

Erd-Luft-Wärmetauscher (EWT) werden sehr häufig in Anlagen zur kontrollierten Be- und Entlüftung von Niedrigenergie- und Passivgebäuden eingesetzt. Ziel des Einsatzes von EWT ist es, den Heiz- und Kühlenergieverbrauch für die Luftkonditionierung zu reduzieren. Der folgende Artikel erläutert Einsatzbereiche, energetische Einflußgrößen, Wirtschaftlichkeit und Hygiene von EWT.

Erd-Luft-Wärmetauscher stellen eine technisch vergleichsweise einfache Möglichkeit zur Luftkonditionierung dar. Die Außenluftansaugung einer RLT-Anlage erfolgt über ein im Erdreich verlegtes Rohr oder Rohrregister. Ein Rohrregister besteht dabei aus mehreren parallel geschalteten Einzelrohren, die über einen Verteiler und einen Sammler verknüpft sind. Außer dem EWT werden, je nach Ausführung, nur wenige zusätzliche Komponenten benötigt. EWT sind daher in der Regel einfach in RLT-Anlagen für verschiedene Anwendungsbereiche zu integrieren.

Erdreich als saisonaler Speicher

Das Prinzip von Erd-Luft-Wärmetauschern beruht auf der Nutzung des Erdreichs als saisonalen, thermischen Speicher und als Kollektor. Durch die Eigenschaften des Untergrundes ergeben sich eine Dämpfung sowie eine Phasenverschiebung der Temperatur des Erdreichs gegenüber der Außenlufttemperatur. Dämpfung und Phasenverschiebung sind abhängig von der Tiefe der betrachteten Erdschicht. Schon in zwei Meter Tiefe schwanken die Erdreichtemperaturen in Deutschland während eines Jahres im allgemeinen nur zwischen ca. 5 und 15°C. Die Minimaltemperatur wird im März erreicht, die Maximaltemperatur im September. Die Temperatur des ungestörten Erdreichs folgt näherungsweise einem sinusförmigen Verlauf, wie in Bild 1 exemplarisch dargestellt.

Das für die thermische Nutzung des Erdreichs entscheidende Temperaturprofil wird von folgenden Faktoren maßgeblich bestimmt:

– klimatische Randbedingungen: Außen-temperatur, Sonneneinstrahlung, Wind, Niederschlag

Einflußgrößen, Wirtschaftlichkeit und Hygiene

Einsatz von Erdwärmetauschern



Passivhaus in 88682 Salem mit Erdwärmetauscher

– Erdreichparameter: Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Grundwassertiefe, Grundwassertemperatur

– Umgebungsbedingungen: nahegelegene Bebauung, Bewuchs auf der Erdoberfläche. Auf Grund der erdoberflächennahen Verlegung spielen geothermische Einflüsse nahezu keine Rolle.

Erwärmung und Kühlung

Erd-Luft-Wärmetauscher eignen sich wegen der im Erdreich herrschenden Temperaturen sowohl zur Erwärmung der Außenluft im Winter, als auch zur Kühlung im Sommer. In begrenztem Umfang können EWT im Sommer auch zur Luftentfeuchtung beitragen. Eine interessante Eigenschaft von Erd-Luft-Wärmetauschern ist, daß ihre Leistung mit „extremer“ werden den Außenlufttemperaturen zunimmt (sowohl im Heiz- als auch im Kühlfall), da die Leistung von der Differenz zwischen Erdreichtemperatur (relativ konstant) und Außenlufttemperatur abhängt. Die Heizleistung ist im Winter bei sehr tiefen Außen-temperaturen am größten (bei maximaler

Heizlast) und die Kühlleistung ist im Sommer bei sehr hohen Außentemperaturen am größten (bei maximaler Kühllast). Damit verhält sich das Leistungsangebot des EWT in erster Näherung proportional zum Leistungsbedarf für die Luftkonditionierung. Im allgemeinen bekannt sind Erd-Luft-Wärmetauscher vor allem durch die Anwendung in Lüftungssystemen von Niedrigenergie- und Passivhäusern. EWT können jedoch in nahezu allen RLT-Systemen eingesetzt werden. So liegen die Anwendungsbereiche von EWT in Wohnhäusern, Büro- und Verwaltungsgebäuden, Produktionsgebäuden bis hin zu Versammlungsstätten und Krankenhäusern. Ziele beim Einsatz von Erd-Luft-Wärmetauschern sind:

