

Die Energieeffizienz einer
Luft - Erdgasabsorptions – Wärmepumpe Nr 2110
in der Kindertagesstätte „Max-Planck“ in Lahr (Schwarzwald)

Ein Bericht von Dr. Falk Auer und Herbert Schote, Lahr

Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr

Zusammenfassung:

Die Luft - Erdgasabsorptions – Wärmepumpe für die Kindertagesstätte „Max-Planck“ in Lahr arbeitet mit einem Nutzungsgrad von nur 0,82 (82%) mit „ungenügender“ Energieeffizienz. Zum Vergleich: Ein moderner Erdgas-Brennwertkessel kann auf 1,01 (101%) kommen. Umgerechnet auf Elektro-Wärmepumpen ergäbe sich eine Jahresarbeitszahl von 2,1; das entspricht nahezu einer halben Stromheizung.

Die Agenda-Gruppe Energie empfiehlt, zukünftig keine *Luft*-Wärmepumpen mehr einzusetzen. Die Städtische Wohnbau Lahr GmbH hat auf Grund eigener schlechter Erfahrung mit drei großen *Luft*-Wärmepumpen bereits Konsequenzen gezogen und installiert nur noch solar-unterstützte Erdgasheizungen und Holzpelletkessel.

1. Einführung und Aufgabenstellung

Im Hinblick auf die zunehmenden Anforderungen an den Klimaschutz hat sich die Stadt Lahr (Schwarzwald) entschlossen, an Stelle einer Elektro-, eine Luft - Erdgasabsorptions – Wärmepumpe zu erproben. Dieser Wärmepumpentyp lässt theoretisch eine höhere Energieeffizienz erwarten als eine Elektro-Wärmepumpe. Der Grund: Er nutzt direkt die Primärenergie Erdgas – eine Umwandlung dieser Energie in Kraftwerken mit den damit verbundenen Verlusten ist nicht notwendig. Ob das auch in der Praxis der Fall ist, war Gegenstand der Untersuchung.

2. Kindertagesstätte

Die Kindertagesstätte „Max-Planck“ liegt an der Grenze zur Innenstadt Lahrs. Es handelt sich um einen Altbau. Die Wärmeverteilung erfolgt zu 80% über Radiator-Heizkörper und zu 20% über Fußbodenheizungen. 20 Mitarbeiterinnen betreuen in sieben Gruppen 140 Kinder.

3. Luft-Erdgasabsorptions - Wärmepumpe

Bei Wärmepumpen hält vielfach ein mechanisch angetriebener Verdichter den Kältemittel-Kreislauf in Gang. Bekannt ist dieses Prinzip

INFO-BOX: Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl JAZ einer Wärmepumpe ist definiert als das Verhältnis von jährlich erzeugter Wärme am Ausgang zum notwendigen Strom an deren Eingang.

Laut der Deutschen Energieagentur (dena) in Berlin und des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) in Essen muss bei *Elektro*-Wärmepumpen die Jahresarbeitszahl größer als $JAZ = 3$ sein, um Wärmepumpen als „energieeffizient“ und größer als $JAZ = 3,5$ sein, um sie als „nennenswert energieeffizient“ bezeichnen zu können.

Bei *Erdgas*-Wärmepumpen sind die genannten Werte durch den zur Zeit geltenden Primärenergiefaktor 2,6 zu teilen. Er stellt das Verhältnis der Primärenergien Kohle, Uran und Gas zu der Endenergie Strom dar, und zwar unter Berücksichtigung der Energiekette Gewinnung, Umwandlung und Verteilung.

Die entsprechenden Mindestwerte lauten deshalb bei *Erdgas*- Wärmepumpen $JAZ = 1,15$ für „energieeffizient“ arbeitende Wärmepumpen und $JAZ = 1,35$ für „nennenswert energieeffizient“ arbeitende Wärmepumpen.



beim Kühlschrank. Der schafft Wärme aus seinem Inneren ins Äußere. Die Wärmepumpe arbeitet genauso, jedoch mit umgekehrtem Nutzen: Sie „pumpt“ die Wärme von außen in das Innere des Hauses und stellt diese für die Heizung und das Brauchwasser zur Verfügung.

