurch der Wärmeerzeuger zu einer Sole/Wasser Wärmepumpe geändert werden musste.

Diese Art der Wärmeerzeugung soll einen ressourcenschonenden und kostengünstigen Betrieb mit sich bringen. Die Kindertagesstätte in Buggingen Seefeld wurde im Jahr 2012/13 neu erbaut.



Abbildung 1 Kindertagesstätte Buggingen Seefeld

2 Projektbeschreibung und Zielsetzung

Die Kindertagesstätte in Buggingen Seefeldten ist seit Winter 2013 in Betrieb. Die Tagesstätte verfügt über eine Kapazität von 3 Kleinkindergruppen a 15 Kindern die täglich von Montag - Freitag zwischen 8 und 17 Uhr betreut werden.

Das Gebäude wurde nach den geltenden EnEV-Richtlinien erschlossen und soll damit möglichst ressourcenschonend betrieben werden.

Neben den strengen Forderungen der EnEV werden die Wärmeverluste über transparente Außenbauteile, durch einen minimalen U- Wert, so gering wie möglich gehalten. Mit dieser Maßnahme werden die Forderungen der EnEV deutlich unterschritten. Im Anhang 1 des Berichts, ist der von uns erstellte Energieausweis auf Basis der Energiebedarfsberechnung (Heizung, Warmwasser, Lüftung, eingebaute Beleuchtung) hinterlegt. Am Energieausweis ist die Unterschreitung der EnEV-Richtlinien zu erkennen.

Es gilt über den Heizungsbetrieb eine Heizlast von 28,7 kW abzudecken. Als Hauptwärmeerzeugung ist eine Sole/Wasser Wärmepumpe der Firma Waterkotte Typ DS-5044.3T installiert. Voraussetzung für einen effizienten Betrieb der Heizungsanlage, ist ein Niedertemperatur-Heizungssystem. In der Kindertagesstätte Buggingen Seefeldten ist eine Fußbodenheizung, so wie zwei Lüftungsgeräte mit effektiver Wärmerückgewinnung und einem Heizregister, für die Beheizung der Räume zuständig. Diese Heizungskomponenten arbeiten mit geringen Vorlauftemperaturen, sodass ein theoretisch effizienter Betrieb der Anlage möglich ist.

Über ein elektronisches Monitoring-Verfahren soll die Effizienz der Wärmeerzeugung analysiert und bewertet werden. Die für die Dokumentation benötigten Daten werden über eine online Schnittstelle der vorhandenen Gebäudeleittechnik ausgelesen und an die IST-Energieplan GmbH weitergegeben. Die gewonnenen Datensätze werden von uns analysiert und ausgewertet.

Ziel der Datenauswertung ist der Nachweis für einen wirtschaftlichen Betrieb der verbauten Wärmeerzeugung. Anhand der Analyse können gegebenenfalls Verbesserungsvorschläge zur Effizienzsteigerung der Anlage gemacht werden.

3 Erläuterung Heizungsschemata

Die Wärmeerzeugung erfolgt über eine Sole/Wasser Wärmepumpe der Firma Waterkotte. Das bodenstehende Gerät steht im Technikraum des Obergeschosses, wo sich unter anderem auch die Heizungswasserverteilung befindet.

Der Wärmeerzeuger ist an einen Heizungsverteiler angebunden. Vom Verteiler ausgehend gehen 4 Heizwasserstränge ab. Diese versorgen die Fußbodenheizkreise, die Heizregister der Lüftungsanlagen und die Trinkwarmwasserbereitung. Die Fußbodenheizung hat eine Temperaturspreizung zwischen Vorlauf und Rücklauf von 35/28°C.

