

Dynamische Simulation des Wärmebedarfs zur besseren Dimensionierung von Erdwärmesonden

TEXT: Andreas Lahme

In der Planungspraxis ist die dynamische Gebäudesimulation zum Zweck der Auslegung von Anlagensystemen immer weiter auf dem Vormarsch. Alternativ zur Auslegung nach Norm kann die dynamische Simulation des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung auch für die Dimensionierung von Erdwärmesonden herangezogen werden. Der Vorteil der Dimensionierung von Erdwärmesonden auf Basis von Simulationsergebnissen besteht in der Vermeidung unnötiger Überdimensionierung.

1. Einleitung

Mit Hilfe der dynamischen thermischen Gebäudesimulation lässt sich nicht nur die thermische Behaglichkeit überprüfen. Die thermische Gebäudesimulation ist auch ein geeignetes Hilfsmittel zur Dimensionierung von Erdwärmesonden. Nachfolgend wird das prinzipielle Vorgehen der thermischen Gebäudesimulation im Zusammenhang mit der Auslegung von Erdwärmesonden dargestellt. Anschließend wird ein Projektbeispiel zu diesem Thema beschrieben.

2. Dynamische thermische Gebäudesimulation

2.1 Modellbildung

Die dynamische thermische Gebäudesimulation ist ein computergestütztes, numerisches Verfahren zur Berechnung der energetischen Verhältnisse in einem Gebäude. Das Verfahren ist nicht neu, die Anfänge liegen mindestens drei Jahrzehnte zurück (z.B. tsbi3 seit 1989 ^[1], ^[2], TRNSYS seit 1975 ^[3]).

Mit der dynamischen thermischen Gebäudesimulation wird die stündliche Energiebilanz berechnet. Dynamische Simulation bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Ergebnisse für eine Stunde die Ausgangsbedingungen für die nächste Stunde darstellen. Dadurch werden thermische Speichereffekte im Gebäude berücksichtigt. Üblicherweise wird die Berechnung für ein ganzes Jahr durchgeführt, so dass Ergebnisse für 8.760 Stunden im Jahr vorliegen.

Um eine thermische Gebäudesimulation durchzuführen, ist der Aufbau eines entsprechenden Simulationsmodells erforderlich:

Dazu wird ein dreidimensionales Geometriemodell des zu untersuchenden Gebäudes oder Gebäudeteils erstellt. Verschattende Elemente wie externe Verbauung sollten ebenfalls mit abgebildet werden. Das geometrische Gebäudemodell wird in unterschiedliche thermische Zonen eingeteilt. Die thermische Zonierung fasst Raumbereiche zusammen, die sich thermisch ähnlich verhalten. Den thermischen Zonen werden thermische Randbedingungen (z.B. Außenklima, Erdreich, angrenzende Zonen) zugewiesen. Durch die Wechselwirkung mit Nachbarzonen entwickelt sich ihr Temperaturverlauf auch dynamisch. Dem Modell werden die Bauteile mit bauphysikalischen Materialkennwerten und Schichtdicken zugewiesen. Als Klimadaten für den Standort werden bspw. die Daten für die Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes verwendet ^[4]. Diese enthalten stündliche Werte für Größen wie Außentemperatur, Himmels-temperatur, absolute/relative Luftfeuchtigkeit, Windrichtung/-geschwindigkeit, diffuse/direkte Solarstrahlung. Außerdem werden dem Simulationsmodell je thermischer Zone Nutzungen zugewiesen. Dabei werden interne Wärmelasten aus Personen, Beleuchtung und Geräten mit entsprechenden Zeitprofilen versehen und in das Modell eingebaut. Auch die Anlagentechnik des Gebäudes wird in dem Modell abgebildet. Systeme wie Verschattung, Heizung, Lüftung, Kühlung werden mit ihren Regelungsstrategien und zugehörigen Betriebszeitprofilen eingegeben.

2.2 Ergebnisse

Die dynamische thermische Gebäudesimulation führt eine Berechnung der stündlichen Ener-



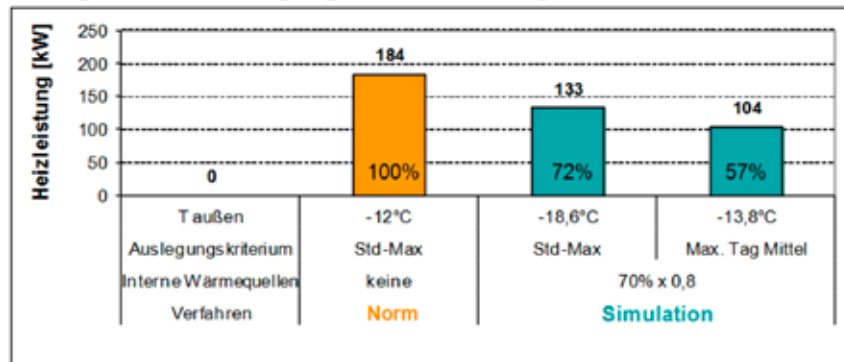
**Dipl.-Phys. Ing.
Andreas Lahme**

seit 2001 Geschäftsführer
alware GmbH, Ingenieurbüro
für Bauphysik und Gebäude-
simulation, Braunschweig,
seit 20 Jahren Erfahrung
in der ganzheitlichen
Gebäudesimulation