Zum Antrieb des Verdichters ist bei Ein- und Zweifamilienhäusern Strom erforderlich, weil es für kleine Wohneinheiten keine Erdgas-Wärmepumpen gibt. Für größere Verbraucher, wie im vorliegenden Fall eine Kindertagesstätte, ist es bereits möglich, den mechanisch angetriebenen Verdichter durch einen thermischen zu ersetzen: Die Energie des Erdgases trennt in einem so genannten Austreiber zum Beispiel das Kältemittel Ammoniak aus einer Wasserlösung heraus und bringt dadurch den Kältemittelkreislauf auf einen höheren Druck und damit auch höhere Temperatur.

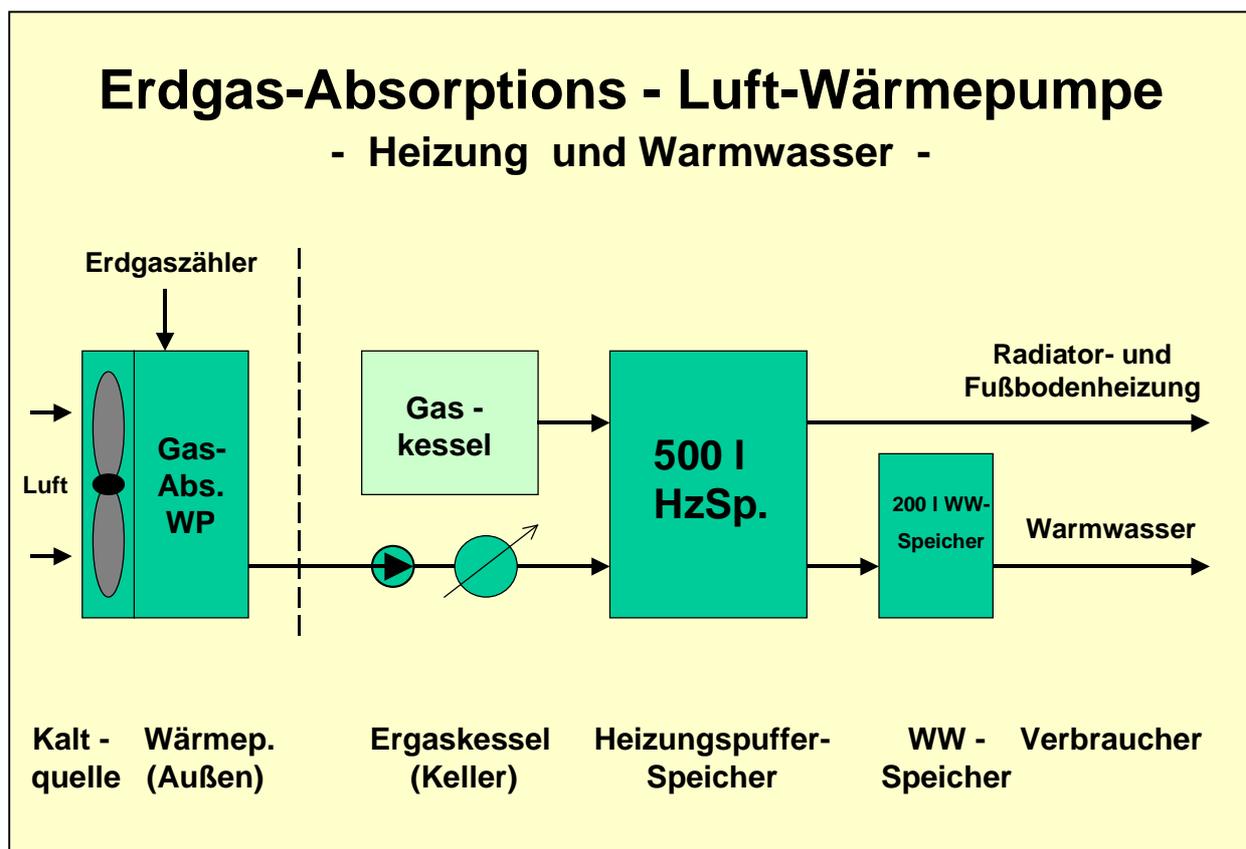
Mit einem solchen Verfahren könnte sich die Energieeffizienz verbessern, weil die Kraftwerksverluste bei der Umwandlung von Erdgas in Strom entfallen und die Wärmepumpe die in der Umgebung enthaltene „Wärme“ nutzt.

