

GEBÄUDEKÜHLUNG ÜBER ERDREICHWÄRMETAUSCHER – PASSIVE KÜHLKONZEPTE

Dipl.-Ing. Ernst Blümel, Ing. Christian Fink

AEE INTEC Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Institut für Nachhaltige Technologi-
en

Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf

Tel.: +43-3112 / 5886 - 0, Fax: +43-3112 / 5886 -18

E-Mail: e.bluemel@aee.at, c.fink@aee.at Homepage: www.aee.at

1 Einleitung

Ein komfortables Raumklima ist wichtig für das Wohlbefinden der Menschen und stellt in der Regel die Hauptfunktion unserer Gebäude dar. Dabei kann Kühlen genauso wichtig sein wie Heizen. Im Schatten von zahlreichen konventionellen Technologien zur Wärme- bzw. Kälteversorgung von Gebäuden stehen hier zweifelsohne luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher (L-EWT). Dabei bieten L-EWT bei entsprechenden Rahmenbedingungen für die Außenluftkonditionierung (sowohl für den Heiz- als auch für den Kühlfall) in Gebäuden eine gute, energiesparende Alternative.

2 Das grundsätzliche Prinzip von L-EWT und Einsatzmöglichkeiten

L-EWT nutzen die saisonale thermische Speicherfähigkeit des Erdreiches zur Konditionierung der Zuluft von Gebäuden. Dabei wird die Luft über die im Erdreich verlegten Rohre angesaugt, entsprechend der Temperaturdifferenz zwischen der Umgebungsluft und dem Erdreich im Winterbetrieb erwärmt und im Sommerbetrieb abgekühlt. Abb 1 zeigt die sich durch die Speicherfähigkeit des Erdreichs einstellende Dämpfung sowie die Phasenverschiebung im Jahresverlauf von Erdtemperaturen in unterschiedlicher Tiefe. Deutlich wird, dass mit zunehmender Tiefe eine größere, nutzbare Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Erdreichtemperatur erreicht werden kann.

Mittlerer Jahrestemperaturverlauf im Erdreich bei unterschiedlichen Tiefen

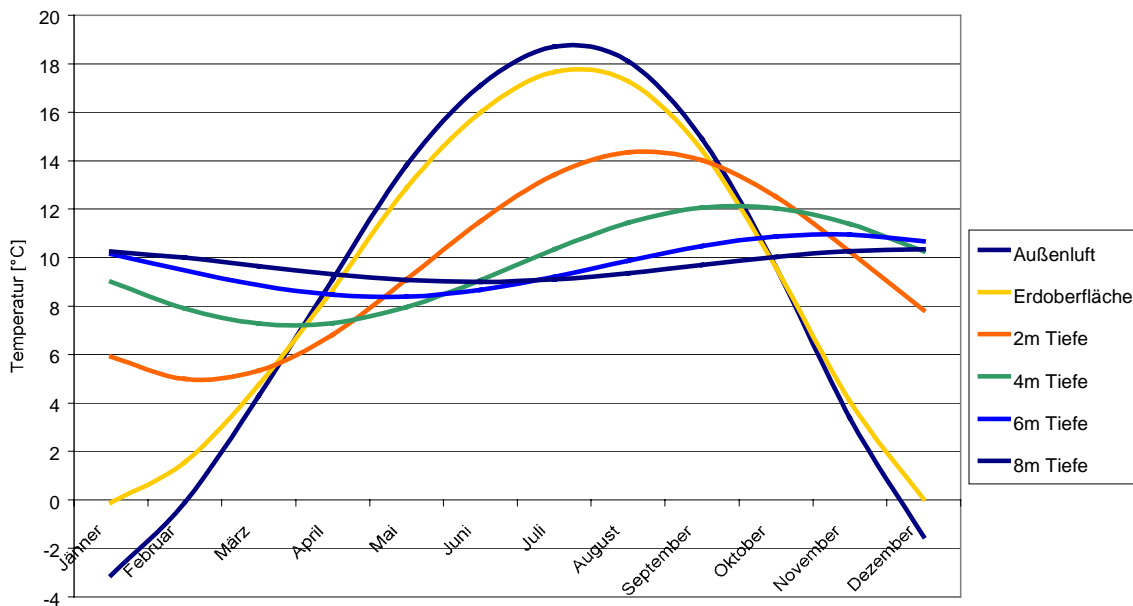


Abb.1; Jahrestemperaturverlauf der Außenluft, Erdoberfläche und dem Erdreich in verschiedenen Tiefen für den Bodentypen „Kies – trocken“, Standort Graz.

