

Wärmepumpe mit Kältemitteldirektverdampfung

Stichwörter:

Wärmepumpe; Erdreichkollektor mit Direktverdampfung; Gebäudeheizung; Warmwasserbereitung; Verdichterausfälle, erhöhter Energiebedarf.

Streitpunkt:

Mehrere Verdichterausfälle; erhöhter Energiebedarf wegen langer Laufzeiten; zu niedrige Warmwassertemperatur

GUTACHTEN (Kurzfassung)

Gegenstand der Untersuchung ist eine Wärmepumpe mit Kältemitteldirektverdampfung zur Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung.

Anlass der Untersuchung sind mehrere Verdichterausfälle und ein erhöhter Energiebedarf, die nach Auffassung der Beklagten nicht auf fehlerhafte Dimensionierung, sondern auf das Fehlen des Außenputzes am Gebäude zurückzuführen sind. Der daraus resultierende höhere Wärmebedarf führt zu verlängerten Laufzeiten und schließlich zu häufigen Verdichterausfällen.

Fazit des Gutachtens

Die Wärmepumpe ist ausreichend dimensioniert, aber der eingesetzte Verdichter ist für die im Winter zu erwartenden Betriebsbedingungen ungeeignet. Der fehlende Außenputz hat nur geringen Einfluss auf den Wärmebedarf.

Das ausführliche Gutachten finden Sie umseitig.

Wärmepumpe mit Kältemitteldirektverdampfung in Erdreichkollektoren zur Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung

Stichwörter: Wärmepumpe; Erdreichkollektor mit Direktverdampfung; Gebäudeheizung; Warmwasserbereitung; Verdichterausfälle, erhöhter Energiebedarf.

Streitpunkt: Mehrere Verdichterausfälle; erhöhter Energiebedarf wegen langer Laufzeiten; zu niedrige Warmwassertemperatur

G U T A C H T E N

1. Grundlagen

Es liegen zugrunde:

Das Schreiben des Amtsgerichts zur Erstattung eines Gutachtens,
der Beweisbeschluss des Amtsgerichts ...

die Akten,

das Gutachten des Unterz. ...

die VDI-Richtlinie 4060 Blatt 1 und Blatt 2,

eingeholte Erkundigungen bei Firmen und Einrichtungen, z.B.

Öko-Institut Freiburg

Bundesverband Wärmepumpe e.V.

BDH Bundesverband Haus, Energie und Umwelttechnik e.V.

Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie

Fraunhofer Institut Bauphysik

Hessisches Landesamt Umwelt und Geologie

Deutscher Wetterdienst.

2. Beschluss des Amtsgerichts ...

Demgemäß soll Beweis erhoben werden über die Behauptungen der Beklagten

1.

die Wärmepumpe sei auf der Basis der auf Grundlage für den Vertragsabschluss vorgelegten Unterlagen ausreichend dimensioniert gewesen,

2. die Wärmepumpe sei wegen Fehlens des Außenputzes am Gebäude überlastet,

3.

grundsätzlich sei der Kompressor auch für das Anwesen der Klägerin ausreichend. Das Problem liege lediglich darin, dass das Haus nicht verputzt sei. Wäre das Haus ordnungsgemäß verputzt, wäre auch der Kompressor ausreichend,

4.

bei der Dimensionierung der Wärmepumpe sei entsprechend den Vorgaben von ... ein 4-Personen-Haushalt zugrunde gelegt worden. Die eingebaute Wärmepumpe mit einer Leistung von 13,5 kW sei ausreichend dimensioniert und auch für die Warmwasserversorgung geeignet.

5.

in der VDI 4640 sei die tiefste Bodentemperatur mit minus 5 Grad angegeben worden. Danach arbeitet die eingebaute Wärmepumpe gar nicht bei angenommenen minus 10 Grad.

6.

Das Problem lasse sich durch den Austausch eines Kompressors nicht lösen, vielmehr sei das Anbringen eines Außenputzes notwendig.

3. Gutachterliche Stellungnahme zum Beweisbeschluss

3.1 Zu 1.:

Wie aus dem Gutachten vom .. zu entnehmen ist, wurde die Leistung der Wärmepumpe ausreichend bemessen. Gemäß Wärmebedarfsberechnung wurde für das verputzte Haus ein Norm-Wärmebedarf von 9,95 kW ermittelt, für den Fall des fehlenden Putzes ein solcher von 11,729 kW. Auch der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung wird abgedeckt.

Als Heizleistung ergab sich aus den Firmenunterlagen der Wert von 14,40 kW; lt. Beweisbeschluss sind es 13,5 kW.