- Reduzierung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs
- Grundkühlung in Gebäuden, die sonst ohne Kühlmöglichkeit ausgestattet wären
- Schutz von nachgeschalteten WRG-Systemen vor fortluftseitiger Vereisung im Winter
- Kappung von Lastspitzen
- Teilentfeuchtung der Außenluft im Sommer (unkontrolliert)

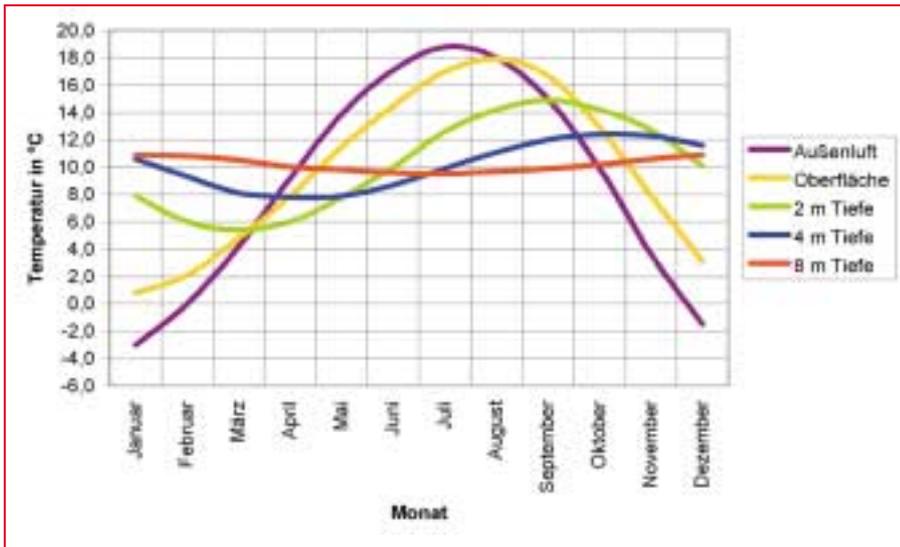


Bild 1 Jahrestemperaturverlauf (Monatsmittelwerte) von Außenluft, Erdoberfläche und ungestörtem Erdreich in verschiedenen Tiefen

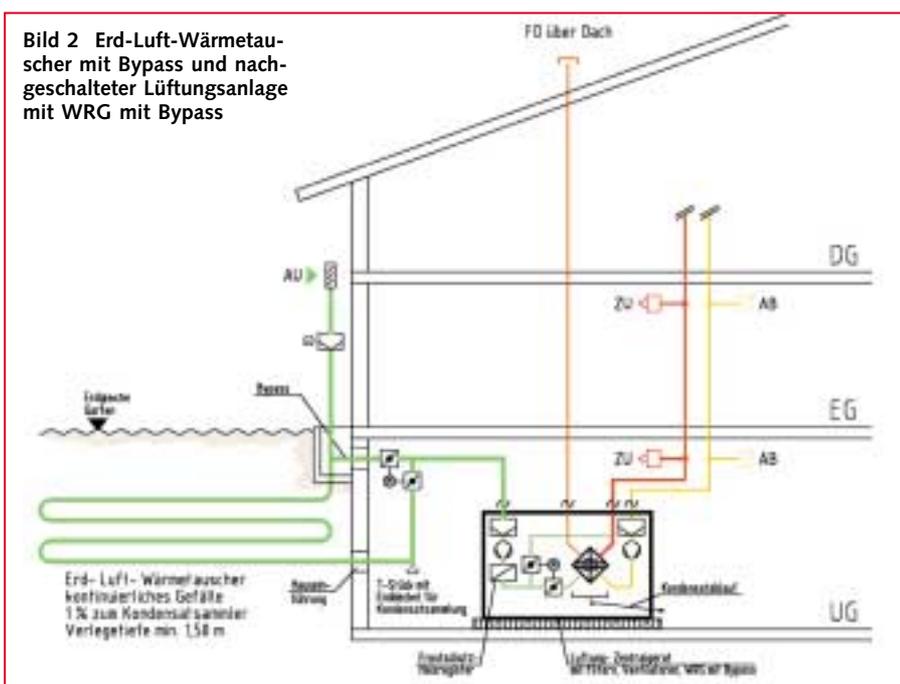
- Vorwärmung der Ansaugluft bei Luft/Luft- und Luft/Wasser-Wärmepumpen (Verbesserung COP im Mittel um bis zu ca. 0,8). Bei größeren Anlagen empfiehlt es sich aus energetischen Gründen, einen Bypass zum Erd-Luft-Wärmetauscher vorzusehen, so daß bei bestimmten Außenlufttemperaturen keine Abkühlung der Luft im EWT erfolgt. Außerdem ist auch ein Bypass zu einem eventuell nachgeschalteten WRG-System vorzusehen, so daß im Kühlfall keine Nacherwärmung der, durch den EWT vorgekühlten, Luft über die WRG erfolgt. Eine solche Anlage ist in Bild 2 dargestellt.