Einerseits können L-EWT als alleinige Komponente zur Konditionierung der Zuluft sowie andererseits als Vorstufe eines Wärme- bzw. Kälteversorgungssystems Verwendung finden. Grundsätzlich sehr gut eignet sich der Einsatz von L-EWT in Systemen, in denen generell Luft als Wärmeträger verwendet wird (Lüftungsanlagen, Luft-Luft, bzw. Luft-Wasser Wärmepumpen, Luftheizungen, etc.).

In der Praxis finden L-EWT häufig zur Vereisungsvermeidung auf der Fortluftseite von Wärmerückgewinnungsaggregaten Verwendung. Dieser Anwendungsfall reicht von Anlagen im Einfamilienhaus (Niedrigenergie- und Passivhäuser) bis hin zu Geschosswohnbauten.

Der zweite große Anwendungsbereich für L-EWT liegt in der Kühlung (monovalent oder bivalent) von Gebäuden. Vor allem im Büro- und Verwaltungsbau ist in den letzten Jahren ein deutlicher Anstieg der auftretenden Kühllasten zu erkennen. In diesem Bereich haben im wesentlichen die internen Lasten - bedingt durch den verstärkten Einsatz von EDV und Bürogeräten - stark zugenommen. Dies kann sogar soweit führen, dass die Betriebskosten für die Kühlung im Sommer (mit konventionellen Kältemaschinen) höher sind als für die Heizung im Winter. Eine alternative Kühlungsmöglichkeit, mit wesentlich geringerem Einsatz an Primärenergie, stellen L-EWT dar.

3 Ein Planungshilfsmittel zur Auslegung von L-EWT

Ein sinnvoller Betrieb eines L-EWT hängt von vielen unterschiedlichen Faktoren ab, die in der Planung und Ausführung berücksichtigt werden müssen. Neben energetischen Aspekten (Einsatzbereich, Volumenstrom, Geometrie bzw. Material des L-EWT, Zusammensetzung des Erdreiches, etc.) sind dies auch Aspekte zur Lufthygiene sowie erzielbare Wärme- und Kältepreise. Da diese Zusammenhänge äußerst komplex sind, erfordert dies für die Planung von L-EWT fundierte Auslegungswerkzeuge.

Da kaum fundierte Auslegungswerkzeuge für L-EWT existieren, wurde 1999 das EU-Projekt „Planning Tool for Earth-to-Air Heat Exchangers“ (im CRAFT-JOULE Programm) von der AEE INTEC, in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Freiburg, Deutschland), initiiert. Als Projektergebnis stehen für die 13 am Projekt beteiligten Unternehmen (Architekten und

technische Büros aus Österreich und Deutschland) Planungstools in Form eines umfassenden Handbuches und eines validierten Simulationsprogrammes zur Verfügung.

Die Anwendung dieser Planungstools - von der Voruntersuchung bis zur Detailplanung – erfolgt typischerweise in zwei Stufen:

- Vorauslegung nach Tabellen und Nomogrammen aus dem Planungshandbuch.
Dies führt zu (qualitativen) Aussagen über den Einfluss von Volumenstrom, Verlegetiefe, Temperaturleitfähigkeit des Erdreichs, Rohrdurchmesser, Rohrlänge, Rohranzahl und Achsabstand auf die Jahresarbeitszahl oder den Jahresertrag.
- Simulation unterschiedlicher Varianten mit dem Simulationsprogramm auf der Basis eines Kapazitätenmodells.
Jahresgänge der Außentemperaturen sowie der Temperaturen an der Erdoberfläche verschiedener Regionen Österreichs sind Bestandteil des Programms. Nach Definition von weiteren Basisdaten (Verlegegeometrie, Grundwassertiefe, Abstand zum Gebäude, etc.) können jährliche Verläufe der Luftaustrittstemperatur, der Leistung sowie Energiebilanzen bei kontinuierlichem oder intermittierendem Betrieb ermittelt werden. Über eine Parametervariation für unterschiedliche Anlagenkonfigurationen kann die Sensitivität einzelner Parameter auf die Wärmeübertragung bestimmt werden, was gerade im Hinblick auf unsichere Parameter (z. B. die Stoffwerte des Erdreichs oder Ermüdungserscheinungen des Erdreichs) wichtig ist.