Im Gutachten wurde als Leistungsreserve für das verputzte Haus ein Wert von 4,45 kW, für das unverputzte Haus ein solcher von 2,67 kW genannt, bezogen auf die Wärmeleistung von 14,40 kW. Gegenüber den angegebenen 13,5 kW Wärmeleistung verringert sich die Reserve entsprechend, ist jedoch noch immer vorhanden. Dabei stellt der Normwärmebedarf den rechnerischen Extremfall dar, der je nach Witterungsverhältnissen nie oder nur selten eintritt.

3.2 Zu 2.:

Die Beklagte trägt vor, die Wärmepumpe sei wegen des fehlenden Außenputzes überlastet gewesen. In ihrem Schriftsatz vom ... ist auf Seite 6 ausgeführt, bei fehlendem Außenputz dringe Feuchtigkeit in den Stein ein, was zu einem zusätzlichen Wärmebedarf von 20 bis 30 kW liegen könne. Der erhöhte Wärmebedarf beruhe somit auf der fehlenden Dämmung, nur die feuchten Wände und die fehlende Luftdichtheit erklärten den erhöhten Wärmebedarf.

Hierzu sei wie folgt ausgeführt:

Eine wie behauptete Durchfeuchtung des Mauerwerks setzt voraus, dass die Oberfläche direkt mit der Feuchtigkeit in Kontakt kommt. Dies ist jedoch nur bei Schlagregen der Fall. Liegt ein derartiges Witterungsverhältnis nicht vor, so erfolgt auch keine Durchfeuchtung. Es ist also nicht so, dass das Mauerwerk die Feuchtigkeit aus der Luft aufnimmt und sich damit sättigt. Voraussetzung ist der direkte Kontakt mit der Flüssigkeit, die nur bei Schlagregen auf die Außenwände auftrifft.

Schlagregen tritt jedoch nur auf der westlichen Seite bzw. derjenigen Hausseite, die dem Westen zugewandt ist, auf. Im vorliegenden Fall ist eine direkte Lage nach Westen nicht gegeben, betroffen ist daher die Nordwestseite. Von einer Durchfeuchtung kann somit nur dieser Hausteil betroffen sein, und hier wiederum nur die nordwestlichen Außenwände, d.h. das Dach und alle anderen dieser Himmelsrichtung abgewandten Gebäudeseiten sind nicht betroffen. Die be-

troffenen Flächen sind daher sehr begrenzt. Die im Zuge dieser Begutachtung hierzu befragten fachlich vertrauten Stellen bestätigten dieses an sich bekannte meteorologische Verhalten.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Schlagregen nicht unter winterlichen Witterungsverhältnissen auftritt, sondern in der Übergangszeit und besonders im Sommer. Damit besteht nur ein eingeschränkter Einfluss auf die Leistung der Wärmepumpe in der Weise, dass sie bezüglich der Leistungsanforderung außergewöhnlich beansprucht würde.

In den Zeiten der Heizperiode, in der Schlagregen auftreten kann, beträgt der Wärmebedarf nur max. etwa die Hälfte des Normwärmebedarfs. Bis zur vollen Inanspruchnahme vergeht genügend Zeit, dass das Mauerwerk eventuell aufgenommene Feuchtigkeit wieder an die Umgebung abgibt.

Dabei weisen die verwendeten Megalithsteine eine besonders günstige Eigenschaft des Austrocknens auf. Dies ergab eine Rückfrage bei der die Steine bzw. deren Nachfolgeprodukte herstellenden Firma und den dem Unterz. zugesandten Unterlagen hervor.

So beträgt der für das Austrocknen maßgebliche „s-Wert“ für Megalithsteine 0,28, während im Vergleich dazu etwa für Kalksandstein ein Wert von 1,2, für Leichtbeton 1,4, für Beton 1,6 angegeben sind. Die Megalithsteine trocknen somit besonders schnell wieder aus. Der Trocknungsvorgang ist dabei naturgegeben und beruht auf dem Konzentrationsausgleich des Feuchtegehaltes von Mauerwerk und Umgebungsluft.

Dabei ist dieser wiederum unabhängig davon, ob das Mauerwerk verputzt ist oder nicht. Megalith-Steine und Außenputz weisen näherungsweise denselben „Wasserdampf-Diffusionskoeffizienten“ (μ) auf, mit einem Wert zwischen 5 und 10. Für Luft ist μ gleich 1 gesetzt, Volllochziegel weisen einen μ -Wert von ca. 100.000 auf. Der fehlende Außenputz hatte somit keinen nachteiligen Einfluss auf das Austrocknungsverhalten der Wände.

Um den Einfluss einer Durchfeuchtung der nordwestlich gelegenen Außenwände auch zahlenmäßig zu untersuchen, wurde in einer nochmals durchgeführten Wärmebedarfsberechnung des Hauses der Wärmedurchgangskoeffizient k dieser Außenwände gleich $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ gesetzt. Dies entspricht einem nahezu durchfeuchteten Mauerwerk. Der k -Wert der verputzten Wände beträgt dagegen $0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Man erhält damit den Wärmebedarf zu 13.214 W , der somit immer noch kleiner ist als die Wärmeleistung der Wärmepumpe. Somit zeigt das Ergebnis, dass auch bei einer Durchfeuchtung der nordwestseitig gelegenen Wände die Wärmepumpe noch immer nicht überlastet war.