In der Kindertagesstätte ist ein solcher Wärmepumpentyp für die Deckung der Grundlast eingebaut, und zwar mit einer Nennleistung von 36 kW; sie ist im Hof aufgestellt. Der Hersteller gibt laut Prospekt bei einer Außenlufttemperatur von 7°C und einer Vorlauftemperatur von 50°C einen „Nenn-Wirkungsgrad“ von 1,52 (152%). Die Mindestwerte für eine Energieeffizienz gehen aus der INFOX auf Seite 1 hervor.

Die Spitzenlast liefert ein 100 kW Erdgaskessel im Keller des Hauses. Er ist nicht Gegenstand der Untersuchung. Beide Wärmeerzeuger arbeiten auf einen 500 Liter Pufferspeicher, der auch die Wärme für den 200 Liter Trinkwasser-Speicher liefert; siehe vereinfachtes Schema im nächsten Kapitel 4.

4. Messtechnik

Wie die graphische Darstellung unten zeigt, verfügt das Wärmepumpen-System über einen Gas- und Wärmehändler. Letzterer sitzt direkt an deren Ausgang und misst die günstigere *Erzeuger*-Jahresarbeitszahl. Die thermischen Verluste der Pufferspeicher für Heizung und Trinkwasser sind dabei nicht berücksichtigt.



Die *Erzeuger*-Jahresarbeitszahl berechnet sich wie folgt:

$$EJAZ = Q_{WP} / (V * F + PEF * HE)$$

mit Q_{WP} Erzeugte Wärme am Ausgang der Wärmepumpe in kWh-thermisch
 V Volumen des Erdgases in Kubikmeter
 F Umrechnungsfaktor von Volumen Erdgas via Heizwert unter Norm-

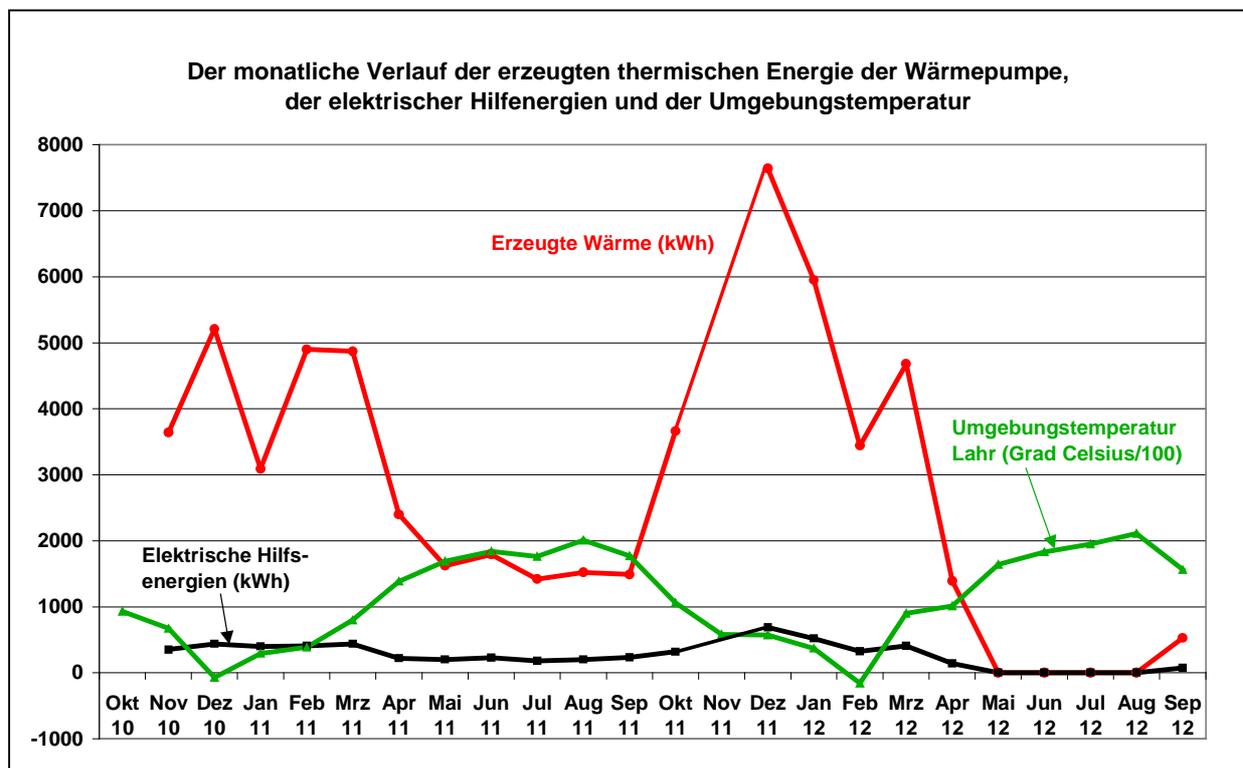
bedingung auf den Heizwert vor Ort (Betriebsbedingung). Einheit in kWh-thermisch pro Kubikmeter Erdgas; die Umrechnungsformeln sind in Kapitel 8 (Anhang) zu finden.

