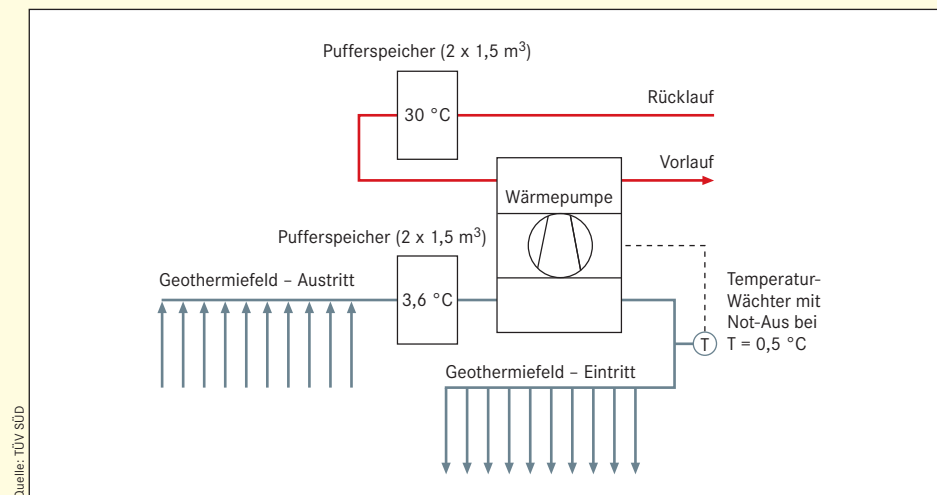


Fehlfunktionsanalysen in der Heizungs-, Klima- und Gebäudetechnik

Jörg Sager

Oberflächennahe Geothermie wird zunehmend zur Klimatisierung von Bürogebäuden eingesetzt. Dass Fehler bei der Planung Folgen haben können, zeigt der Ausfall einer Geothermie-Wärmepumpenheizung in einem Bürogebäude, der schließlich zu einem Rechtsstreit vor einem Landgericht führte.



Das Bild zeigt schematisch den Aufbau des Heizsystems im Bürogebäude. Eine Wärmepumpe überführt die Wärme aus dem Erdboden in den Heizkreislauf. Ein Temperaturwächter im Vorlauf des Sondenfeldes (= Geothermiefeld - Eintritt) schaltet die Anlage aus, sobald die Temperatur den Wert von 0,5 °C unterschreitet.

Steigende Energiekosten und die Vorgaben des Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetzes (EEWärmeG), anteilig erneuerbare Energieformen beim Heizen und Kühlen von Neubauten einzusetzen, haben dazu geführt, dass der Markt für Geothermie-Wärmepumpensysteme in den letzten Jahren deutlich gewachsen ist. Schließlich beträgt die durch erdgekoppelte Geothermie bereitgestellte Wärmemenge im Schnitt das Drei- bis Fünffache der eingesetzten Antriebsenergie.

Beim Kühlen fällt die Bilanz noch positiver aus: Hier können durch freie Kühlung im Erdreich Jahres-Systemarbeitszahlen von 10 bis 35 erreicht werden. Doch in der Praxis fehlen vielfach noch Erfahrungswerte. Die verhältnismäßig neue Technik und insbesondere die geothermischen Wärmequellen und -speicher sind deutlich komplexer als herkömmliche Heizungssysteme. Nicht selten ist das

eine Herausforderung für alle Projektbeteiligten, vor allem, wenn diese bisher wenig Praxiserfahrung sammeln konnten. Die fehlerfreie Planung der Gesamtanlage ist aber die Voraussetzung für einen störungsfreien Betrieb.

Fehler, die bei der Planung unterlaufen, können nicht nur dazu führen, dass die Anlagen ineffizient arbeiten, sondern ein komplettes Versagen nach sich ziehen.

Ein Fall für das Landgericht

Ein neu gebautes Bürogebäude sollte mit einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe ganzjährig mit Wärme und Kälte versorgt werden. Dazu dienen 54 Erdsonden mit in einer Bohrtiefe von 74 m als Energiequelle.