Die Trinkwarmwasserbereitung in der Kindertagesstätte erfolgt über 6 Frischwasserstationen, welche im Durchlaufprinzip Trinkwarmwasser erzeugen. Das System der Frischwasserstation hat den Vorteil, dass es ohne Bevorratung von Warmwasser auskommt und damit die Gefahr von einer Legionellenbildung minimiert wird. Das System wird auch „just in time“ System genannt, da es nur bei Bedarf Trinkwarmwasser produziert. Neben den hygienischen Aspekten die ein Frischwassersystem mit sich bringt, konnte durch akribische Planung und Bemessung der Anbindeleitungen, der Wassereinhalt < 3 Liter eingehalten werden. Dies bringt den Vorteil, dass eine Zirkulationsleitung überflüssig wird und damit entfällt. Durch das entfallen dieser Leitung kann eine große Menge an Energie eingespart werden, die durch das „Spazierenfahren“ von warmen Zirkulationswasser verloren gehen würde.

Bevor das Monitoring der Wärmepumpenanlage begonnen hat, wurde zur Steigerung der Effizienz der Anlagenhydraulik, ein zusätzliches Umschaltventil am Verteiler eingebaut. Damit wurde der hohe Temperaturbereich vom niederen Temperaturbereich getrennt.

Das Resultat der Hydraulikänderung ist eine Steigerung der Arbeitszahl um ca. 0,4.

Das Anlagenschemata ist zur Visualisierung im Anhang 2 des Berichts hinterlegt.

4 Arbeitsweise Wärmeerzeuger Sole/Wasser Wärmepumpe

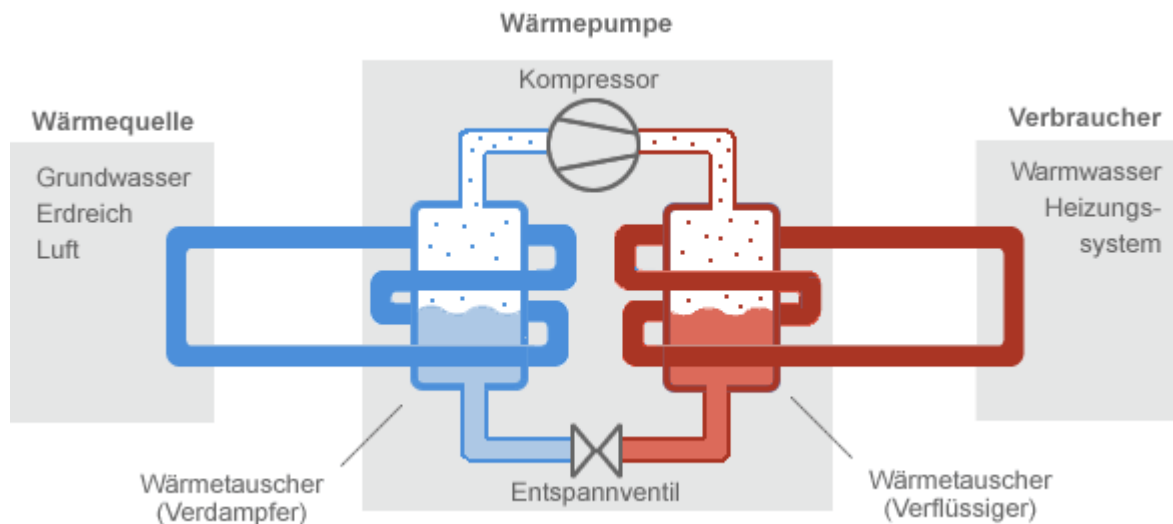


Abbildung 2 Funktionsweise einer Wärmepumpe

4.1 Wärmeaufnahme aus der Umwelt

Zwischen der Sonde und dem Erdreich entsteht eine Wärmeübertragung. Das zirkulierende Solemedium nimmt die Erdwärme auf und gibt Sie über einen Wärmetauscher an das Kältemittel in der Anlage ab. Das Kältemittel besitzt die Eigenschaft bei niedriger Temperatur (ca. -10°C) zu Sieden bzw. zu Verdampfen. Das verdampfte Kältemittel wird in diesem Zustand zum Verdichter der Anlage geführt.

4.2 Steigerung des Temperatur Niveaus

Das verdampfte Kältemittel wird vom Verdichter (Kompressor) angesaugt und verdichtet. Durch die Verdichtung wird der Druck angehoben und die Temperatur des Arbeitsmediums steigt an.