PEF	Primärenergiefaktor Strom; zur Zeit in Deutschland PEF = 2,6
HE	Elektrische Hilfsenergien für die Wärmepumpe (Lösungsmittelpumpe und Regelung) und die Umwälzpumpe zwischen Wärmepumpe im Hof und dem Heizungspufferspeicher im Keller.

Die Agenda-Gruppe erhielt monatlich die Ablesewerte der Wärme- und Elektrozähler. Auf dieser Basis und der zuvor erwähnten Formel erfolgte die Auswertung. Zusätzlich stand noch die Umgebungstemperatur einer eigenen, automatischen Wetterstation in Lahr zur Verfügung.

5. Ergebnisse

Die folgende Graphik zeigt den monatlichen Verlauf der erzeugten Wärme, der elektrischen Hilfsenergien und der Umgebungstemperatur in Lahr (Schwarzwald) über die zweijährige Messdauer von Oktober 2010 bis September 2012. Die beiden Heizperioden waren zu warm gewesen gegenüber dem langjährigen Mittel von 1961 – 1990 in Lahr, und zwar um +0,7°C bzw. +0,6°C.



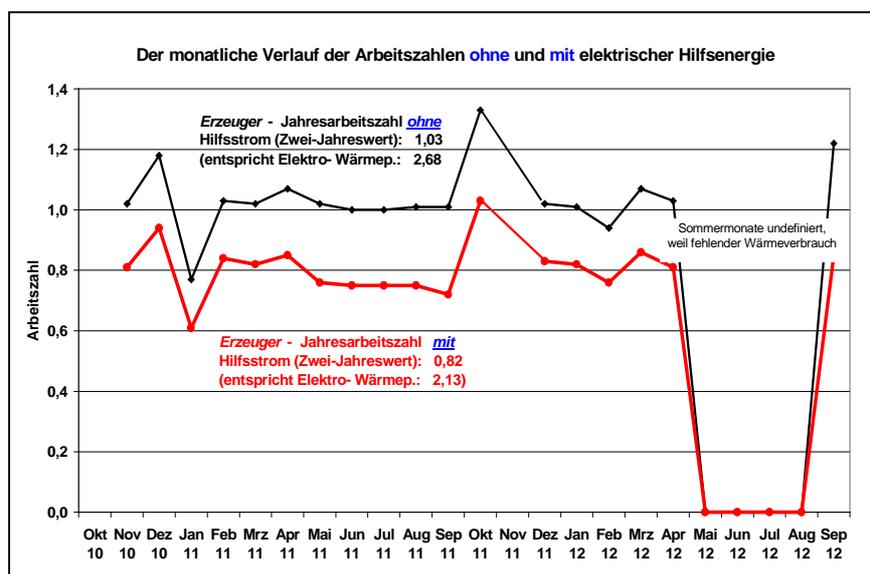
Der Verlauf der Wärme (rote Kurve) ist nicht immer umgekehrt proportional der Umgebungstemperatur (grüne Kurve): Je kälter es draußen ist, desto höher der Heizwärmeverbrauch. Das hängt im vorliegenden Fall mit den Herbst-, Winter- und Osterferien in der Kindertagesstätte zusammen und mit dem Anlagenkonzept, dass die Wärmepumpe nur die Grundlast abdeckt und ein Erdgaskessel die Spitzenlast übernimmt. Der Wärmezähler misst nämlich nur die erzeugte Wärme der Wärmepumpe und nicht den gesamten Wärmeverbrauch.