Als Wärmeträger wird im Geothermie-Kreislauf ein Wasser-Glykol-Gemisch (Sole) eingesetzt. Spitzenlasten bei der Wärmeversorgung werden durch vier Wärmespeicher mit einem Volumen von jeweils 1,5 m³ gepuffert.

Im Sommer kann die Wärmepumpe die im Gebäude aufgenommene Wärme in den Boden abgeführt. Allerdings muss

damit im Sommer das Wärmereservoir im Erdboden notwendigerweise regeneriert werden.

An einem kalten Wintertag im Januar kam es zum Ausfall der Heizungsanlage. Die Geothermie-Wärmepumpe zeigte eine Störungsmeldung und ließ sich nicht wieder in Betrieb nehmen. Warum die Wärmepumpe versagte, war den Haustechnikern ein Rätsel. Defekte an Bauteilen konnten sicher ausgeschlossen werden, so dass sich Betreiber und Errichter gegenseitig für das Versagen verantwortlich machten. Da keine eindeutige Lösung für das Problem gefunden wurde, kam es schließlich zum Rechtsstreit vor einem Landgericht. In dem Verfahren sollte geklärt werden, wer tatsächlich die Verantwortung trägt. Um dieser Frage nachzugehen, beauftragte das Gericht die Energieexperten von TÜV SÜD damit, die Ursache für den Ausfall der Wärmepumpe zu analysieren und ein Gutachten zu erstellen.

Die TÜV SÜD-Experten konnten den Auslöser für die Betriebsstörungen zügig lokalisieren. Im Vorlauf des Geothermie-Kreislaufs ist ein Temperaturwächter installiert, der die Wärmepumpe automatisch abschaltet, wenn die Temperatur der Sole den Wert von 0,5 °C unterschreitet. Damit soll eine Vereisung des Erdsondenfeldes verhindert werden. Doch warum konnte die Temperatur unter diesen kritischen Wert sinken?

Ursachensuche mit thermodynamischer Bilanzanalyse

Diese Frage konnte nicht durch eine klassische Schadensanalyse beantwortet werden, da alle Bauteile und Komponenten ordnungsgemäß funktionierten. Daher analysierten die TÜV SÜD-Experten sämtliche Energieströme der Geothermie-Anlage anhand thermodynamischer Bilanzen. Diese auch als Fehlfunktionsanalyse bekannte Untersuchungsmethode wird im Bereich komplexer Energiesysteme immer häufiger nachgefragt.

Erste Hinweise fanden die Experten bei der Prüfung der Planungsunterlagen. Sowohl beim Jahresheizwärmebedarf, der Spitzenheizlast als auch der Kühllastberechnung wurden Abweichungen zwischen den angenommenen und den tatsächlich ermittelten Werten festgestellt. Bei der Planung wurde von einer Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur von $\Delta T = 24$ K ausgegangen. Bei einer angenommenen Innentemperatur von 21 °C und einer Norm-Außentemperatur von -12 °C am betreffenden Standort ergibt sich jedoch eine deutlich höhere Temperaturdifferenz von $\Delta T = 33$ K. Statt der 130 kW aus der ursprünglichen Heizlastberechnung folgte somit eine tatsächliche Norm-Gebäudeheizlast von 180 kW. Mit einer Heizleistung von 212 kW war die eingesetzte Wärmepumpe jedoch ausreichend dimensioniert.

Wärmebilanz im Boden außer Balance

Während der Planung wurden die thermischen Eigenschaften des Bodens durch einen so genannten „Geothermal Response Test“ untersucht. Dieser schließt die Messung der spezifischen Leitfähigkeit, der spezifischen Wärmekapazität und der Wärmestromdichte ein. Mit den so ermittelten Werten und dem jährlichen Heizwärme- und Kältebedarf sowie den Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe im Heiz- und Kühlbetrieb erfolgte eine mathematische Simulation zur Bestimmung des instationären Temperaturprofils des Erdsondenfeldes.

Bei der Planung des Sondenfeldes war davon ausgegangen worden, dass das Erdsondenfeld nicht durch externe Quellen (z. B. zufließendes Grundwasser) regeneriert wird. Dies setzt voraus, dass die durch die Wärmepumpe entnommene und die zurückgeführte Wärmemenge ungefähr gleich groß sind. Nur dann käme es über den gesamten Jahresverlauf zu einer ausgeglichenen Wärmebilanz.