4.3 Nutzwärmeabgabe

Nach der Verdichtung wird das verdampfte Kältemittel unter weiterhin hohem Druck zum Verflüssiger gebracht. Im Verflüssiger kreuzen sich Kältemitteldampfstrom und Heizwasserstrom in einem Wärmeübertrager, wobei das Kältemittel zu kondensieren beginnt und seine Wärme an das Heizwasser abgibt.

4.4 Expansion

Nach der Wärmeübertragung wird das Arbeitsmedium über ein Expansionsorgan entspannt, wobei sich beim Arbeitsmedium der Anfangsdruck und die Anfangstemperatur einstellen. Der Kreislauf ist somit geschlossen und kann weiter fortgeführt werden.

Die nötig mechanische Energie zum Betreiben des Verdichters, wird über einen Elektromotor erzeugt.

4.5 Effektivität

Bei der Wärmepumpennutzung wird der größere Teil der Energie nicht als Antriebsenergie des Verdichters benötigt, sondern wird aus der Umwelt gewonnen und vom Solekreislauf aufgenommen. Diese Behauptung kann durch die Berechnung von Arbeits- und Leistungszahl dargelegt werden.

5 Regelbeschrieb Raumluftechnische Anlage

5.1 Kindergarten

Verbaut wurde eine kompakte zentrale Lüftungsanlage inkl. Wärmerückgewinnung (Kreuzgegenstromwärmetauscher; Anlagenfunktion nur Heizen, freie Kühlung über Nachtlüftung) und Kanalnetz.

Im Erdgeschoss strömt die Zuluft über Drallauslässe und Tellerventile in der Decke in die verschiedenen Bereiche. Die Abluft wird ebenfalls über Drallauslässe und Tellerventile abgesaugt. Im Obergeschoss wird die Zuluft und Abluft über sichtbare Wickelfalzrohre mit eingebauten Lüftungsgittern eingeblasen und wieder abgesaugt.

Es wurden für die Regelung der Lüftungsanlage folgende Zonen definiert:

- Bistro/Küche
- Erdgeschoss Aufenthaltsräume
- Obergeschoss Aufenthaltsräume

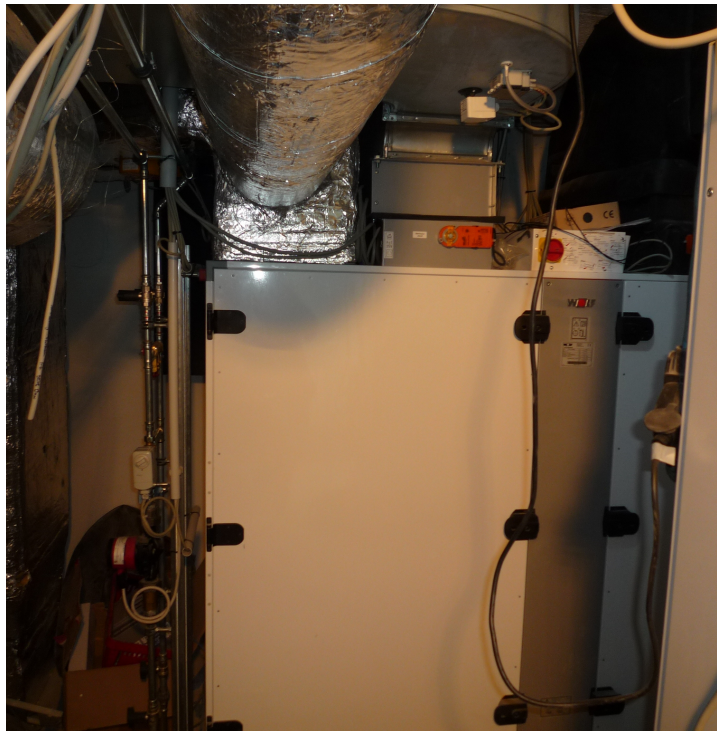


Abbildung 3 RLT- Anlage Kindergarten

Die Regelung der Anlage erfolgt zeitgesteuert und zusätzlich über Co2-Fühler in den Gruppenräumen, wodurch die Luftmenge über Volumenstromregler in den Geschossen verschoben werden kann. Die Fortluft wird über ein Wetterschutzgitter in der Außenwand ausgeblasen. Die Außenluft wird ebenfalls über ein Wetterschutzgitter angesaugt. An den Austritten des Technikraumes wurden Brandschutzklappen installiert.

