Erfahrungen mit soledurchströmten Erdwärmetauschern

Dipl.-Pol. Klaus Michael, Niedrig-Energie-Institut GbR
Rosental 21, D-32756 Detmold, info@nei-dt.de, www.nei-dt.de

1 Grundüberlegungen

In Lüftungsanlagen mit hocheffizienten Gegenstrom-Wärmetauschern kann es bei sehr kalter Außentemperatur zu einer so starken Abkühlung der Fortluft kommen, daß der in ihr enthaltene Wasserdampf im Wärmetauscher nicht nur zu flüssigem Wasser auskondensiert sondern vereist. Das Eis kann den Wärmetauscher verstopfen und beschädigen. Um dies zu verhindern, darf die Frischlufttemperatur am Eingang in den Wärmetauscher nicht unter etwa -2°C liegen, bei noch niedrigeren Außentemperaturen muß sie bis zu dieser Mindesttemperatur vorerwärmt werden. Dazu bieten sich die Nutzung von Erdwärme durch Erdwärmetauscher an. Im Hochsommer kann ein solcher Erdwärmetauscher Außenluft auch mit Erdkälte preiswert vorkühlen.

Erdwärmetauscher sind in Passivhäusern in EFH-Größe bisher meist erdvergrabene Luftkanäle mit Durchmessern von DN 125-200 und 30-40 m Länge in 1,5-2,5 m Tiefe bei Lüftungsanlagen von 120-200 m³/h Luftdurchsatz. Sie werden von der Frischluft direkt durchströmt. Zur Ermöglichung eines guten Wärmeübergangs sind sie meist aus relativ dünnwandigem Material hergestellt. Konstruktiv müssen sie wasserdicht sein und sollten möglichst geradlinig und mit konstanten Gefälle sowie ggf. mir Revisionsschächten gebaut werden, sodaß sie inspizierbar, reinigbar und entwässerungsfähig sind.

Alternativ sind soledurchströmte Erdwärmetauscher möglich, bei denen die Erdwärme zunächst an eine Sole übertragen wird und von dieser in einem Sole-Luft-Heizregister erst an die Frischluft.. Sole-EWT können z.B. aus biegbaren PELD Kunststoffleitungen hergestellt werden, wie sie z.B. für Trinkwasser-Hausanschlüsse handelsüblich sind. Diese sind sehr robust und preiswert sowie tiefbautechnisch einfacher verlegbar als Luftkanäle, da weder Geradlinigkeit noch Konstantgefälle noch Revisionszugang nötig sind. Bei fachgerechter Sandeinbettung kann auch eine spätere Oberflächenverdichtung keine Schäden anrichten. In der Nutzung haben Sole-EWT den Vorteil, daß sich ihre Wärmeleistung unabhängig vom Luft-volumenstrom der Lüftungsanlage steuern läßt.

Bild 1 zeigt den Bau eines Kanalgrabens für eine Sole-EWT-Leitung. Bild 2 zeigt und die kellerseitigen Installationen: Sole-Luft-Wärmetauscher (oben in Frischluftleitung),

Umwälzpumpe, Befüll- und Entleerhähne, Absperrhähne, Manometer und Überdruckventil sowie Druckausgleichsbehälter.

2 Erfahrungen und Meßergebnisse

Soledurchströmte EWT sind nach unserer Kenntnis inzwischen schon in etwa 30 Passivhäusern eingebaut. Im PH Michael in Detmold wurde im Rahmen eines vom Land NRW geförderten F+E-Projekts der Sole-EWT über zwei Jahre vermessen [Michael u.a., 2000]. Kenndaten dieser Anlage sind:

- **Zuluftvolumen** 60-100 m³ (da relativ kleines Gebäude)
- **EWT:** 32 mm LDPE-Schlauch[1] (Außendurchmesser), 1,5 m Verlegetiefe, 40 m Gesamtlänge, davon 12 m unter dem Haus und 18 m im Garten. Sole aus Wasser mit Solaranlagen-Frostschutzmittel ausgelegt auf -10°C.
- **Regelung:** dreistufige WILO-Umwälzpumpe mit externer temperatur-abhängiger Leistungsregelung. Auf Stufe 1 werden 50 l/h, auf Stufe 2 100 l/h gefördert. Im vermessenen Winterbetrieb lag die Anschalttemperatur bei 0°C, die Umschalttemperatur von Stufe 1 auf Stufe 2 bei -4°C. Die Schaltpunkte wurden ab dem 3.Jahr auf -4°C / -8°C gesenkt.