4 Energetische Einflussgrößen

Das Funktionsprinzip von L-EWT ist grundsätzlich einfach. Trotzdem existieren zahlreiche Parameter, die einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von L-EWT besitzen. Neben Größen, die unmittelbar den Energieertrag des L-EWT beeinflussen (Volumenstrom, Rohrlänge, Rohrdurchmesser, Rohrmaterial, Erdreichzusammensetzung, Verlegetiefe, etc.), sind das noch zahlreiche indirekte Einflussgrößen (Druckverluste verursacht durch den L-EWT, Auswirkungen des L-EWT auf die Lufthygiene, Investitionskosten des L-EWT, etc.), die auch in der Planung bzw. Ausführung berücksichtigt werden müssen.

Um den Einfluss der wesentlichen energetischen Größen zu verdeutlichen, wurde anhand eines definierten L-EWT (Eckdaten: Einzelrohr, unter freiem Gelände verlegt, 500 m³/h Dauerbetrieb, PVC, DN 200, Länge = 50 m, Verlegetiefe = 2 m, feuchte Erde, Standort Graz) eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Jede der betrachteten Einflussgrößen (Volumenstrom, Querschnitt, Verlegetiefe, Länge, Rohrmaterial und Erdreich) wurde einzeln verändert und die Auswirkungen auf die Energieerträge untersucht. Die hierzu erforderlichen Berechnungen wurden mit dem im CRAFT-JOULE Projekt erstellten dynamischen Simulationsprogramm durchgeführt. Aus Abb. 2 kann gelesen werden, in welchem Ausmaß sich die Veränderung einer Einflussgröße (in Prozent) auf den Energieertrag (ebenfalls in Prozent) auswirkt. Dabei wurde der Energieertrag als Summe aus Heizenergie- und Kühlenergie definiert und die Ergebnisse der Ausgangsvariante (siehe obige Angaben) mit 100 % definiert.