Die Lüftungsanlage ist mit einem Rauchmelder im Zuluftkanal ausgestattet.

- Volumenstrom Zu-/Abluft: ca. 3000 m³/h (Gleichzeitigkeitsfaktor 0,9)
- Anlagenstandort: Obergeschoss Technikraum

5.2 Kleinkinder

Verbaut wurde hier ebenfalls eine kompakte zentrale Lüftungsanlage inkl. Wärmerückgewinnung (Kreuzgegenstromwärmetauscher; Anlagenfunktion nur Heizen, freie Kühlung über Nachtlüftung) und Kanalnetz.

Im Erdgeschoss strömt die Zuluft über Drallauslässe und Tellerventile in der Decke in die verschiedenen Bereiche. Die Abluft wird ebenfalls über Drallauslässe und Tellerventile abgesaugt. Im Obergeschoss wird die Zuluft und Abluft über sichtbare Wickelfalzrohre mit eingebauten Lüftungsgittern eingepulst und wieder abgesaugt.



Abbildung 4 RLT- Anlage Kleinkinder

Es wurden für die Regelung der Lüftungsanlage folgende Zonen definiert:

- Erdgeschoss Aufenthaltsräume
- Obergeschoss Aufenthaltsräume

Die Regelung der Anlage erfolgt zeitgesteuert und zusätzlich über Co2-Fühler in den Gruppenräumen. Die Fort-/Außenluft wird über eine Lamellenhaube im Dach ausgeblasen sowie angesaugt. An den Austritten des Technikraumes wurden Brandschutzklappen installiert.

Die Lüftungsanlage ist mit einem Rauchmelder im Zuluftkanal ausgestattet.

- Volumenstrom Zu-/Abluft: ca. 1000 m³/h (Gleichzeitigkeitsfaktor 0,9)
- Anlagenstandort: Obergeschoss Materialraum

Bei einer Begehung und über die Ferneinwahl ist bei der RLT- Anlage Kleinkind ein sehr schlechter Wärmerückgewinnungsgrad aufgefallen. Der Fehler lag an der Stellung der Bypassklappe, diese war auf „geöffnet“ und konnte nicht wie geplant über die Gebäudeleittechnik angesteuert werden. Der Fehler wurde nach der Erkennung umgehend behoben. Die Anlage arbeitet jetzt mit einer funktionierenden Bypassklappe, damit ein höchst möglicher Wärmerückgewinnungsgrad erzielt werden kann. Dem Betreiber wird empfohlen, die Anlage über die vorhandene Gebäudeautomation regelmäßig auf Unstimmigkeiten der Parameter zu überprüfen.

6 Einblick in die Auswertung

Berechnung der Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die Jahresarbeitszahl (Beta) einer Wärmepumpenanlage ist der Quotient aus, der von der Wärmepumpenanlage abgegebenen Jahresnutzwärme gemessen in [kWh] und der gesamten von der Wärmepumpenanlage aufgenommenen elektrischen Jahresarbeit ebenfalls gemessen in [kWh].

Die Systemgrenzen der Wärmeerzeugeranlage sind so festgelegt, dass die Jahresnutzwärme am Ausgang der Wärmepumpe, am Heizungsvorlauf, gemessen wird. Die elektrische Arbeit umfasst die vom Verdichter und die von der Sole Umwälzpumpe aufgenommene elektrische Arbeit.

$$\beta = \frac{Q_{WP}}{W_{el}}$$

Mit:

Q_{wp} = Gesamte von der Wärmepumpe abgegebene Jahresnutzwärme [kWh/a]

W_{el} = Gesamte von der Wärmepumpe aufgenommene elektrische Jahresarbeit [kWh/a]
Beinhaltet die Aufgenommen Arbeit der Sole- Umwälzpumpe und des Kompressors

Die Genauigkeit der Berechnung hängt ab vom gewählten Messintervall der aufgenommenen- und abgegebenen Arbeit. Dieses müsste für eine 100% genaue Berechnung unendlich klein gewählt werden, damit jede Leistungs- Abgabe bzw. Aufnahme erfasst werden kann.