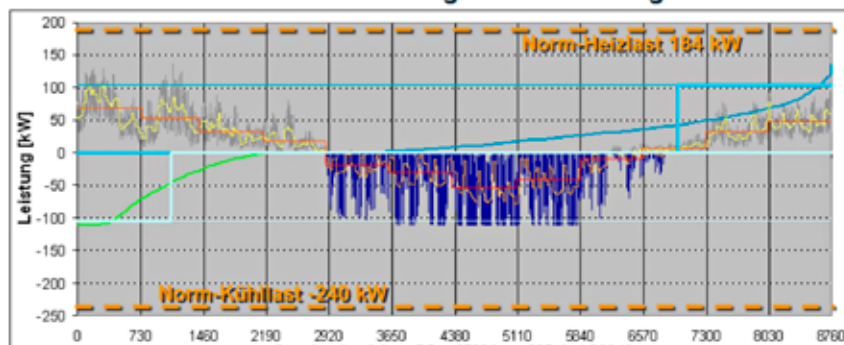
Kontakt

a.lahme@alware.de
www.alware.de

Vergleich der Auslegung der Heizleistung nach den Verfahren



Stündliche Heiz- und Kühlleistung mit Auswertung



► Abb. 1: Vergleich der Auslegung der Heizleistungen nach den Verfahren Norm und Simulation
Quelle: alware GmbH und Geothermiekontor

giebilanz für alle thermischen Zonen durch und erzeugt dabei vielfältige Ergebnisdaten wie z.B. stündliche Raumtemperaturen und stündliche Leistungen aller Komponenten der Anlagentechnik. Beide Ergebnisgrößen werden für die Dimensionierung der Erdwärmesonden betrachtet: Die stündlichen Raumtemperaturen werden analysiert, um die Einhaltung der thermischen Behaglichkeit zu überprüfen. Die stündlichen Leistungen von Heizung und Kühlung werden herangezogen, um eine energieeffiziente Dimensionierung der Erdwärmesonden vorzunehmen.

2.3 Auslegung der Anlagentechnik nach Simulation

Auf Basis der mit Hilfe von dynamischer Simulation ermittelten stündlichen Heiz- und Kühlleistungen für das Gebäude wird die Erdwärmesonden-Anlage dimensioniert. Als sinnvolle Auslegungskriterien für die Maximalleistung der Anlage können beispielsweise der maximale Tagesmittelwert oder ein Deckungsgrad von 98% der erforderlichen Jahresenergie angesetzt werden. Die thermische Simulation belegt, dass hohe Spitzenleistungen bei gesichertem thermischem Komfort nur sehr selten nötig sind.

Der Vorteil der Auslegung von Erdwärmesonden-Anlagen auf Basis von dynamischer Simulation gegenüber der Berechnung der Heizlast nach Norm besteht in der erheblich realistischeren Abbildung des Energiebedarfs bzw. der Heiz-/Kühlleistung. Im Gegensatz zur dynamischen Simulation setzt das statische Rechenverfahren nach Norm unrealistisch hohe Randbedingungen an und berücksichtigt nicht die thermische

Speicherfähigkeit von Bauteilen. Resultat: Die mittels Simulation ermittelten, zur Sicherstellung des thermischen Komforts erforderlichen Leistungen für Heizung und Kühlung sind deutlich geringer als die nach Norm veranschlagten Leistungen. Auch lassen sich die Anteile von verschiedenen Erzeugern im Versorgungssystem besser und sicherer dimensionieren.

3. Projektbeispiel Erdwärmeheizung einer Wohnanlage in Stuttgart

3.1 Projekt und Fragestellung

Die in einem Stuttgarter Wohnkomplex mit Einfamilienhäusern und Stadthäusern (Wohnfläche ca. 8.400 m²) eingesetzte Erdwärmeanlage arbeitete nicht korrekt. Es ging also darum, die nicht funktionierende Erdwärme-Anlage des Wohngebietes zu überprüfen und eine günstige Lösung für den störungsfreien Betrieb zu finden. ^[5]