Energetische Einflußgrößen

Die wichtigsten energetischen Einflußgrößen für Erd-Luft-Wärmetauscher sind:

- Standort (klimatische Randbedingungen)
- Erdreichparameter
- Durchmesser des EWT-Rohres
- Länge
- Verlegetiefe
- Rohrwerkstoff

Die energetischen Parameter haben unterschiedlich starken Einfluß auf die Temperaturhübe (Leistungen) und die Energieerträge von Erd-Luft-Wärmetauschern. Die



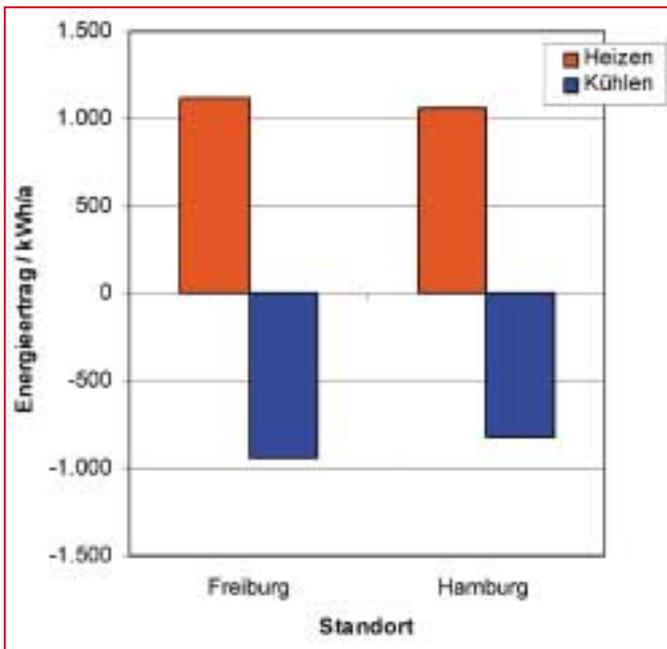


Bild 3 Jahresenergieerträge des Referenz-EWT an verschiedenen Standorten

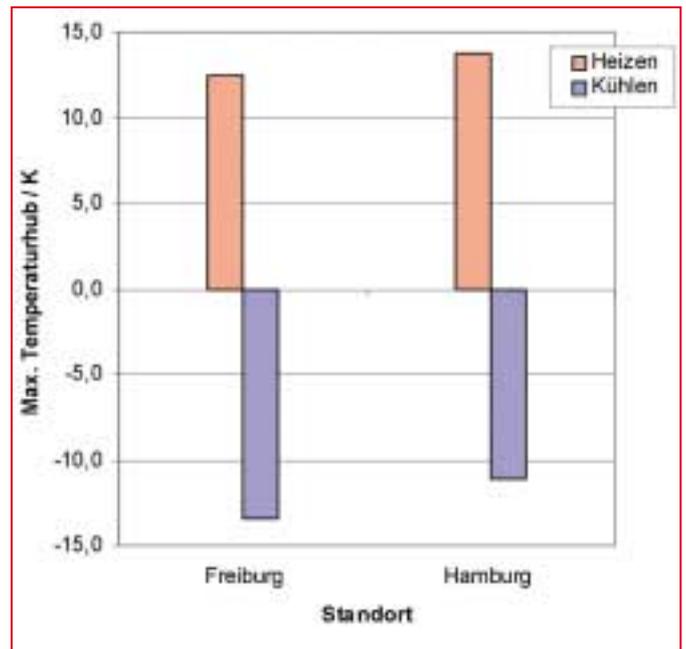


Bild 4 Maximale Temperaturhübe des Referenz-EWT an verschiedenen Standorten

Bedeutung der einzelnen Parameter für den Energieertrag eines EWT wurde mit dem Simulationsprogramm WKM 3.4 untersucht. Obwohl für bestimmte Anwendungen durchaus auch Temperaturhübe bzw. Leistungen in bestimmten Betriebspunkten interessant sind (z. B. bei EWT als Vereisungsschutz) ist meist der Energieertrag die bedeutendere Größe. Deshalb wird nachfolgend schwerpunktmäßig der Einfluß der energetischen Parameter auf den Energieertrag untersucht und weniger deren Einfluß auf Temperaturhub/Leistung. Als Grundlage für die Untersuchung dient ein Referenz-EWT mit folgenden Daten:

- Standort: Freiburg
- Luftvolumenstrom: 200 m³/h
- Fahrweise: 8760 h/a, 100 % Luftmenge (kein Bypass zum EWT vorhanden)
- Rohrverlegung: Einzelrohr; DN 200; Rohrmaterial PVC; 30 m lang; 2,0 m mittlere Verlegetiefe
- Erdreichart: Sand feucht
- Grundwassertiefe: 15 m
- Grundwassertemperatur: ganzjährig konstant 10 °C.

Nachfolgend werden die oben genannten energetischen Einflußgrößen genauer betrachtet.

Standort (klimatische Randbedingungen)

Die klimatischen Randbedingungen stellen einen wichtigen, gleichzeitig aber nicht beeinflussbaren Parameter bei der Dimensionierung von EWT dar. Da die Klimabedingungen an unterschiedlichen Standorten

erheblich differieren können, muß die Auslegung von EWT auf ausreichend genauen Wetterdaten beruhen. Es ist zu beachten, daß Jahresertrag und maximale Temperaturhübe (Maximalleistungen) gegensätzlich ausfallen können. So zeigt Bild 3, daß der Jahres-Heizenergieertrag am Standort Freiburg geringfügig größer ist als bei dem selben EWT am Standort Hamburg, während allerdings die maximale Heizleistung (maximaler Temperaturhub) am Standort Hamburg größer ist als am Standort Freiburg (Bild 4).

Erdreichparameter

Das Erdreich kann näherungsweise als Widerstände-Kapazitäten-Modell nachgebildet werden. Die Widerstände bilden dabei den Wärmeleitungsanteil ab, die Kapazitäten das thermische Speichervermögen. Die Wärmeleitfähigkeiten und Speicherkapazitäten der verschiedenen Erdreicharten variieren stark. Neben diesen Parametern spielen auch Grundwassertiefe und

Grundwassertemperatur eine Rolle. Die exakte Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs ist relativ aufwendig. Überdies ist zu beachten, daß der Einbau eines EWT auf Grund der Grabarbeiten und nachfolgender Hinterfüllung bei der Rohrverlegung immer auch Änderungen an der Struktur des Erdreichs bedingt. Oft wird aus Gewährleistungsgründen in der Nähe des EWT-Rohres ein anderes Verfüllmaterial gewählt als der gewachsene Boden. Dies erschwert die Bestimmung der Erdreichparameter zusätzlich. Die Simulationsrechnung zeigt, daß die Jahres-Energieerträge in Abhängigkeit vom Erdreichtyp, bei sonst gleichen Bedingungen, deutlich differieren können (Bild 5).

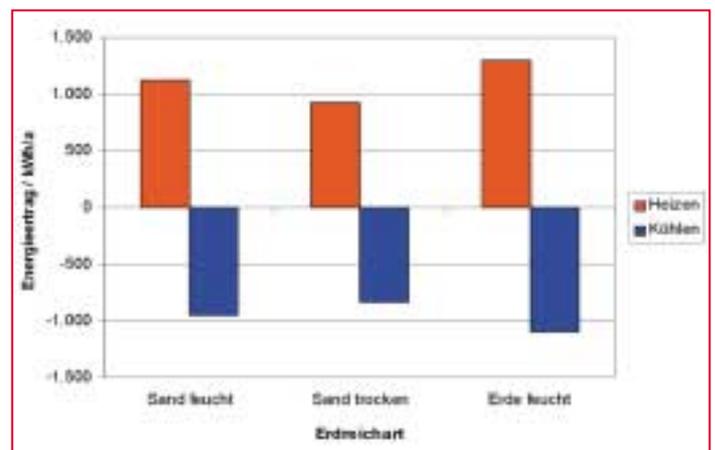


Bild 5 Jahresenergieerträge des Referenz-EWT bei verschiedenen Erdreicharten

Durchmesser des EWT-Rohres

Der Volumenstrom durch den EWT ist eine aus der nachgeschalteten RLT-Anlage vorgegebene feste Größe. Der Durchmesser des EWT-Rohres kann jedoch, neben anderen Parametern, variiert werden. Bei der Variation des Durchmessers wirken verschiedene, gegensätzliche Effekte: Bei konstantem Volumenstrom und größerem Durchmesser nimmt zunächst die Luftgeschwindigkeit ab, womit die Verweilzeit der Luft im EWT zunimmt. Außerdem wird das Verhältnis der wärmeübertragenden Fläche zu Volumenstrom größer und somit günstiger. Gleichzeitig wird der innere Wärmeübergang ungünstiger.