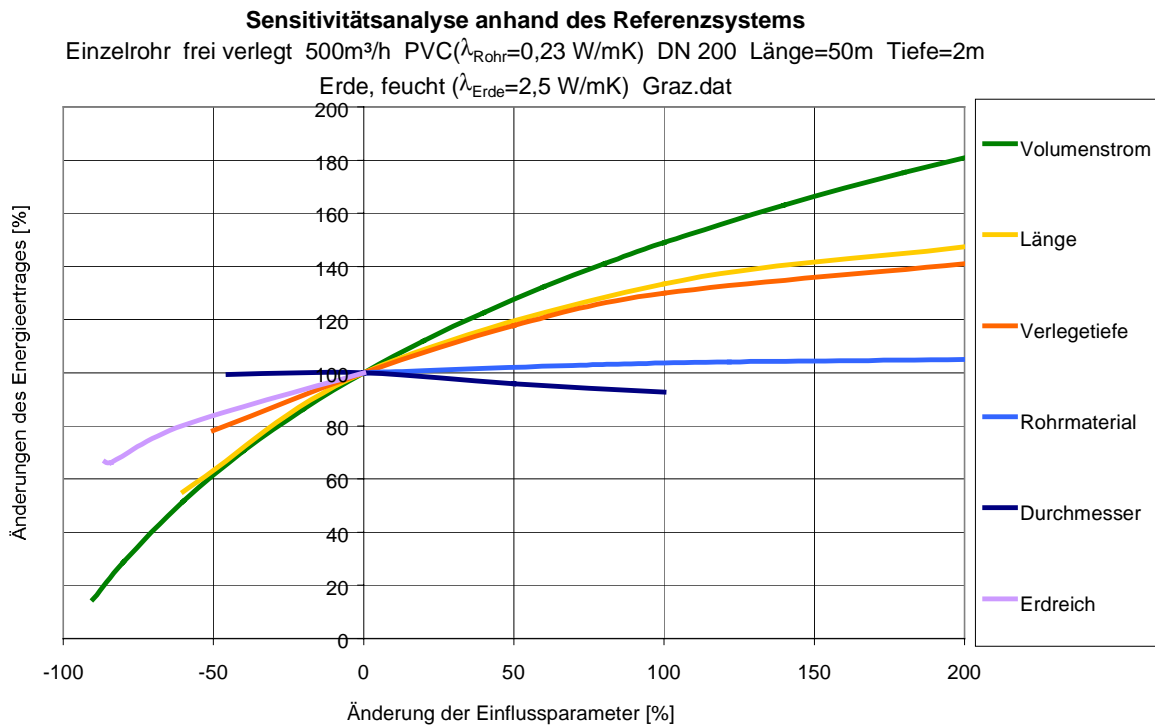


Abb. 2 - Prozentuelle Änderung des Gesamtenergieertrages für Heiz- und Kühlbetrieb des definierten L-EWT in Abhängigkeit einzelner Einflussgrößen

Die größte Sensitivität zeigt der Parameter Volumenstrom. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass für einen sinnvollen Betrieb des L-EWT auch der entstehende Druckverlust von entscheidender Bedeutung ist. Weitere Größen mit entscheidender Sensitivität sind die EWT-Länge, die Verlegetiefe sowie die Zusammensetzung des Erdreichs. Als Parameter mit eher geringem Einfluss auf die Energieerträge des definierten L-EWT zeigen sich der Querschnitt sowie das Rohrmaterial.

5 Realisierte Projekte und Messergebnisse

Vom Konsortium des CRAFT-JOULE Projektes (15 Projektpartner in Österreich und Deutschland) wurden 25 L-EWT in verschiedenen Anwendungsfällen umgesetzt und zum Teil messtechnisch untersucht. Zwei der in Österreich umgesetzten Projekte werden von der AEE INTEC messtechnisch sehr detailliert überwacht und der Betrieb begleitet.

5.1 L-EWT für den Stadtsaal - Gleisdorf

Der im Frühjahr 2001 fertiggestellte Gleisdorfer Stadtsaal wird als Veranstaltungszentrum genutzt. Aufgrund der im Objekt benötigten Kühlleistungen, verursacht durch interne Gewinne (Personenbelegung, Beleuchtung, etc.) und passiver Gewinne über die Südfassade, wurde ein L-EWT als passives Kühlungselement eingeplant. Im vorliegenden Projekt wird der L-EWT als Vorstufe (Spitzenkühlleistungen von 57 kW sind möglich) für eine Klimaanlage genutzt. Durch den L-EWT kann die Kühlgrundlast gedeckt und somit das Klimatisierungsgerät entsprechend kleiner dimensioniert werden. Beheizung als auch Kühlung erfolgt über die zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, wobei der maximale Gesamtmassenstrom rund 20.000 m³/h beträgt. Der L-EWT erfüllt bei diesem Objekt im wesentlichen zwei Aufgaben:

- Vereisungsvermeidung auf der Fortluftseite der Wärmerückgewinnung im Winterbetrieb

- Kühlung der Zuluft im Sommer zur Unterstützung des Klimatisierungsgerätes

Durch den Einsatz des L-EWT zur Kühlung des Stadtsaales, konnte bei diesem Projekt neben enormen Einsparungen an Betriebskosten auch eine Reduktion der Investitionskosten für die Kältemaschine erzielt werden. Das Konzept zur Be- und Entlüftung bzw. zur Kühlung ist neben den Systemmesspunkte in Abb. 3 dargestellt.