Die verbaute Datenerfassung in der Kindertagesstätte Buggingen- Seefeldten ist in der Lage die Betriebsdaten der Anlage, in 5 Minutenintervallen fortschreibend zu dokumentieren, somit entstehen geringe Abweichungen. Die Auswertung wird dadurch nicht wesentlich beeinflusst.

7 Berechnung

Nachfolgend aufgeführt sind die Ergebnisse der monatlichen Auswertung der Datensätze 2015/2016.

	W _{el} :	Q _{wp} :	Beta
Januar	9958,1	40743,6	4,09
Februar	18328,0	75474,9	4,12
März	10876,3	46094,1	4,24
April	6462,7	27592,9	4,27
Mai	2718,9	11354,8	4,18
Juni	1728,6	6827,8	3,95
Juli	1368,4	5365,6	3,92
August	1365,1	5410,4	3,96
September	1983,0	8210,8	4,14
Oktober	5991,2	26176,4	4,37
November	9282,3	40291,2	4,34
Dezember	13290,4	58112,3	4,37
Januar	18816,5	78318	4,16
Februar	15409,7	65054,7	4,22

Tabelle 1 Monatliche Betrachtung der Arbeitszahl 2015/2016

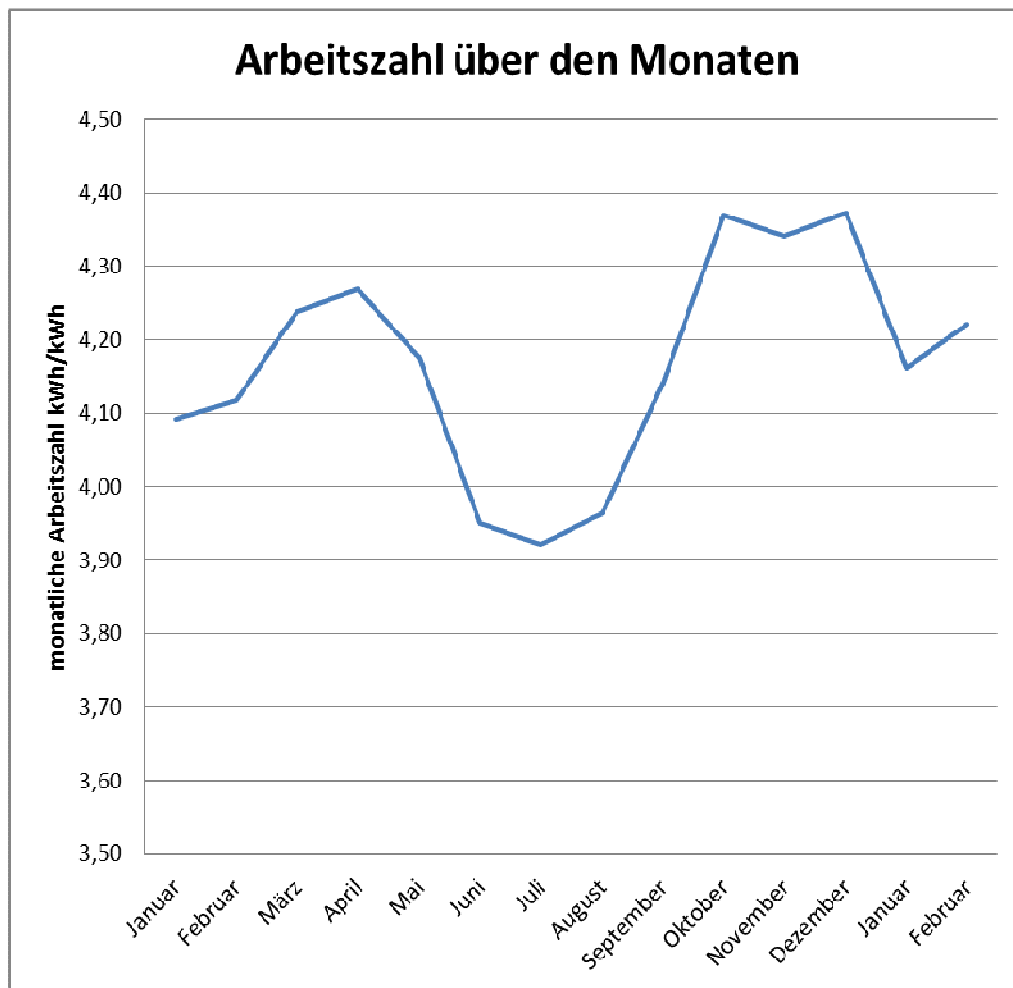


Abbildung 5 Arbeitszahl über den Monaten 2015/2016

8 Bewertung/Fazit

Das Ergebnis aus dem Mittel der monatlichen Arbeitszahlen von Februar 2015 bis Februar 16 ergibt eine Jahresarbeitszahl von 4,17.

Zu Beginn des Monitoringverfahrens wurde ein zusätzliches Umschaltventil zur Verbesserung der Heizungshydraulikeigenschaften verbaut. Vor der Maßnahme, im Jahr 2014, konnte die Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 3,8 aufweisen. Somit wirkt sich das verbaute 3-Wege- Umschaltventil nachweisbar, positiv auf die Effektivität/Funktionalität der Anlage aus.

Am Diagramm zu erkennen ist, dass die Arbeitszahl in den Sommermonaten etwas rückläufig ist.

Dieses Verhalten lässt sich anhand der sinkenden Niedertemperatur- Heizlast der Fußbodenheizung und der Lüftungsheizregister erklären.