Die Simulationsrechnungen zeigen, daß der innere Wärmeübergang im Ergebnis geringfügig über der längeren Verweilzeit und

aber auch der Druckverlust zu. In der Praxis ist die Länge des EWT daher als Kompromiß zwischen Ertrag, Druckverlust, Investitionskosten und zur Verfügung stehender Verlegetiefe festzulegen.

Verlegetiefe des EWT

Im oberflächennahen Bereich gilt, je tiefer der Erd-Luft-Wärmetauscher verlegt wird, desto günstiger sind die thermischen Bedingungen für seinen Betrieb. Ab einer Tiefe von 10–12 m variiert die Temperatur des ungestörten Erdreichs je nach klimatischen Randbedingungen und Erdreichparametern nur noch um ca. 1 K über das Jahr, wobei die Mitteltemperatur bei ca. 8–10 °C liegt. Dabei ist zu beachten, daß auch das Grundwasser einen nicht unerheblichen Einfluß haben kann. Bild 8 zeigt den Einfluß der

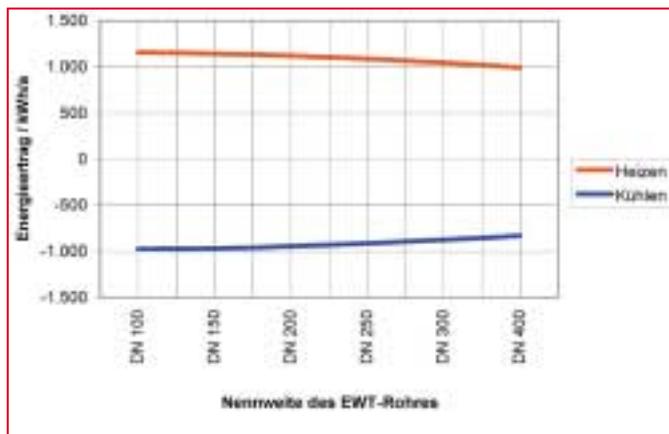


Bild 6 Jahresenergieerträge des Referenz-EWT bei verschiedenen Durchmessern (bei konstantem Volumenstrom)

dem größeren Verhältnis Oberfläche/Volumenstrom dominiert. D. h. der Durchmesser des EWT-Rohres sollte aus energetischer Sicht möglichst klein gewählt werden. Andererseits sind der Druckverlust und damit der Energiebedarf für die Luftförderung als wichtiges Kriterium zu beachten. Unter Berücksichtigung der genannten Punkte ergibt sich der Durchmesser des EWT-Rohres als Kompromiß zwischen Ertrag, Druckverlust und Investitionskosten.

EWT-Länge

Über die Länge des EWT kann die wärmeübertragende Fläche vergrößert und der Ertrag gesteigert werden. Allerdings steigt der Ertrag nicht linear mit der Rohrlänge, sondern weist einen asymptotischen Verlauf auf. Dies liegt in der treibenden Temperaturdifferenz zwischen Erdreich und Luft im EWT begründet. Diese treibende Temperaturdifferenz wird mit zunehmender Länge des EWT geringer, da sich die Temperatur des Luftstroms mit zunehmender Länge des EWT der Erdreichtemperatur weiter annähert. Mit der Rohrlänge nimmt

Verlegetiefe auf den Ertrag eines EWT. In der Praxis wird die Verlegetiefe durch die Investitionskosten begrenzt. Auch diese Größe ist deshalb als Kompromiß zwischen Ertrag und Herstellkosten festzulegen, wobei die Verlegetiefe jedoch mindestens 1,5 m unter Gelände liegen soll.

Rohrwerkstoff

Häufig herrscht Unklarheit über den Einfluß des Rohrmaterials auf den Ertrag eines EWT. Sowohl Simulationsrechnungen als auch Erfahrungen aus der Praxis zeigen, daß dem Rohrwerkstoff nur geringe Bedeutung zukommt, wie aus Bild 9 ersichtlich. Auch die in letzter Zeit häufiger eingesetzten flexiblen doppelwandigen Kunststoffrohre (Kabelschutzrohre) mit gewelltem Außenmantel und glattem Innenrohr schneiden im Vergleich zu einwandigen Rohren kaum schlechter ab. Zwar sind im Bereich der Wellen des Außenrohres jeweils Luftzwischenräume vorhanden, die dämmend wirken. Durch die vergrößerte Außenoberfläche der Rohre wird dies jedoch größtenteils kompensiert. In der Praxis wird

Lüftung

der Rohrwerkstoff daher vor allem anhand der Kriterien Investitionskosten, Dichtigkeit, Langlebigkeit und Hygiene ausgewählt.