Die Vermessung über zwei Winter und Sommer zeigte, daß die Auslegung richtig dimensioniert war und sogar Leistungsreserven hatte. In den Heizperioden unterschritt die Frischlufttemperatur am Eintrittspunkt in den Gegenstrom-Wärmetauscher nie +0,5°C, die Fortlufttemperatur unterschritt selbst bei -10°C Außentemperatur nie

[1] Nachträgl. Korrektur 25.08.2004: PE Erdleitung hat 32 mm und nicht 42 mm Durchmesser

+4,5°C. Die max Wärmeleistung des Sole-EWT betrug am kältesten Tag bei normalem Luftvolumenstrom ca 200 W. Im Sommerbetrieb bewirkte der Sole-EWT eine Verringerung der Frischlufttemperatur um bis zu 10 Kelvin, die Spitzenleistung lag bei 300 Watt; mangels Bypass am Gegenstrom-Wärmetauscher wurde in den besonders heißen Tagen ein reiner Zuluftbetrieb der WRG-Anlage gefahren und im Haus nur ein OG-Fenster geöffnet, sodaß eine Kaltluftwanne entstand.

Folgende Tabelle zeigt die zusammengefaßten Meßergebnisse des Sole-EWT:

	Gesamte Heizperiode 10/99-04/00		Ausgewählte Kälteperiode 22.01.-27.01.00		Gesamte Sommerperiode 05/00-09/00		Ausgewählte Hitzeperiode 17.06.-25.06.00	
Betriebsstunden	1.786,2	h	120,0	h	327,8	h	77,0	h
Wärmeertrag luftseitig	139,8	kWh	11,8	kWh	16,8	kWh	9,1	kWh
Stromeffizienz	4,7	fach	4,9	fach	2,8	fach	4,7	fach

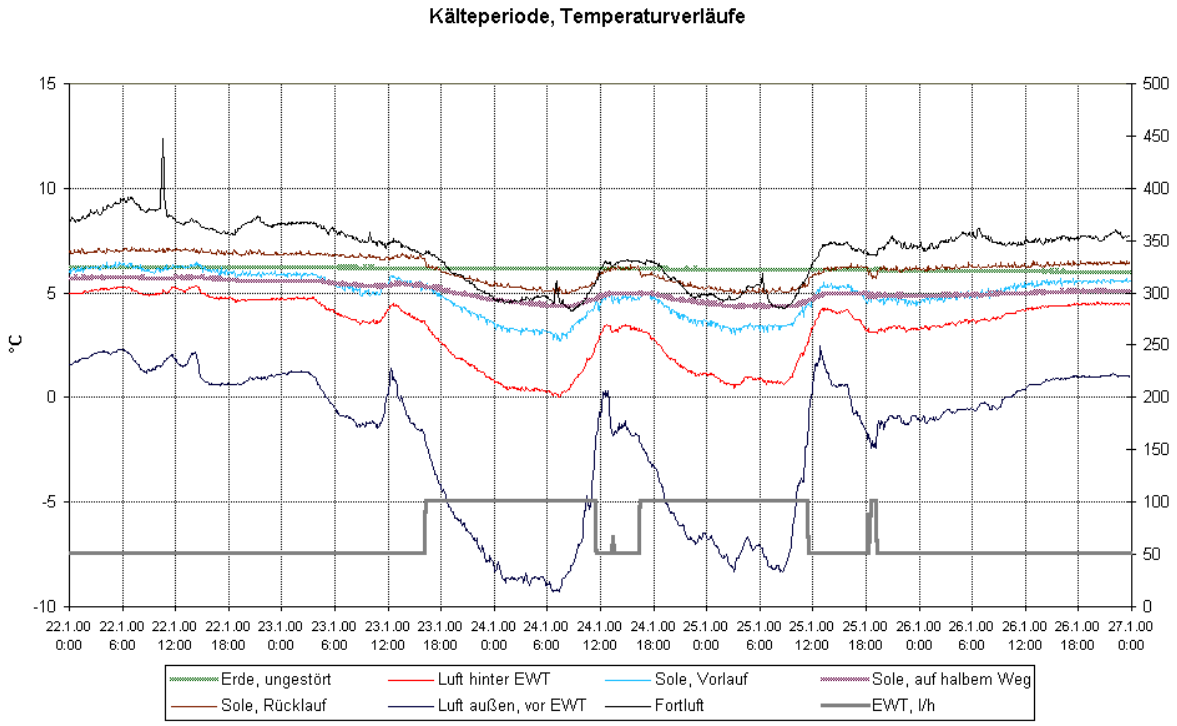
3 Meßergebnisse in einer ausgewählten Kälteperiode