Auffallend ist die recht hohe Wärmerzeugung im ersten Sommer 2011 von Mai bis August in Höhe von 6,4 MWh! Im zweiten Sommer 2012 fehlt sie dagegen komplett. Offensichtlich ist in dieser Zeit die Wärmepumpe ausgeschaltet gewesen und der Gaskessel übernahm allein die Erwärmung des Trinkwassers.

Aus der nächsten Tabelle gehen die Ergebnisse der Praxisuntersuchung auf Jahresbasis hervor, aufgeteilt in das erste Messjahr 2010/2011 und das zweite 2011/2012.

Bezeichnung	Einheit	1. Messjahr	2. Messjahr
Erzeugte Wärme Wärmepumpe	MWh-therm.	32,0	27,4
Davon im Sommer (Mai – August)	MWh-therm.	6,4	0,0
Elektrische Hilfsenergien	MWh-elekt.	3,3	2,5
Anteil an Wärme Wärmepumpe	Prozent	10,3	9,1
Umgebungstemperatur Heizperiode	Grad Celsius	6,3	6,2
Erzeuger – Jahresarbeitszahl ohne el. Hilfsenergien		1,01	1,06
Entspricht EJAZ bei Elektro -WP (PEF = 2,6)		2,6	2,8
Erzeuger – Jahresarbeitszahl mit el. Hilfsenergien		0,80	0,84
Entspricht EJAZ bei Elektro - WP (PEF=2,6)		2,1	2,2
Vergleich Nutzungsgrad moderner Erdgas-Brennwertkessel mit elektrischer Hilfsenergie		1,01	

Die erzeugte Wärme aus der Luft – Gasabsorptions-Wärmepumpe ist im ersten Messjahr wegen des Sommerbetriebes um 17 % höher als im zweiten Messjahr. Die elektrischen Hilfsenergien, hauptsächlich für die Lösungsmittelpumpe, sind über die zwei Messjahre mit 9,8 % relativ hoch.



Den Verlauf der monatlichen Erzeuger - Arbeitszahlen zeigt die linke Graphik. Ohne Berücksichtigung der elektrischen Hilfsenergien liegen die Arbeitszahlen um 1,0 herum. Nur in den Übergangszeiten, also bei erhöhten Umgebungstemperaturen, übersteigen sie tendenziell diesen Wert. In der Zeit von Mai bis August 2012 sind die Arbeitszahlen wegen fehlenden Verbrauchs nicht definiert.

Berücksichtigt man noch die elektrischen Hilfsenergien, dann sinken die monatlichen Arbeitszahlen beachtlich ab, und zwar auf etwa 0,8.

Zusammenfassend ergeben sich über die zwei Messjahre die folgenden Erzeuger-Jahresarbeitszahlen EJAZ:

EJAZ <i>ohne</i> Berücksichtigung der elektrischen Hilfsenergien	= 1,03 (103%),
entspricht mit PEF = 2,6 (siehe INFO-BOX auf Seite 1) bei Elektro-Wärmepumpen EJAZ = 2,7	
EJAZ mit Berücksichtigung der elektrischen Hilfsenergien	= <u>0,82 (82%)</u>
entspricht mit PEF = 2,6 (siehe INFO-BOX auf Seite 1) bei Elektro-Wärmepumpen EJAZ = <u>2,1</u>	

Bei dem ermittelten Wert von 0,82 handelt es sich nur um die *Erzeuger*-Jahresarbeitszahl. Wichtiger für die Beurteilung des Beitrages von Wärmepumpen zum Klimaschutz ist jedoch die *System*-Jahresarbeitszahl SJAZ (siehe INFO-BOX auf Seite 1), die auch noch die thermischen Verluste der Pufferspeicher für die Heizung und das Warmwasser berücksichtigt. Aufgrund der Erfahrungen der Agenda-Gruppe mit inzwischen 50 Wärmepumpensystemen sind deshalb von der EJAZ noch 0,04 bis 0,08 – Punkte abzuziehen, so dass sich eine **SJAZ von etwa 0,75** oder 75 % ergibt.

Zum Vergleich: Im Erneuerbaren-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) ist eine Jahresarbeitszahl von mindestens 1,2 vorgeschrieben, die Bundesregierung fördert finanziell erst ab 1,3 und der Hersteller gibt 1,51 an (siehe Kapitel 3) !