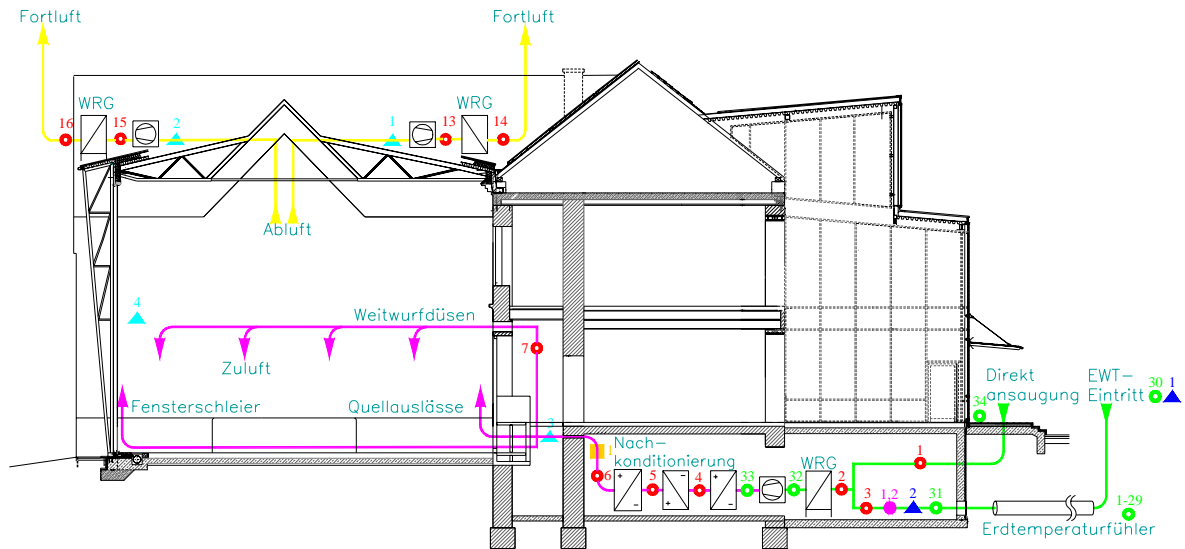


Abb. 3 - Schnittdarstellung des Gleisdorfer Stadtsaales inkl. Be- und Entlüftungskonzept, Kühlkonzept sowie sämtlichen Systemmesspunkten (Bildquelle: TB Herbst, Gleisdorf).

Die Dimensionen des L-EWT wurden im Hinblick auf die Abdeckung der Kühlgrundlast festgelegt. Der Erdreichwärmetauscher besteht aus 8 parallelen und jeweils 80 m langen PVC-Rohren. Die Rohre mit einer Nennweite von 400 mm sind im Mittel in einer Erdreichtiefe von 2 m verlegt. Die Luftzuführung zu den Rohren erfolgt über 4 Ansaugtürme, d.h. für je zwei Rohre ein Ansaugturm. Zusätzlich sind noch zwei Ansaugtürme direkt am Gebäude errichtet, sodass der L-EWT über einen Bypass umgangen werden kann, wenn dies die Witterungsbedingungen verlangen (vor allem in der Übergangszeit).



Abb. 4 - Luftansaugtürme für den Stadtsaal Gleisdorf

Die messtechnische Untersuchung (beauftragt von der Wissenschaftsabteilung des Landes Steiermark und unterstützt vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) zum Betriebsverhalten ist derzeit noch im Gang und wird mit Ende des Sommers 2002 abgeschlossen. Die Arbeitsschwerpunkte liegen einerseits in der Analyse des Erdreichverhaltens bei Wärme- bzw. Kälteentzug sowie andererseits in der quantitativen Beurteilung von unterschiedlichen Regelstrategien auf das Betriebsverhalten. Erste Messergebnisse sind in Abb.5 dargestellt.