Das Heizungssystem benötigt im Winter überwiegend eine große Menge an ca. 30°C warmem Heizungswasser für die Fußbodenheizung, wobei im Verhältnis nur eine geringe Menge an hochtemperiertem Trinkwarmwasser benötigt wird. Das Niedertemperatur- Heizwasser benötigt „wenig“ Leistung um erhitzt zu werden, bei einer hohen Abnahme. Somit ist bei geringem Aufwand ein großer Nutzen vorhanden. Diese Aussage beschreibt die Leistungszahl der Anlage, diese in diesem Fall hoch ausfällt.

Hingegen in den Sommermonaten, in denen die Niedertemperaturheizung nahezu keine Abnahme erfährt, benötigt die Trinkwarmwassererwärmung eine geringe Menge an ca. 48°C warmen Heizwasser, dass mit „viel“ Leistung erzeugt werden muss. Resultierend ist ein hoher Aufwand, bei geringem Nutzen. Es ergibt sich eine niedrige Leistungszahl.

In Kürze:

Winter: hohe Niedrigenergieabnahme bei geringem Energieaufwand und
wenig hochwertige Energieabnahme bei hohem Energieaufwand

Sommer: nahezu keine Niedrigenergieabnahme jedoch
wenig hochwertige Energieabnahme bei hohem Aufwand

Erläuterung der Leistungszahl einer Wärmepumpe:

Anhand der Formel für die Carnot-Leistungszahl lässt sich erkennen, dass der Wert der Leistungszahl Temperaturabhängig ist. Der Resultierende Wert der Carnot-Leistungszahl ist der theoretisch erreichbare Wert, bei einem 100 Prozentigen Anlagenwirkungsgrad dieser jedoch befindet sich je doch zwischen 50-60%. Deshalb muss das ergebnis wiederum mit dem Anlagenwirkungsgrad multipliziert werden. Die Leistungszahl beschreibt jedoch lediglich den Momentanwert eines Betriebszustandes, hingegen die Jahresarbeitszahl (Beta) den gesamten Verlauf von Wärmeertrag- zur aufgenommen elektrischen Arbeit der Wärmepumpe beschreibt. Somit kann mit der Leistungszahl eine Tendenz, der Entwicklung der Arbeitszahl aufgezeigt werden. Es kann auch gesagt werden das, das mittel aller Leistungszahlen (Eth_a), für jeden einzelnen Betriebspunkt in einem Jahr die Jahresarbeitszahl (Beta) ergeben.

$$\varepsilon_c = \frac{T}{T - T_0}$$

Wobei:

T = Verflüssigertemperatur (Vorlauftemperatur) in Kelvin

T_0 = Verdampfertemperatur (Wärmequellentemperatur) in Kelvin

Bsp.