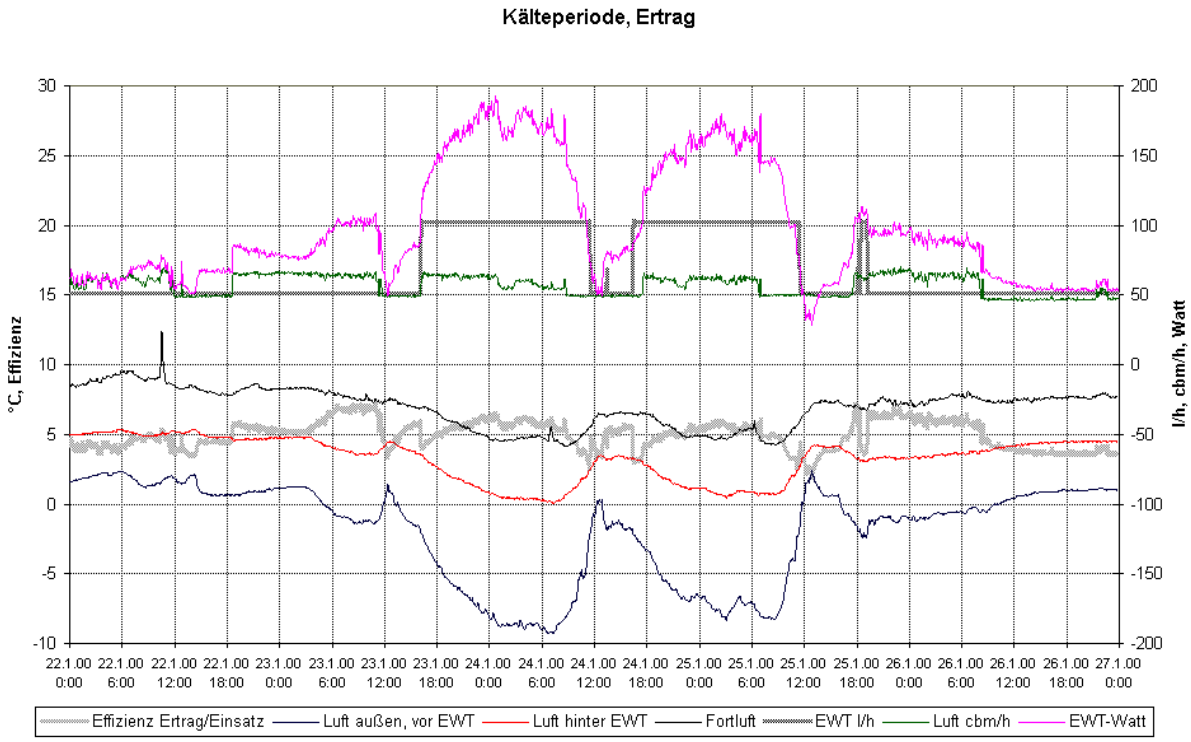
Der Zeitraum zwischen 22.01.00 und 27.01.00 war die kälteste Woche der Langzeitmessung. Folgende Abbildungen zeigen für diese Periode die Temperaturverläufe aller Meßpunkte der Luftströmungskette, die Soleförderung und den Ertrag des EWT.

Als unterste (graue) Verlaufslinie ist die Soleförderung des EWT dargestellt. Diese beträgt im Normalbetrieb 50 Liter pro Stunde und im erhöhten Bedarfsbetrieb 100 Liter pro Stunde. Die Umschaltung von Normal- auf Bedarfsbetrieb erfolgt anhand der Außentemperatur.