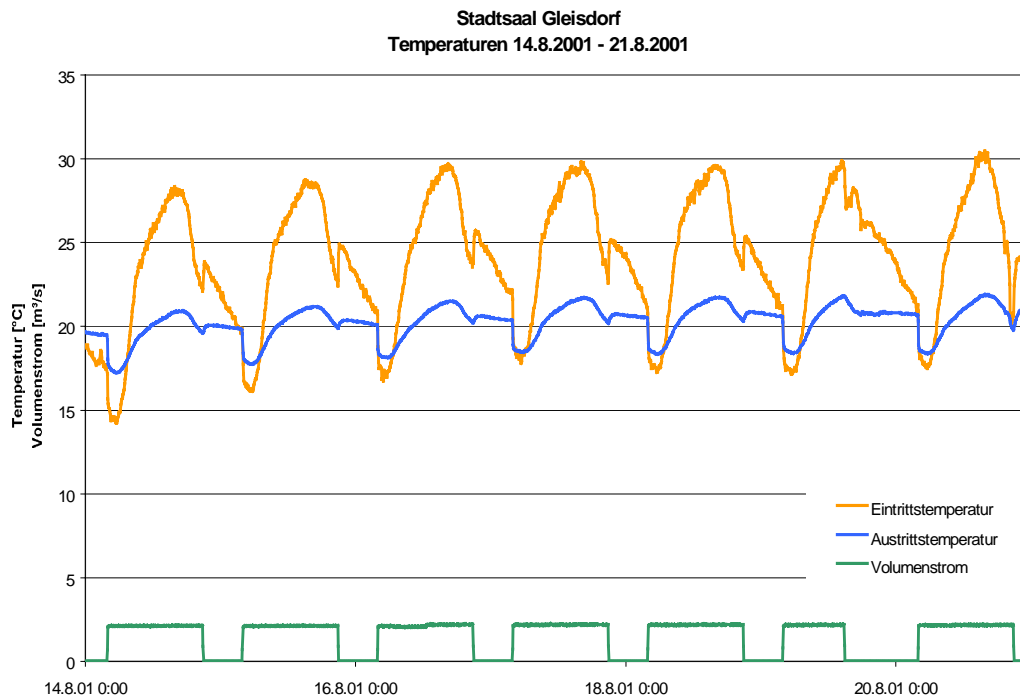


Abb. 5 - Messergebnisse zum L-EWT im Stadtsaal Gleisdorf, 14.08.01 bis 20.08.01.

Deutlich ist zu erkennen, dass in der Woche vom 14.08.01 bis 20.08.01, bei Außentemperaturen um die 30 °C, die Austrittstemperaturen aus dem L-EWT bei ausgezeichneten 20 - 22 °C liegen. Um dem Erdreich Regenerationszeiten zu ermöglichen sowie Antriebsenergie für den Ventilator einzusparen, wird das Lüftungssystem alternierend betrieben.

5.2 L-EWT für das Bürogebäude „Weizer Energie- und Innovationszentrum“ (W.E.I.Z.)

Das 1999 errichtete Büro- und Verwaltungsgebäude „Weizer Energie- und Innovationszentrum“ (2000 m² Nutzfläche) erfüllt mit einem spezifischen Heizenergieverbrauch von 15 kWh/m² Wohnfläche und Jahr das Passivhauskriterium. Dementsprechend wurde auch das Energiekonzept für Beheizung und Kühlung festgelegt. Sowohl Beheizung als auch Kühlung erfolgt über die zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Für den hygienischen Luftwechsel wurde ein Gesamtmassenstrom von 3200 m³/h ermittelt.



Abb. 1 - Süd- Ostansicht des W.E.I.Z.

Der zentralen Lüftungsanlage ist ein, unter dem Keller verlegter (die mittlere Verlegetiefe beträgt rund 3,5 m), L-EWT in Registerform vorgeschaltet. Der L-EWT besteht aus 15 parallelen PVC-Rohren, DN 200 und einer Rohrlänge von jeweils 28 m. Die zwei Sammelschächte aus Beton weisen eine Länge von 10 m auf und sind begehbar. Die eingesetzten Ventilatoren besitzen in Bezug auf den Heizbetrieb eine entsprechende Leistungsreserve, sodass bei extremen Außentemperaturen im Sommer der Gesamtmassenstrom auf etwa 5000 m³/h erhöht werden kann. Der L-EWT stellt in diesem Projekt ein monovalentes Kühlsystem dar.

Zusätzlich zur Deckung der sommerlichen Kühllasten wird der L-EWT auch zur Vorwärmung der Zuluft in der Heizperiode, im speziellen zur Vereisungsvermeidung auf der Fortluftseite des Wärmerückgewinnungsaggregates, verwendet. Dabei bleibt aber zu berücksichtigen, dass der L-EWT in der Heizperiode nur zu Bürozeiten beaufschlagt und außerhalb der Bürozeiten im Umluftbetrieb mit minimalem Frischluftanteil betrieben wird.