Zu der als Anlage beigefügten Berechnung sei erläutert, dass es sich um eine reaktivierte frühere Berechnung handelt, bei der als Vergleich das verputzte

Haus zugrunde liegt. Der für $k = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ gefundene Wärmebedarf beträgt 11.210 W und wurde umgerechnet mit dem Faktor, der sich für das unverputzte Haus ergibt. Der Faktor beträgt $1,178$, der zu dem hier ausgewiesenen Ergebnis von $11.210 \text{ W} \times 1,178 = 13.214 \text{ W}$ führt.

Zur Frage der Luftdurchlässigkeit der Wände infolge des fehlenden Außenputzes sei zunächst wiederum auf das Nachtragsgutachten verwiesen, demgemäß das Haus mit einem dichten Innenputz versehen war. Eine solche Maßnahme ist vollkommen ausreichend, um das Mauerwerk gegen Luftdurchlässigkeit abzuschotten.

Auch hierzu wurde der Ratschlag von Fachpersonen eingeholt und zudem die hierfür maßgebliche Norm herangezogen. Es handelt sich um die DIN 4108, Teil 7, in der unter Ziff. 5.2.1 wie folgt ausgeführt ist:

„Bei Mauerwerk ist es in der Regel zum Herstellen einer Luftdichtheit erforderlich, eine Putzlage aufzubringen“.

Es ist auch einleuchtend, dass es für eine Abschottung gegen Luftdurchtritt ausreicht, dass eine Wandseite luftdicht verschlossen ist, in diesem Fall die Innenseite. Damit soll natürlich nicht gesagt werden, ein Außenputz sei grundsätzlich nicht erforderlich. Dies ist einerseits durch Gründe der Optik und des Aussehens bedingt, andererseits stellt ein Abschluss mit Außenputz auf längere Zeit gesehen eine Sicherheit der Außenwände gegen Umgebungseinflüsse dar.

3.3 Zu 3.:

Wiederum unter Bezugnahme auf das Vorgutachten sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Einsatzgrenzen des Wärmepumpenkompressors nach oben hin durch die maximale Verflüssigungstemperatur, nach unten hin durch die minimale Verdampfungstemperatur bestimmt werden. Die obere Grenze ergibt sich durch die Notwendigkeit, Brauchwasser von üblicher Nutzungstemperatur bereitzustellen. Dass dies nicht erreicht wurde, geht aus dem Gutachten hervor.

Die untere Betriebsgrenze ergibt sich aus der Temperatur des Erdreiches, wobei die Betriebstemperatur, das ist die Verdampfungstemperatur des Kältemittels, wegen des Wärmedurchgangswiderstandes zwischen Erdreich und Kältemittel etliche Grade tiefer liegt.

Die Erdwärmennutzung erfolgt im vorliegenden Fall mittels Rohrschlangen, die im Erdreich in etwa $1,5 \text{ m}$ Tiefe verlegt wurden, innerhalb des sogen. oberflächennahen Bereichs. Das Erdreich stellt in diesem Fall den Wärmespeicher dar, der mittels der Wärmepumpe abgekühlt wird. In diesem Bereich des Erdreiches erfolgt kein Nachströmen aus den tieferen Erdreichschichten, der sogen. geothermische Wärmestrom ist vernachlässigbar. Ausschlaggebend sind die Sonneneinstrahlung und die Wärmeabgabe durch Sickerwasser.

Im Verlauf der Heizperiode ist es daher normal, dass der Wärmespeicher ausfriert, sich somit Temperaturen bis weit unter Null Grad Celsius einstellen. Ge-

nau dieses Verhalten und die Besonderheiten der oberflächennahen Wärmenutzung kommen auch in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1, Ziff. 3.1, Wärmeregime im Untergrund, zum Ausdruck.

Damit ist systembedingt eine Auskühlung des Erdreiches innerhalb der Heizperiode unvermeidbar. Da bereits anlässlich des ersten Ortstermins am ... eine Verdampfungstemperatur von -3°C gemessen wurde, ist es aus Sicht des Unterz. überaus realistisch, davon auszugehen, dass die Verdampfungstemperatur im weiteren Verlauf der Heizperiode bis auf die angegebenen -7 bis -10°C abnimmt.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Bodeneigenschaften zum Teil sehr stark variieren, damit auch die Wärmenutzung sehr ortsabhängig sein kann. Eine auch per Norm definierte Untergrenze der Erdreichtemperatur existiert nicht. Wiederum sei auf die VDI 4640, Blatt 2, Tabelle 1, verwiesen. In dieser sind sogen. spezifische Entzugsleistungen für 1800 und 2400 Jahresbetriebsstunden angegeben.