Die Außentemperatur in dieser Meßperiode (dunkelblaue Linie) fiel von knapp über 0°C an den Vortagen am 23.01.00 zwischen 12:oo und 24:oo Uhr von +2°C auf -9°C ab und verblieb etwa 7 Stunden auf diesem Niveau. Zwischen 07:oo und 12:oo Uhr des 24.01.00 stieg sie wieder auf 0°C, fiel aber am Nachmittag und in der Nacht des 24.01.00 wieder bis auf -7°C ab und blieb bis zum 25.01.00 gegen 10:oo Uhr auf diesem Niveau. Die Temperatur der vom Erdwärmetauscher vorerwärmte Frischluft (orangene Linie) sank von anfangs +5°C zu keinem Zeitpunkt unter den Gefrierpunkt.

Ihre niedrigste Temperatur erreichte sie mit +0,5°C am 24.01.00 gegen 07:oo Uhr. Die für den Frostschutz relevante Fortlufttempratur (schwarze Linie) sank in dieser





Kälteperiode von Anfangs etwa +8°C auf minimal +4,5°C und hatte damit noch eine erhebliche Wärmereserve, so daß keinerlei Einfriergefahr bestand.

Die Soletemperaturen am Vorlauf, auf halber EWT-Strecke und am Rücklauf zeigten in dieser Kälteperiode bei erhöhter Fördermenge der Solepumpe durchaus Schwankungen um 3 Kelvin, wobei der Kurvenverlauf nach anfänglichem stärkeren Absinken jeweils noch während der Kälteperiode wieder abflacht. Dies weist darauf

hin, daß bei stärkerem Wärmeentzug aus der Erde kein lineares Absinken der Soletemperatur auftritt, sondern sich nur ein niedrigeres Temperaturniveau stabilisiert. Die Obergrenze des möglichen Wärmeentzugs aus der Erde bei der gegeben Konfiguration konnte wegen der relativ kurzen Dauer der Kälteperiode allerdings nicht sicher bestimmt werden.

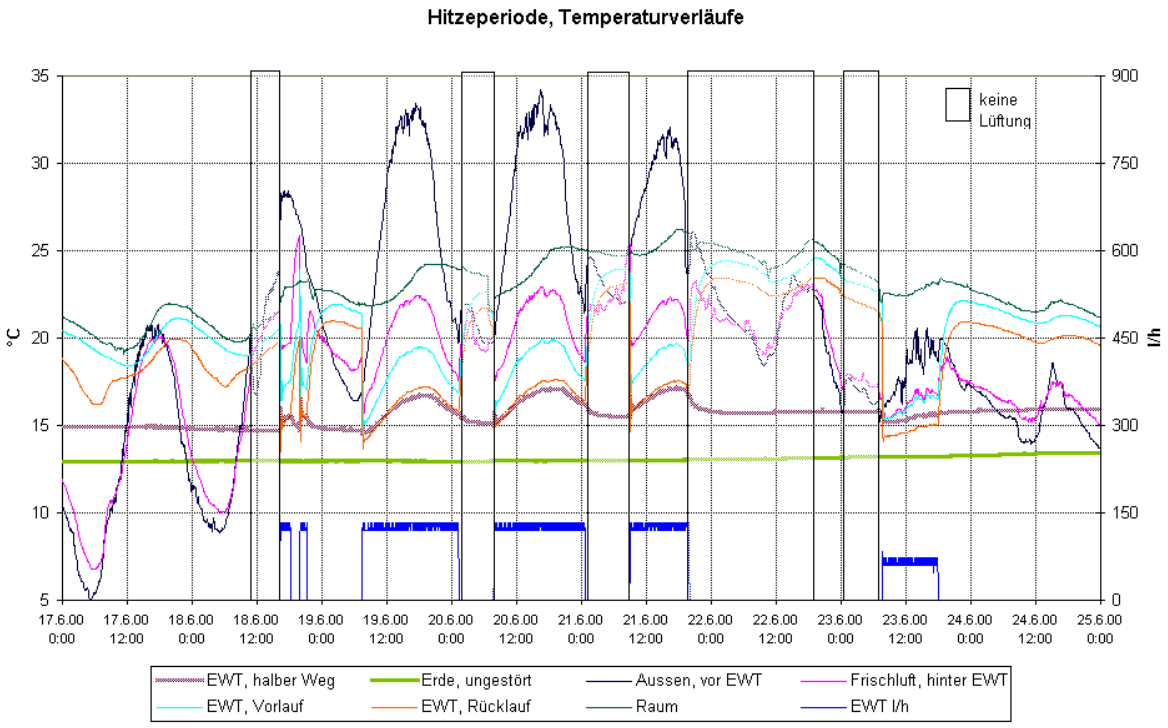
In folgender Abbildung ist der positive Wärmeertrag des EWT in der Kälteperiode als violette Verlaufslinie dargestellt. Er ist geometrisch nahezu das genaue Spiegelbild der Außentemperaturkurve, wobei die in diesem Zeitabschnitt nicht konstante Luftförderung der Lüftungsanlage (grüne Linie) leichte Verzerrungen des Spiegelbilds bewirkt. Die Effizienz des EWT (blaßgraue Linie), die aus dem Verhältnis von Watt Wärmeertrag zu Watt Stromverbrauch berechnet wurde, lag in diesem Zeitabschnitt im Mittel etwa bei fünf, d.h. es wurde fünfmal mehr Wärme gewonnen, als Strom aufgewendet.