Abb. 2 - Verlegung der 15 parallelen PVC-Rohre unter der Fundamentplatte des Gebäudes

Am L-EWT in Weiz durchgeführte Messungen (Messperiode Jänner 2000 bis Dezember 2000) zeigten Kühlleistungen bis zu 17 kW (siehe Abb. 3). Beispielsweise konnten am 21.08.2000 parallel zu Außentemperaturen von über 30 °C über einen Zeitraum von mehr als fünf Stunden 15 kW Kühlleistung durch den L-EWT bereitgestellt werden. In Kombination mit der Nutzung der Nachtkälte (Massenspülung mit kühler Außenluft) übernimmt der L-EWT die Deckung der gesamten Kühllast im Sommer. Als besonders wichtig stellte sich für den Erdreichwärmetauscher in Weiz die nächtliche Regeneration des Erdreichs während der Nachtkühlung mit kalter Außenluft heraus.

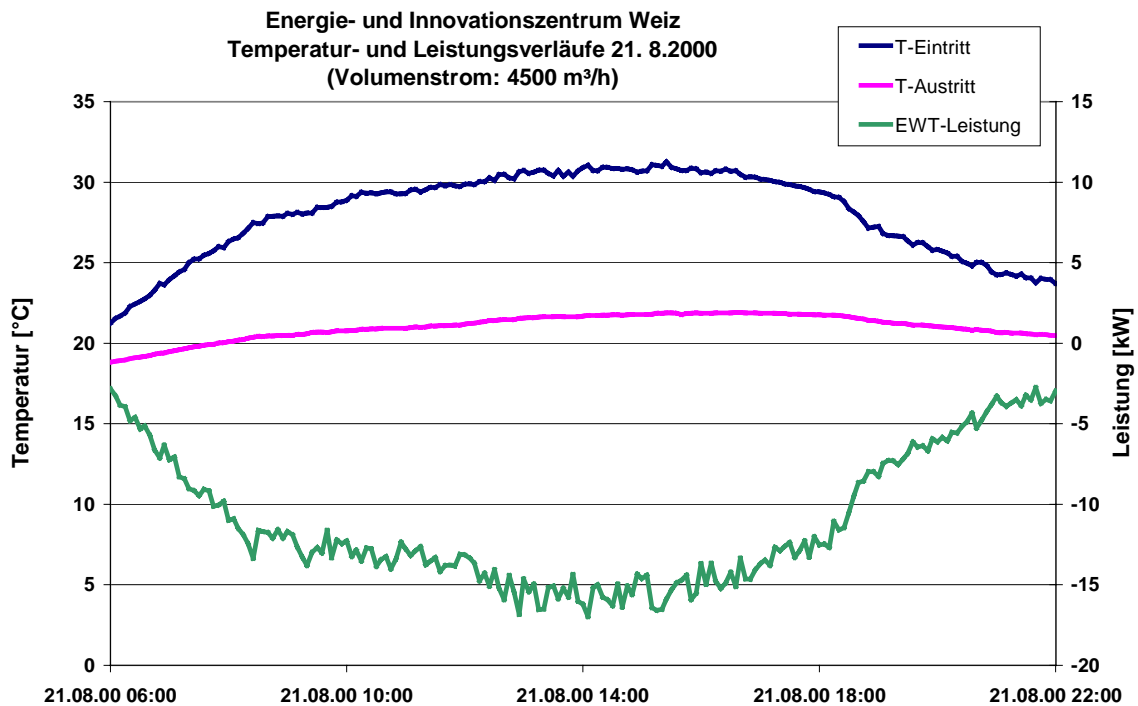


Abb. 3 - Gemessener Temperatur- und Leistungsverlauf am 21.08.2000. Die Austrittstemperatur aus dem Erdreichwärmetauscher steigt bei Umgebungstemperaturen von über 30 °C nicht über 22,5 °C.

Abb. 4 zeigt die erzielten Heiz- und Kühlleistungen sowie die Austrittstemperaturen aus dem L-EWT über der Eintrittstemperatur für das Jahr 2000 (der Aufzeichnungsintervall erfolgte in 5-Minuten-Mittelwerten). Für den Heizbetrieb ist durch die Auffächerung der „Leistungswolke“ in vier Teilbereiche der Lüftungsfahrplan mit variablem Volumenstrom (intermittierender Betrieb) zu erkennen.