Weitere Einflußgrößen

Neben den bislang diskutierten Parametern gibt es noch einige weitere Einflußgrößen, die bei bestimmten Verlegearten zu betrachten sind. So z. B. der Einfluß eines Gebäudes bei Verlegung des EWT neben oder unter dem Gebäude. Des weiteren interessiert bei Erd-Luft-Wärmetauschern, die als Register verlegt werden, der Einfluß des Abstandes der einzelnen Rohre, sowie der Einfluß der Anzahl der Einzelrohre. Diese Parameter weisen teilweise komplexe Abhängigkeiten zu anderen Einflußgrößen auf und lassen sich daher nicht allgemein darstellen. Sinnvollerweise werden diese Parameter daher mittels Simulation spezifisch für ein konkretes Projekt variiert und optimiert.

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Erd-Luft-Wärmetauscher verursachen sowohl Investitions- als auch Betriebskosten. Die Investitionskosten können in verschiedenen Projekten mit gleichem EWT-Ertrag stark variieren (abhängig von Umfang der Erdarbeiten, Rohrmaterial, Anzahl Formstücke, zur Verfügung stehende Fläche usw.). Daher können die Kosten, insbesondere bei größeren Projekten, nur projektspezifisch ermittelt werden. Bei kleinen EWT (z. B. für Einfamilienhäuser) kann mit Kosten ab ca. 2500 Euro (inkl. MwSt.) gerechnet werden. Die Betriebskosten werden im wesentlichen durch den zusätzlichen Stromverbrauch der Ventilatoren zur Überwindung des Druckverlustes des EWT einschließlich des Vorfilters sowie durch den periodischen Wechsel des Vorfilters verursacht. Zusätzlich können noch Inspektions-, Wartungs- und Reinigungskosten anfallen. Bei einer Wirtschaftlichkeitsberechnung ist das gesamte System, d. h. einschl. nachgeschalteter Lüftungsanlage, zu betrachten. So wird z. B. ein dem EWT nachgeschaltetes WRG-System einen geringeren Jahresertrag liefern als ohne EWT. Diese Effekte sind in einer ganzheitlichen energetischen und wirtschaftlichen Betrachtung mit zu berücksichtigen, um so das tatsächliche Energieeinsparpotential des EWT in Verbindung mit dem Gesamtsystem zu ermitteln.

Auf Grund der von Projekt zu Projekt stark variierenden Investitionskosten ist eine pauschale Aussage zur Wirtschaftlichkeit von EWT nicht möglich. Im allgemeinen liegen die spezifischen Wärme- und Kältekosten

Bild 7 Jahresenergieerträge des Referenz-EWT bei verschiedenen EWT-Längen

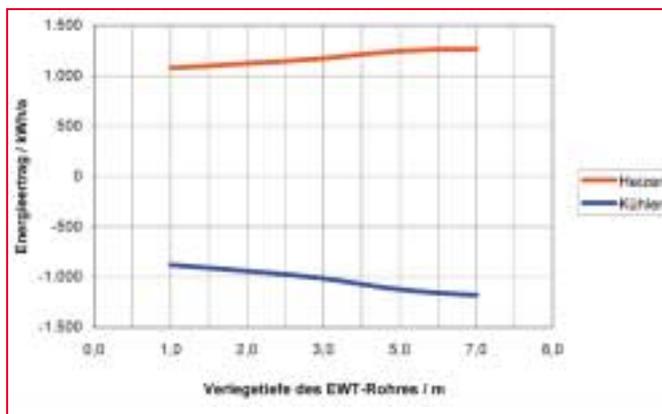
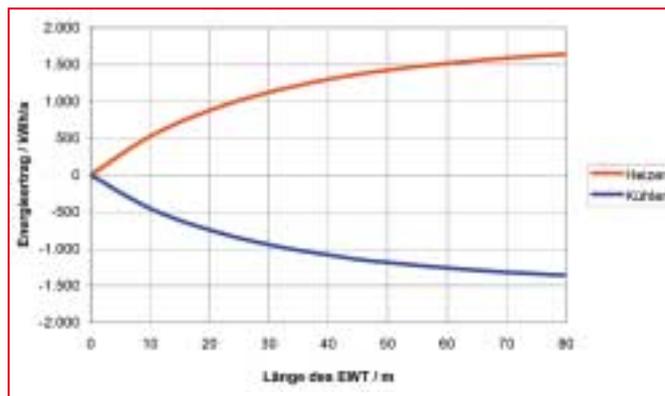