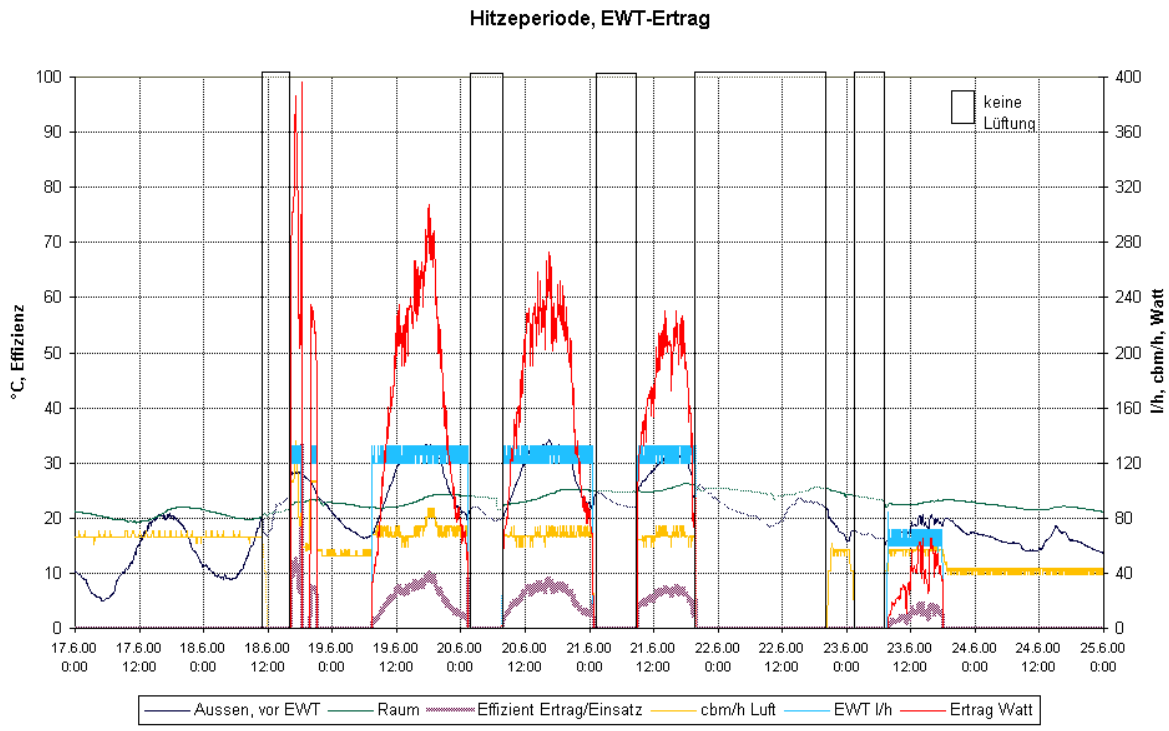
4 EWT-Meßergebnisse einer ausgewählten Hitzeperiode

Der Zeitraum zwischen 17.06.00 und 25.06.00 war die wärmste Woche während der Langzeitmessung. Folgende Abbildungen zeigen für diese Periode die fein aufgegliederten Temperaturverläufe aller Meßpunkte der Luftströmungskette, die periodische Soleförderung des EWT sowie den Ertrag des ETW in dieser Hitzeperiode.