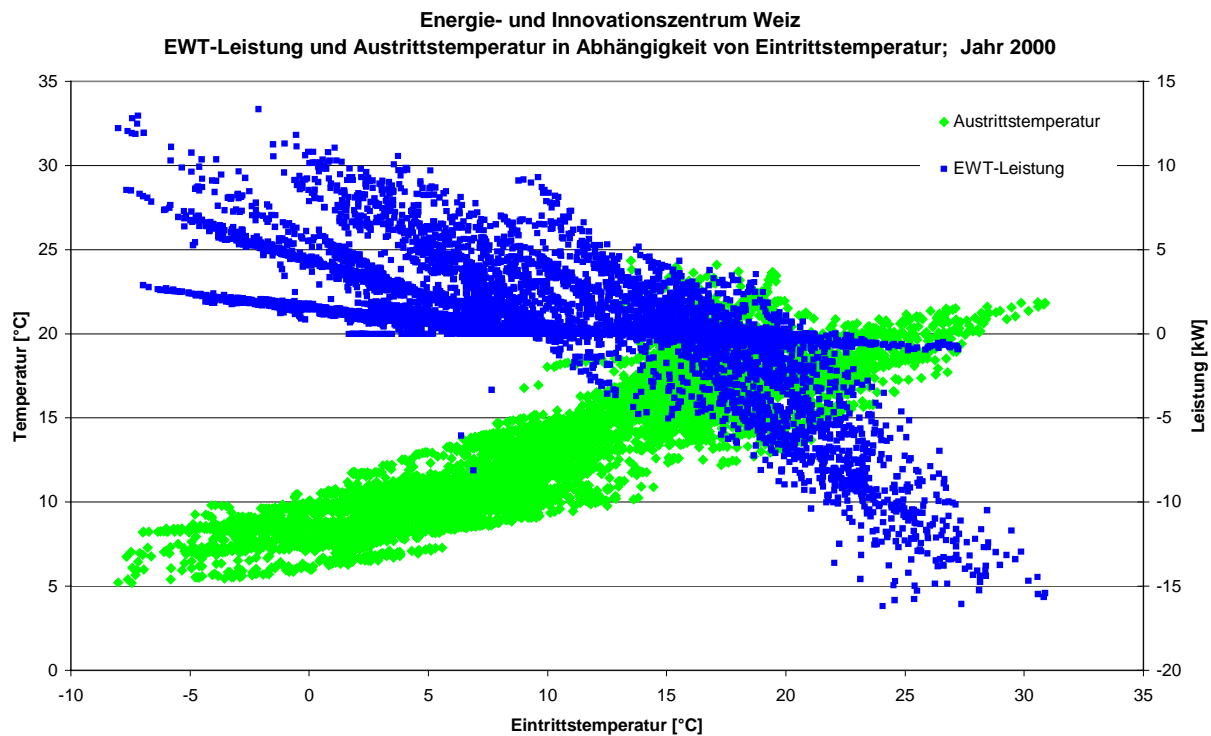


Abb. 4 - Leistungen und Austrittstemperaturen über der Eintrittstemperatur des L-EWT am W.E.I.Z. für das Messjahr 2000.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Planungs- und Auslegungssicherheit von L-EWT konnte einerseits durch die Erstellung von Planungstools und andererseits durch Messergebnisse bzw. den Erfahrungsaustausch von 15 im CRAFT-JOULE Projekt beteiligten Unternehmen erheblich verbessert werden, was eine breitere Umsetzung von effizienten L-EWT ermöglicht.

Luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher bilden grundsätzlich eine sinnvolle energiesparende Ergänzung - oder auch alleinige Alternative - zu konventionellen Heizungs- und Klimasystemen. Neben ökologischen Aspekten können bei frühzeitiger und integraler Planung aber auch ökonomisch konkurrenzfähige Systemlösungen umgesetzt werden. Als besonders sinnvoll stellte sich bei Kühlanwendungen die Kombination von L-EWT mit Nachtlüftungskonzepten, welche die Nachtkälte zur Entladung von erwärmten Massen (thermische Bauteilaktivierung) nutzen, heraus. Die kombinierte Nutzung von Erd- und Nachtkälte lässt kleinere L-EWT zu, was die Investitionskosten reduziert und somit die Wirtschaftlichkeit erhöht.