Bild 8 Jahresenergieerträge des Referenz-EWT bei verschiedenen Verlegetiefen

bei Anlagen mit EWT jedoch höher, teilweise deutlich höher, als bei „konventionellen“ Systemen ohne EWT. In besonderen Anwendungsfällen, z. B. bei Passivhäusern mit kontrollierter Lüftung mit WRG und Abluftwärmepumpe, die über kein herkömmliches Heizsystem verfügen, können EWT teilweise wirtschaftlich dargestellt werden. Die Wirtschaftlichkeit in diesen Fällen beruht u. a. auch darauf, daß mit richtig ausgelegtem EWT auf eine (oft elektrische) Frostschutzheizung zur Vermeidung von fortluftseitiger Vereisung der WRG verzichtet werden kann. Die Hauptvorteile von Erd-Luft-Wärmetauschern liegen jedoch nicht im wirtschaftlichen Bereich, sondern in der Energieeinsparung. Erd-Luft-Wärmetauscher sind regenerative Energiesysteme und leisten dadurch einen Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Umweltschutz. Diese ökologischen Aspekte sind für Bauherren in der Regel die Hauptmotivation.

Hygienische Aspekte

Die hygienischen Aspekte von Erd-Luft-Wärmetauschern wurden in mehreren Studien an in Betrieb befindlichen Anlagen untersucht. Dabei interessieren insbesondere mikrobielle Belastungen. Da es im EWT bei bestimmten Betriebszuständen zur Kon-

densation kommen kann, finden Mikroorganismen (Pilze, Sporen, Bakterien) zeitweise Voraussetzungen zum Wachstum. Die Konzentration an Pilzen und Bakterien nach dem EWT ist sowohl jahreszeitlich abhängig (vor allem die Pilzkonzentration der Außenluft unterliegt ausgeprägten jahreszeitlichen Schwankungen), als auch abhängig von der untersuchten Pilz- bzw. Bakterienart. Vom Herbst bis ins Frühjahr wird im allgemeinen die Pilz- und Bakterienkonzentration der Außenluft im Erd-Luft-Wärmetauscher verringert. Im Sommer kann es dagegen zu einer Erhöhung der Konzentration im EWT kommen, bedingt durch die höheren Temperaturen und die höhere Wahrscheinlichkeit der Kondensation. Die Pilz- bzw. Bakterienkonzentration in der Zuluft liegt jedoch ganzjährig deutlich unter der der Außenluft. Dies ist durch den dem EWT nachgeschalteten Filter (im Lüftungsgerät) begründet. Die Keimkonzentration nimmt mit zunehmender Qualität des Filters nach dem EWT weiter ab. Weitere mögliche Luftbelastungen sind gasförmige Verunreinigungen (z. B. Radon aus Erdreich), flüchtige organische Verunreinigungen (z. B. Formaldehyd, chlorierte Kohlenwasserstoffe) oder auch Staub. Es hat sich jedoch nicht bestätigt, daß die Belastungen der Raumluft in Gebäuden mit EWT höher sind als in Gebäuden ohne

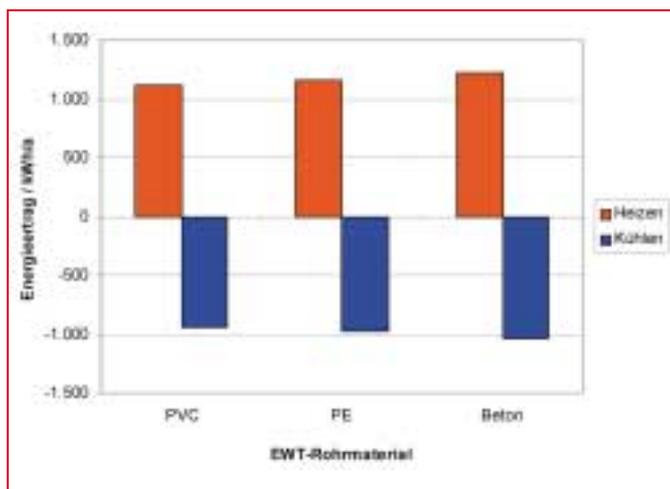


Bild 9 Jahresenergieerträge des Referenz-EWT bei verschiedenen Rohrmaterialien

schaftlich oft nicht konkurrenzfähig, sie leisten jedoch einen Beitrag zur Verringerung des Energieverbrauchs von Gebäuden und damit

EWT. Vielmehr ist, bedingt durch die kontinuierliche Lüftung und die Außenluftfilter, die Qualität der Raumluft in Gebäuden mit EWT und Lüftungsanlage besser als in nicht kontinuierlich gelüfteten Gebäuden.