Für beispielsweise 1800 Jahresbetriebsstunden ist für „trockenen, nichtbindenden Böden“ eine spezifische Entzugsleistung von 10 W/m^2 , für „bindenden, feuchten Boden“ $20\text{-}30\text{ W/m}^2$ und für „wassergesättigten Sand/Kies“ 40 W/m^2 angegeben. Die Werte unterscheiden sich somit um bis zum Vierfachen.

Entsprechendes gilt für die Wärmeleitfähigkeit der Böden. Hier findet man in Tabelle 1 der VDI 4640, Teil 1, für 26 Gesteinsarten sogen. „volumenbezogene spezifische Wärmekapazitätswerte“. Sie reichen von ca. 1 bis $3\text{ MJ}/(\text{m}^3\text{ K})$, unterscheiden sich somit um bis zum Faktor 3. Die ebenfalls angegebene typische Wärmeleitfähigkeit reicht von $0,4$ bis $6,0\text{ W}/(\text{m K})$ und kann ebenfalls als ein Maß für die Wärmenutzung des Erdreiches verstanden werden. Die Werte erweisen sich insgesamt, wie nicht unerwartet, als recht uneinheitlich.

Auch ein Auftauen der Vereisung des Bodens ist im Frühjahr noch nicht sichergestellt (VDI 4640 Blatt 2 Ziff. 4.2.1). In derselben Richtlinie ist zudem unter Ziff. 6.1 noch darauf hingewiesen, dass bei Anlagen mit Direktverdampfung, wie dies hier der Fall ist, niedrigere Rohrintemperaturen auftreten als bei der Verwendung eines Wärmeträgermediums. Bei Direktverdampfung lässt sich die untere Betriebstemperatur weniger gut regeln als bei Verwendung eines Wärmeträgers (Wasser, Sole-Wassergemisch).

Es soll damit zum Ausdruck gebracht werden, dass es einen festen unteren Wert für das Erdreich und damit die sich einstellende untere Betriebsgrenze der Wärmepumpe nicht gibt. Die Verhältnisse sind lokal sehr verschieden. Die im Gutachten genannte Verdampfungstemperatur mit -7 bis -10°C ist durchaus realistisch und wird somit auch durch die Normen gestützt.

3.4 Zu 4.:

Wie bereits weiter vorn ausgeführt wurde, erfolgte die Leistungsbemessung der Wärmepumpe im Hinblick auf die Deckung des Wärmebedarfs einschließlich

der Brauchwassererwärmung in ordnungsgemäßer Weise. Dies gilt jedoch nicht bezüglich der Eignung des Kompressors für die zur Wassererwärmung erforderliche Temperatur. Wie im Gutachten ausgeführt, ist hierfür eine Kondensatontemperatur von mindestens 58°C erforderlich. Hierbei liegt der Kompressor außerhalb seiner Einsatzgrenze.

Zudem sei daran erinnert, dass es vor der Begutachtung zu nachweisbar mindestens 3 Kompressorausfällen kam. Da eine Durchfeuchtung/Durchlüftung der Außenwände in dem behaupteten Umfang auszuschließen ist, die zur Folge gehabt hätte, dass der Kompressor dadurch überlastet wurde, können die Schadensfälle nur mit der Nichteignung des Kompressors für den vorliegenden Einsatzfall begründet werden.

3.5 Zu 5.:

Da keine nähere Stellenangabe der zitierten VDI-Richtlinie bezüglich der Bodentemperatur von minus 5 Grad gemacht ist, wird davon ausgegangen, dass damit das Blatt 2 der Richtlinie 4060, Ziffer 4.2.1 Verlegetiefe und –abstand angesprochen ist. Hier ist für den Fall ohne Wärmeentnahme ausgeführt, dass die Bodentemperaturen in 1 m Tiefe noch den Gefrierpunkt erreichen können und noch in 2 m Tiefe die minimale Temperatur bei ca. + 5°C liegt.

3.6 Zu 6.:

Wie sich aus vorstehenden Ausführungen ergibt, hält der Unterz. seine bisherigen Feststellungen aufrecht, wonach der Kompressor für den Einsatzfall ungeeignet war und ausgewechselt werden muss. Die Nichteignung für den Einsatzfall wurde auch von dem Vertreter des Kompressorherstellers am bestätigt (Schreiben liegt den Akten bei, wurde auf Ersuchen der Beklagten nachgereicht).

Zusammenfassend folgt, dass der fehlende Außenputz nicht die Ursache war, und sich der im Gutachten ausgewiesene Betriebsbereich der Wärmepumpe zutreffend erweist. Der Kompressor war für den Einsatzfall ungeeignet.