In dieser sonnigen und windarmen Woche zwischen dem 17.06.00 und dem 21.06.00 schaukelte sich die Außentemperatur von +5°C nachts und +21°C tags auf Werte von +16°C nachts und +34°C tags hoch. Die Lüftungsanlage lief stets im reinen Zuluftbetrieb. Solange die Außentemperatur niedrig war, war der EWT abgeschaltet, oberhalb +20°C Außentemperatur wurde der EWT angeschaltet, um kühlere Luft ins Haus zu fördern. Im Gebäude waren dabei alle EG-Fenster und Türen geschlossen und nur ein OG-Nordfenster gekippt. Ziel dieser Regelung war es, eine Kaltluftwanne im Haus zu erreichen, die durch Einblasen kühler Luft gefüllt wird und an ihrer Oberseite mit der dort wärmsten Luftschicht über das gekippte OG-Fenster nach außen überläuft. Das Regelkonzept funktionierte sehr zufriedenstellend.

Die Lüftungsanlage wurde in dieser heißesten Woche leider nicht permanent betrieben, sondern teilweise nachts oder auch tags über mehrere Stunden abgeschaltet. Dies erfolgte, da Luftqualität und Lufttemperatur im Innenraum auch





ohne den Betrieb der Lüftungsanlage angenehm waren. Für die Messung der Kühlleistung des EWT ergeben sich hieraus leider Unterbrechungen der Meßreihen, insbesondere fehlen mehrere Abschnitte sicherer Außentemperaturen und der Soletemperaturen, da diese im Hochsommer nur bei laufender Lüftungsanlage korrekt erfaßt werden konnten.

Trotz dieser Einschränkungen zeigt der Verlauf der Frischlufttemperatur hinter dem Sole-Luft-Wärmetauscher (dünn-violette Linie) in voriger Abbildung deutlich die starken Kühleffekte des EWT in der Hitzeperiode. Die Frischlufttemperatur, die im Sommerbetrieb bei abgeschaltetem Abluftventilator, also bei nur einseitig durchströmten Gegenstrom-Wärmetauscher zugleich Zulufttemperatur ist, stieg in der betrachteten Hitzeperiode selbst bei Außentemperaturen von über +32°C nicht über +23°C an und lag im Mittel dieser heißen Tage sogar nur um +20°C. Eine einzige Ausnahme gab es am 18.06.00 gegen 18 Uhr, als der EWT während des Betriebs der Lüftungsanlage und während einer noch recht heißen abendlichen Außentemperatur von +27°C für etwa zwei Stunden irrtümlich abgeschaltet war. In dieser Zeit stieg die Zulufttemperatur kurzzeitig auf bis zu +26°C an. Die absolute Abkühlung der Außenluft durch den EWT betrug in dieser Phase bis zu 11 Kelvin.

Betrachtet man die Soletemperaturen, fällt auf, daß zwar der EWT-Vorlauf (hellblaue Linie) deutlich wärmer, als der EWT-Rücklauf (hellbraune Linie) ist, jedoch ist die EWT-Rücklauftemperatur (hellbraune Linie) nicht kälter als die Soletemperatur auf halber EWT-Strecke (kräftige violette Linie). Die Sole hatte demnach bereits auf halber EWT-Strecke die niedrigste Temperatur erreicht bzw. kühlte auf dem Rückweg zum Haus nicht noch weiter ab. Im Gegenteil ist an den drei wärmsten Nachmittagen sogar erkennbar, daß die Sole-Rücklauftemperatur höher als die Soletemperatur auf halber EWT-Strecke ist. Dies ist ein Hinweis darauf, daß die Vor- und Rücklaufleitung des EWT zu nahe beieinander liegen. Vermutlich erwärmt sich das Erdreich um das erste Teilstück der Sole-Vorlaufleitung besonders stark und von dieser besonders stark erwärmten Erde fließt ein Teil der Wärme bis zum Rücklaufstrang und erwärmt den Sole-Rücklauf unterirdisch. Laut Planung sollten beide Leitungen mindestens 50 cm Abstand voneinander haben. Die genaue Bauausführung ist aber nicht dokumentiert.