Winterfall: (überwiegend Niedertemperaturheizwasser ca. 30°C)

$T = 273,15 + 30^\circ$; $T_0 = 273,15 + 0^\circ$

$\text{Eth}_a\ c = 303,15 / (303,15 - 273,15) = 10,1$

$\text{Eth}_a = \text{Eth}_a\ c \cdot \text{Anlagenwirkungsgrad} = 10,1 \cdot 0,50 = 5,05$

Sommerfall: (überwiegend Trinkwarmwassererwärmung ca. 48°C)

$T = 273,15 + 48^\circ$; $T_0 = 273,15 + 2^\circ$

$\text{Eth}_a\ c = 321,15 / (321,15 - 275,15) = 6,98$

$\text{Eth}_a = \text{Eth}_a\ c \cdot \text{Anlagenwirkungsgrad} = 6,98 \cdot 0,50 = 3,49$

Fraglich und umstritten ist die Höhe der Mindestjahresarbeitszahl, die zu einer bezeichnung der Wärmepumpe wie beispielsweise „energieeffizient“ führt. Je nach Interessenlage schwankt diese Zahl zwischen 2 und 4!

Von den verschiedenen Interessengruppen sind die folgenden Mindest-Jahresarbeitszahlen für eine behauptete Energieeffizienz von Elektro-Wärmepumpen bekannt:

- JAZ = 3,0 Mindest-Forderung einer für „Energieeffizienz“

Quellen: dena (Deutsche Energie-Agentur, Berlin), RWE (Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk, Essen) und Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetzes (EEWärmeG, Berlin)

- JAZ = 3,5 Mindest-Forderung für „Nennenswerte Energieeffizienz“ und Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz

Quellen: dena und RWE

- JAZ = 4,0 Verantwortungsbewusste Umwelt- und Klimaschützer

Quellen: z.B. EWS Ökostromanbieter E-Werk Schönau (Schwarzwald), IWU Institut für Wohnen und Umwelt (Darmstadt), Umwelt-und Klimaschutzverbände sowie Werbung.

Das Bafa (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) bietet für effiziente Wärmepumpen ein attraktives Förderprogramm an.

Voraussetzungen für die Förderung sind:

- Für elektrisch angetriebene Wärmepumpen: Einbau eines Stromzählers zur Erfassung aller von der Wärmepumpe aufgenommenen Strommengen.
- Einbau mindestens eines Wärmemengenzählers. Die Messung aller durch die Wärmepumpe abgegebenen Wärmemengen wird verbindlich gefordert.
- Vorliegen einer Fachunternehmererklärung des folgenden Inhalts: Bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen: Nachweis einer Jahresarbeitszahl bei Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen von mindestens 3,8 (bei Raumheizung in Nichtwohngebäuden 4,0) sowie bei Luft/Wasser-Wärmepumpen von mindestens 3,5.

Den Forderungen des Bafa, sowohl auch die Bewertung durch die deutsche Energie-Agentur kann die in Seefeldten betriebene Wärmepumpe gerecht werden. Die Arbeitszahl von 4,17, belegt den ressourcenschonenden- und effizienten Betrieb der Anlage. Mit dieser positiven Erfahrung lässt sich diese Beheizungsvariante ohne weiteres weiterempfehlen.



Anhang

Abschlussbericht der
Kindertagesstätte
Buggingen Seefeldten

Analyse des Wärmepumpenbetriebs
und
Beschreibung der Raumluftechnischen
Anlagen

Gefördert durch den Innovationsfonds der
Badenova



1. Energieausweis
2. Heizungsschemata