Vergleicht man weiter hin das gemessene Ergebnis mit dem eines modernen Erdgas-Brennwertkessels, dann ergeben sich

**weder ökologische noch ökonomische Vorteile
für die untersuchte Luft – Gasabsorptions-Wärmepumpe.**

Die Agenda-Gruppe ermittelte nämlich im Rahmen des „Feldtests Wärmepumpen“ auch die Energieeffizienz eines Erdgas-Brennwertkessels modernster Bauart mit einem Jahres-Nutzungsgrad von **1,01** (101%), ein um 23% höherer Wert – und das zu deutlich niedrigeren Investitionskosten. Selbstverständlich ist bei der Bilanzierung auch bei diesem Gerät die elektrische Hilfsenergie berücksichtigt.

Näheres zum zweijährigen Monitoring des Gaskessels steht im Bericht unter der Internetadresse <http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html> und der Schaltfläche „Erdgas-Brennwertkessel“.

6. Bewertungen

Die Erzeuger-Jahresarbeitszahlen in Höhe von EJAZ = 0,82 ist laut der Deutschen Energieagentur (dena) und des Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerkes (RWE) **als „nicht-energieeffizient“** einzustufen (siehe INFO-BOX auf Seite 1). Gemäß der Klassifizierungstabelle der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr (Schwarzwald) unter www.agenda-energie-lahr.de/JAZ-

Klassifizierung.html) ist die Wärmepumpen als „**ungenügend**“ zu bewerten. Das liegt nicht nur an der Kaltquelle **Luft**, sondern auch an der relativ hohen Hilfsenergie „**Lösungsmittelpumpe**“.

Zur Erinnerung: Die dena und das RWE -die zuletzt genannte Institution verdächtigt niemand, gegen Elektro-Wärmepumpen zu sein- haben in einer Wärmepumpen-Broschüre festgelegt, dass Elektro-Wärmepumpen erst ab einer Jahresarbeitszahl von mehr als 3,0 energieeffizient arbeiten; besorgte Umwelt- und Klimaschützer fordern sogar mehr als 4,0! Im Umkehrschluss heißt das: Alle Elektro-Wärmepumpen mit Arbeitszahlen unter 3,0 sind energie-ineffizient.

Natürlich gibt es nach wie vor Kreise mit wirtschaftlichen Interessen, die mit dieser Festlegung nicht einverstanden sind, und gerne eine niedrigere Energieeffizienzgrenze sähen. Der Grund: Nicht nur die Agenda-Gruppe Energie in Lahr, sondern auch das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg kommen im Mittel bei *Luft*-Wärmepumpen in Verbindung mit Fußbodenheizungen auf Jahresarbeitszahlen von nur 2,8 bzw. 2,9, das heißt: Sie sind energie-ineffizient. Nur ein weiterer, kräftiger Anstiegs des Beitrages der erneuerbaren Energien zum deutschen Strommix könnte in zwei bis drei Jahrzehnten auch die *Luft*-Wärmepumpen erwähnenswert energieeffizient arbeiten lassen. Die Bundesregierung bremst aber zur Zeit den dazu notwendigen Zuwachs der Erneuerbaren aus.

Die „magische“ Energieeffizienzgrenze bei Elektro-Wärmepumpen in Höhe von JAZ = 3,0 entspricht übrigens bei erdgasbetriebenen Wärmepumpen einer **JAZ = 1,15** ($3,0/2,6$), wenn man mit dem zur Zeit gültigen Primärenergiefaktor 2,6 rechnet (siehe INFO-BOX auf Seite 1). Auf einen so hohen Wert kommt die untersuchte Erdgas-Absorptions-Wärmepumpe noch nicht einmal ohne Berücksichtigung der elektrischen Hilfsenergien: Der Zweijahreswert beträgt nur 1,03.

7. Empfehlungen

Die Lokale Agenda 21 - Gruppe Energie Lahr empfiehlt dem Hochbauamt, zukünftig **keine *Luft*-Wärmepumpen** mehr einzusetzen. Die Städtische Wohnbau Lahr GmbH hat auf Grund eigener schlechter Erfahrung bei dem Bauvorhaben „Wohnen am Park“ (siehe Schaltfläche Bericht Nr. 2107 und 2108 unter <http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html>) bereits Konsequenzen gezogen und installiert derzeit nur noch solar-unterstützte Erdgasheizungen und Holzpelletkessel.