Aus hygienischer Sicht bestehen nach den bislang durchgeführten Untersuchungen keine Bedenken gegen den Einsatz von Erd-Luft-Wärmetauschern. Allerdings ist in jedem Fall vor dem EWT ein Grobstaubfilter und nach dem EWT (beim Eintritt in das Lüftungsgerät) ein Feinstaubfilter einzubauen. Die Filter sind regelmäßig zu kontrollieren und bei Bedarf zu tauschen. Des Weiteren sind bei Planung und Betrieb von Erd-Luft-Wärmetauschern, wie bei gewöhnlichen Lüftungssystemen auch, die einschlägigen Vorschriften zu beachten, insbesondere DIN 1946 Teil 2 und VDI-Richtlinie 6022 Blatt 1.

Erd-Luft-Wärmetauscher sind lüftungstechnische Komponenten, die schon seit längerer Zeit erfolgreich in RLT-Systemen in verschiedensten Gebäuden eingesetzt werden. Die technischen Kriterien, die bei Planung und Ausführung zu beachten sind, sind hinreichend bekannt und basieren sowohl auf theoretischen Grundlagen als auch auf praktischen Erfahrungen. Für die Dimensionierung und Optimierung von EWT in der Planungsphase, die sinnvoll nur mit geeigneter Simulationssoftware erfolgen kann, stehen entsprechende, validierte Programme zur Verfügung.

Die häufig geäußerten Bedenken in hygienischer Hinsicht (insbesondere mikrobielle Belastungen in Verbindung mit zeitweiser Kondensation im EWT im Sommer) konnten in Studien nicht bestätigt werden. Voraussetzung hierzu ist eine hygienegerechte Planung und Ausführung.

Zwar sind Erd-Luft-Wärmetauscher gegenüber „herkömmlichen“ Systemen wirt-

zur Ressourcenschonung und zum Umweltschutz. Verstärkt durch den Trend zum Bau von Gebäuden mit immer geringerem Energiebedarf und immer dichter Gebäudehülle werden zunehmend mehr Lüftungsanlagen mit EWT installiert. Erd-Luft-Wärmetauscher etablieren sich damit als Standardelemente in raumluft-technischen Anlagen.

Literatur

- [1] BINE Informationsdienst des Fachinformationszentrums Karlsruhe: Raumluftkonditionierung mit Erdwärmetauschern. Projektinfo 2/00
- [2] Dibowski, G.; Wortmann, R.: Luft-Erdwärmetauscher, Teil 1 Systeme für Wohngebäude, Kurzfassung, erstellt im Rahmen des L-EWT-Verbundprojektes der Arbeitsgemeinschaft Solar Nordrhein-Westfalen. 2002
- [3] DIN 1946-2 Raumlufttechnik – Gesundheits-technische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln). Beuth Verlag. Berlin. Januar 1994
- [4] VDI 6022 Blatt 1 Hygienische Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen in Büro- und Versammlungsräumen. VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung. Beuth Verlag. Berlin. Juli 1998
- [5] Evers, M.; Henne, A.: Simulation und Optimierung von Luftleitungs-Erdwärmeübertragern, Bericht in „Technik am Bau –TAB“. Heft 12/99
- [6] Flückinger, B.; Wanner, H.; Lüthy, P.: Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern. ETH Zürich. Fachbereich Umwelthygiene. Februar 1997
- [7] Huber, A.: Benutzerhandbuch für WKM Version 3.4 – PC-Programm zur Auslegung von Luft-Erdregistern. Huber Energietechnik. Zürich. Februar 2002



Dipl.-Ing. (FH) Markus Betz

ist Projektleiter bei der T.P.I. Trippe und Partner Ingenieurgesellschaft mbH, Karlsruhe, Telefon (07 21) 18 10 51, Telefax (07 21) 18 10 99, E-Mail: markus.betz@tpi-online.de