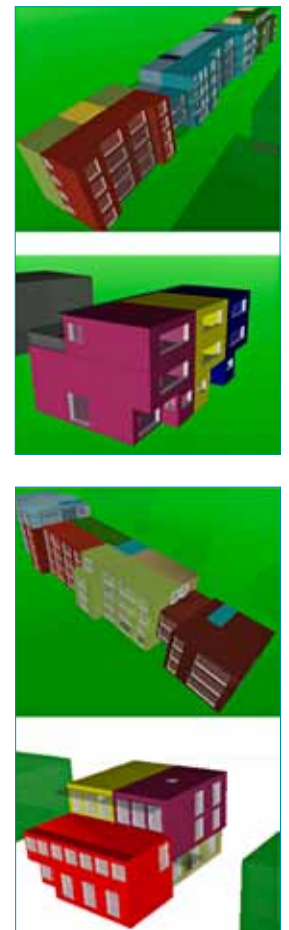
3.2 Dynamische thermische Gebäudesimulation

Als Strategie zur Sanierung der Erdwärmeheizung wurde folgender Ansatz verfolgt: Die vorhandene installierte Wärmepumpenleistung sollte reduziert werden, so dass der Wärmestrom des Untergrundes und Energie-Entzug durch die Erdwärmesonden möglichst lange im Gleichgewicht bleiben.

Mittels dynamischer thermischer Gebäudesimulation wurden die stündlichen Heiz- und Kühlverläufe der Wohnanlage ermittelt.

3.3 Auslegung der Erdwärme-Anlage

Für die Auslegung der Heizleistung der Erdwärmeanlage wurden die aus der thermischen



► Abb. 2: Simulationsmodelle mit thermischer Zonierung in der untersuchten Wohnanlage
Quelle: alware GmbH und Geothermiekontor

Simulation ermittelten maximalen Tagesmittelwerte verwendet. Die maximal benötigte Heizleistung reduzierte sich so auf 50 % der installierten Heizleistung, 90 % der benötigten jährlichen Energie kann mit etwa der Hälfte der installierten Wärmepumpenleistung erbracht werden. Die restlichen 10 % der Heizenergie werden mittels Heizstab zugeheizt.

Obwohl die Heizleistung begrenzt wird, ist die thermische Behaglichkeit das ganze Jahr über sichergestellt. Die hier erarbeitete Lösung garantiert einen störungsfreien und energieeffizienten Betrieb für den gesamten Wohnkomplex.

3.4 Nutzen

Die Sanierungskosten wurden durch den Umbau der vorhandenen Anlage gering gehalten, da teure Maßnahmen wie Bohrung von weiteren Erdwärmesonden, Regeneration des Sondenfeldes mit Solaranlagen oder Austausch des bestehenden Heizungssystems vermieden werden konnten. Zusätzliche Einsparungen werden durch verlängerte Laufzeiten der optimal abgestimmten Anlage erzielt.

3.5 Bestätigung durch Monitoring

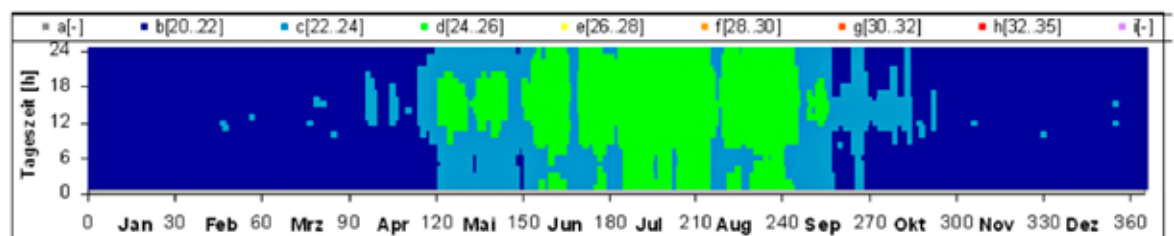
Parallel zur Simulationsstudie wurden 2009 - 2010 Messungen an den Wärmepumpen der

Erdwärmanlage vorgenommen mit dem Ziel, den tatsächlichen Wärmebedarf der Häuser zu ermitteln. Dabei ist man zu dem Schluss gekommen, dass für die Einfamilienhäuser eine Sanierung mit kleinerer Wärmepumpe mit passendem Brauchwarmwasser-Speicher und für die Stadthäuser eine Sanierung mit einer halb so großen Wärmepumpe sinnvoll ist. Damit wurden die durch die Simulation ermittelten Ergebnisse bestätigt.