Die Sole-Umwälzmenge, die mit einem Volumenstromzähler erfaßt wurde, ist in der betrachteten Hitzeperiode teils höher, als bei den zuvor betrachteten Kälteperioden, da die Umwälzpumpe hier auf Betriebsstufe 2 eingestellt war. Die Soleförderung betrug in dieser Einstellung etwa 130 Liter pro Stunde.

Die zweite Abbildung dieses Kapitels zeigt den Ertrag und die Effizienz des EWT im Sommerbetrieb. An den heißesten Tagen werden über 6-8 Stunden Kühlleistungen von 200 bis max. 290 Watt erbracht. Die Effizienz des EWT, berechnet als das Verhältnis von nutzbarer Kälte zu aufgewendetem elektrischem Strom liegt zwischen 3 und 8, in der Spitze kurzzeitig bei 10.

5 Folgerungen und praktische Tips

Aus dem beschriebenen sowie aus anderen ähnlichen Sole-EWT-Projekten bevorzugen wir bei neuen Lüftungsanlagen mit WRG inzwischen grundsätzlich Sole-EWT gegenüber Luftkanal-EWT. Die Soleleitungen, Verbindungsmittel, Installationen (Druckausgleich, Hähne, Pumpen etc) und Sole-Luft-Wärmetauscher incl. deren Vorrichtungen für sommerlichen Kondensatablauf sind robust und erprobt. Bei normal großen EFH mit Zuluftvolumina von 120-200 m³/h hat sich bei 32-mm-PE-Soleleitungen eine Leitungslänge von 80-90 m (z.B. zweimal rund um das Fundament) bei einer Verlegetiefe von 2,0 - 2,5 m (z.B. OK Keller-Sohlplatte) als angemessen erwiesen. Eine zweimal um ein Haus gewickelte Leitung sollte dabei nicht am Stück, sondern in Form zweier parallell durchströmter Leitungen verlegt werden. Die parallelen Leitungen sollten wenigstens 50 cm Abstand voneinander haben. Kältere Vorlaufleitungen sollten ggf. höher, wärmere Rücklaufleitungen tiefer im Graben liegen. Bei der Verlegung unter statt neben Sohlplatten hat man vor allem am Ende des Winters noch etwas wärmere Erde, kann aber im Raparaturfall nicht mehr hingelangen. Besonders viel Erdwärme ist in der Nähe von Abwasserleitungen nutzbar. Wegen des relativ großen Biegeradius der PE-Leitungen sollten scharfe Knicke an Hausecken vermieden werden, ggf. sollten 90°-PE-Rohrbögen eingeschweißt oder 90°-Buntmetall-Winkelverschraubungen eingebaut werden. Keller-Wanddurchbrüche unter evtl. temporär erhöhtem Grundwasserspiegel müssen druckwasserdicht ausgeführt werden.

Entwicklungsbedarf besteht noch bei einfachen aber hinreichend leistungsfähigen Pumpenregelungen. Neben zu niedriger Förderung sollte auch eine überhöhte Soleförderung vermieden werden, da sie der Erde unnötig Wärme entzieht und das am Winterende nötige Wärmereservoir beeinträchtigen kann. Ein Taktbetrieb mit kurzen Intervallen ist wegen der Zähigkeit der Sole nicht zu empfehlen, die teils erst mehrere Minuten nach Pumpbeginn richtig zirkuliert. Im untersuchten Objekt war dank eines Hausleitcomputers eine sehr effiziente Regelung einer preiswerten Standardpumpe durch externe Mikropulsung möglich. Als einfachere Lösung wären Pumpen mit integrierten mehrstufigen oder stufenlosen Regelungen durch direkt anschließbare Standard-Thermostate wünschenswert, bei denen SOLL-Temperaturzonen zwischen -4 und +2°C für den Winterbetrieb bzw. +20 bis +30°C für den Sommerbetrieb vorgebbar sind. Die Förderleistungen müßten 50-200 l/h bei den hier gegebenen, auch von der Soletemperatur abhängigen Strömungs-wiederständen betragen.

Literatur:

[Michael 2000]: K.Michael u.a.:"Effizienz von Lüftungsanlagen in Niedrigenergie-Häusern in NRW", Endbericht eines F+E-Meßprojekts über die tatsächliche (meist mangelhafte) Funktion eingebauter Lüftungsanlagen in 43 NEHs; Hrsg: NEI, Detmold, 420 Seiten. CD mit PDF-Datei 25 €..