Die Berechnungen der TÜV SÜD-Experten ergaben jedoch, dass auch im Idealfall nur rund 88 % der entzogenen Wärme wieder zurück in den Boden gespeist werden. Somit wurde dem Boden im Laufe der Zeit mehr Wärme entzogen als zurückgeführt.

Im Winter führt Spitzenlast zur Abschaltung

Um herauszufinden, warum der Temperaturwächter die Anlage im Januar abschaltete, verglichen die Energieexperten die bei der Planung angenommenen Werte für

die mittlere Entzugsleistung und den daraus resultierenden Vor- und Rücklauf-temperaturen mit den tatsächlichen Daten. Sie hatten bei Spitzenlast im Winter die Wärmeversorgung des Gebäudes nur für ca. 40 min unterstützen können. Doch darüber hinaus waren sie falsch in das System integriert worden: Die zwei Speicher zur Unterstützung des Heizkreises waren im Rücklauf installiert und somit nur mit bereits ausgekühltem Heizwasser gefüllt. Ihre Funktion als Wärmespeicher konnten sie so nicht erfüllen. Die beiden anderen Speicher waren in den Sole-Kreislauf integriert. Da die Sole im Januar eine Temperatur von lediglich 3,6 °C aufweist, hat sie auch nur ein äußerst begrenztes Speicherpotenzial von 3,1 K bis zum Erreichen der Notaus-Temperatur von 0,5 °C. Wurde die Spitzenlast gefordert, musste sie allein von der Wärmepumpe bereitgestellt werden. Das führte zwangsläufig dazu, dass die Anlage den Betrieb einstellt.

musste. Bei der Analyse der Pufferspeicher stellten die Experten fest, dass diese nicht ausreichend dimensioniert waren. Sie hätten bei Spitzenlast im Winter die Wärmeversorgung des Gebäudes nur für ca. 40 min unterstützen können. Doch darüber hinaus waren sie falsch in das System integriert worden: Die zwei Speicher zur Unterstützung des Heizkreises waren im Rücklauf installiert und somit nur mit bereits ausgekühltem Heizwasser gefüllt. Ihre Funktion als Wärmespeicher konnten sie so nicht erfüllen.

Die beiden anderen Speicher waren in den Sole-Kreislauf integriert. Da die Sole im Januar eine Temperatur von lediglich 3,6 °C aufweist, hat sie auch nur ein äußerst begrenztes Speicherpotenzial von 3,1 K bis zum Erreichen der Notaus-Temperatur von 0,5 °C. Wurde die Spitzenlast gefordert, musste sie allein von der Wärmepumpe bereitgestellt werden. Das führte zwangsläufig dazu, dass die Anlage den Betrieb einstellt.

Fazit

Fachplaner, Architekten und Installateure verfügen in der Regel über langjährige Erfahrungen mit Heizungs- und Kühlsystemen auf Basis fossiler oder elektrischer Energie.

Erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit rücken moderne und neue Anlagenkonzepte in den Blick, bei denen verschiedene regenerative Energiequellen genutzt werden. Weil den Beteiligten vielfach praktische Erfahrungen fehlen, stellen diese Systeme häufig eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar.

Werden die benötigten Energiebedarfe und -ströme in der Planungsphase nicht akkurat kalkuliert, führt dies bei der Dimensionierung zu einem Mismatch zwischen einzelnen Komponenten. Die Folge: Die Systeme arbeiten unterhalb ihres Effizienzoptimums und geplante Energiekosteneinsparungen können nicht erreicht werden. Im ungünstigsten Fall kann die Anlage komplett versagen und kostenintensive Nachrüstungen (z. B. mit herkömmlicher Heiztechnik) notwendig machen.

Fachplaner können ihre Projekte und Simulationsergebnisse absichern, indem sie schon in der Planungsphase unabhängige, erfahrene Energieexperten einbinden und mit der Prüfung ihrer Entwürfe betrauen. So können sie den Erfolg des Projekts sicherstellen und sich vor späteren Regress-Forderungen schützen.