Wenn es Wärmepumpen sein müssen, dann sind ***erdgekoppelte Wärmepumpen empfehlenswert***. Voraussetzung ist freilich eine fachgerechte Planung, Installation und Betrieb; daran mangelt es teilweise auch heute noch. Ein positives Beispiel stellt jedoch das Ergebnis des gerade abgeschlossenen Monitorings der Grundwasser-Wärmepumpe in der Neupostolischen Kirche in Lahr dar. Deren System-Jahresarbeitszahl beträgt SJAZ = 4,4, ein „gutes“ Ergebnis: Hier war alles stimmig. Der Bericht steht im Internet mit der Adresse <http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html>, und zwar unter der Schaltfläche „WP-Nr. 2203“.

Dr. Falk Auer und Herbert Schote, nes-auer@t-online.de, www.agenda-energie-lahr.de

Im November 2012

Es folgt Kapitel 8 (Anhang):

Umrechnung des Erdgas – Heizwertes von Norm- auf Vor-Ort - Betriebsbedingung

Anhang:

Umrechnung des Erdgas - Heizwertes von Norm- auf Vor-Ort - Betriebsbedingung

Mittelwert des *Brennwertes* $H_{o,n}$ über die Heizperiode 2010/11 zwischen Oktober und April gemäß der Angabe des Lieferanten badenova für Lahr: 11,3 kWh/Nm³
Heizwert $H_{u,n} = \text{Brennwert } H_{o,n} / 1,108 =$ 10,2 kWh/Nm³

Für trockene Gase gilt allgemein:

$$H_u = H_{u,n} * f_1 * f_2 * 1/K, \text{ mit}$$

- H_u gesuchter Heizwert unter Vor-Ort-Betriebsbedingungen
- $H_{u,n}$ Heizwert 10,20 kWh/Nm³ unter Normalbedingungen bei einem Luftdruck von 1013,5 mbar und einer Umgebungstemperatur von 0°C
- $K = 1$ bei Effektiv-Erdgasdruck im Gaszähler < 1000 mbar
- $f_1 = 273,15 / (273,15 + t)$ Temperatur-Korrekturfaktor mit $t = 15$ °C Erdgastemperatur (Norm) am Gaszähler im Keller
- $f_2 = (p_{\text{eff}} + p_{\text{umg}}) / p_n$ Druck-Korrekturfaktor mit
 - $p_{\text{eff}} = 23$ mbar Erdgasdruck Vor-Ort-Betriebsbedingung
 - $p_n = 1013,5$ mbar Normaldruck in Meereshöhe
 - $p_{\text{umg}} = p_n / f_3$ mittlerer Luftdruck in Lahr/Schwarzwald 190 m über Meereshöhe

Für die Umrechnung des Luftdrucks von Meereshöhe auf Vor-Ort-Betriebsbedingungen gilt:

$$f_3 = 1 / (1 - (0,0065 * h / 288)) \exp^{5,256}, \text{ mit } h = 190 \text{ m geographische Höhe Lahr (Schwarzwald)}$$
$$\implies f_3 = 1,0228$$
$$\implies p_{\text{umg}} = p_n / f_3 = 1013,5 / 1,0228 = 990,9 \text{ mbar.}$$

Daraus folgen:

- Druck-Korrekturfaktor $f_2 = (23 + 990,9) / 1013,5 = 1,0004$
- Temperatur-Korrekturfaktor $f_1 = 273,15 / (273,15 + 15) = 0,9479$.

Mit diesen Korrekturfaktoren ergibt sich schließlich der gesuchte *Heizwert* unter der Vor-Ort-Bedingung für Lahr (Schwarzw.) für die erste Messjar:

$$H_u = 10,2 \text{ kWh/Nm}^3 * 0,9479 * 1,0004 = \underline{\underline{9,67 \text{ kWh/m}^3}}$$

und für die zweite Messjahr:

$$H_u = 10,1 \text{ kWh/Nm}^3 * 0,9479 * 1,0004 = \underline{\underline{9,58 \text{ kWh/m}^3}}$$

Die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr dankt Herrn Sommerhalter vom Erdgas-Lieferanten badenova in Freiburg für die regelmäßige Bereitstellung der Erdgas-Brenn- und -Heizwerte.