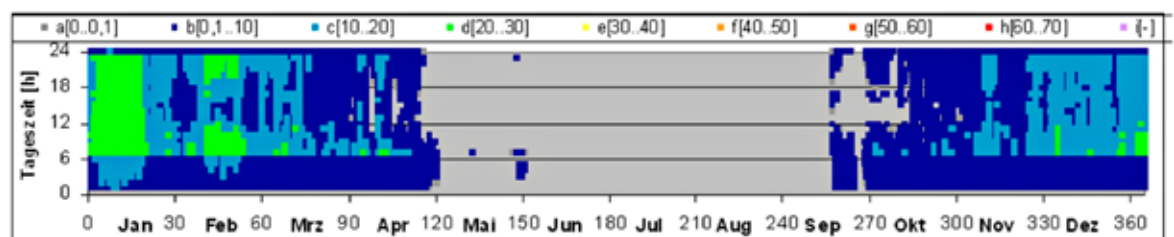
4. Resümee

Mithilfe der dynamischen Simulation des Energiebedarfs von Gebäuden ist eine optimale Auslegung von Erdwärmesonden möglich. Sowohl für Sanierungsfälle als auch für Neubauvorhaben kann durch Variantenstudien für unterschiedliche Szenarien die Wirkung verschiedener Maßnahmen für Gebäudetypen wie Wohnbauten, Bürogebäude oder Industriegebäude ermittelt und so eine optimale Dimensionierung der Erdwärmanlage vorgenommen werden.

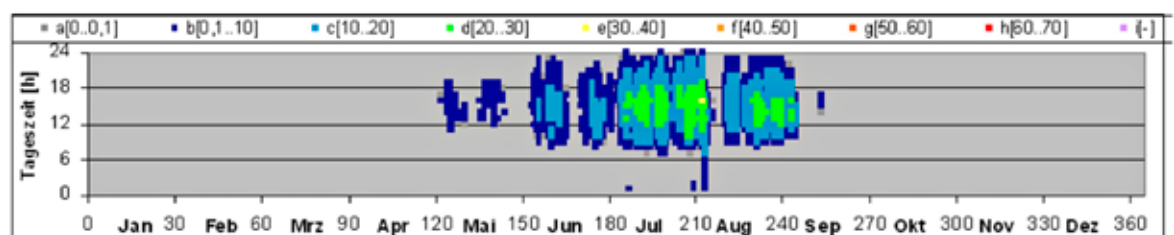
Darüber hinaus kann man in der Anlagensimulation^[6] den Betrieb von Erdwärmesonden simulieren. Die Daten aus der thermischen Simulation können in der Erdwärmesonden-Simulation^{[7] [8]} verwendet werden, um für die berechnete Leistung eine Konfiguration der Erdwärmesonden (z.B. Sondenlänge, Bohrtiefe, Anzahl) festzulegen.



▲ Raumtemperatur [°C]



▲ Heizleistung [W/m²]



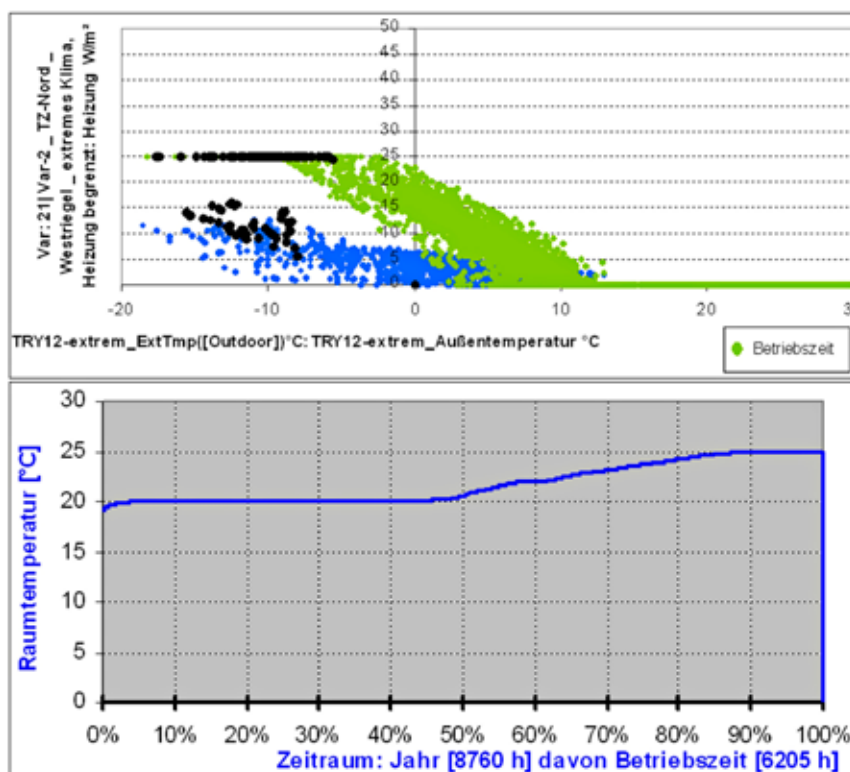
▲ Kühlleistung [W/m²]

▲ Abb. 3: Stündliche Raumtemperatur, Heizleistung und Kühlleistung im Jahresgang

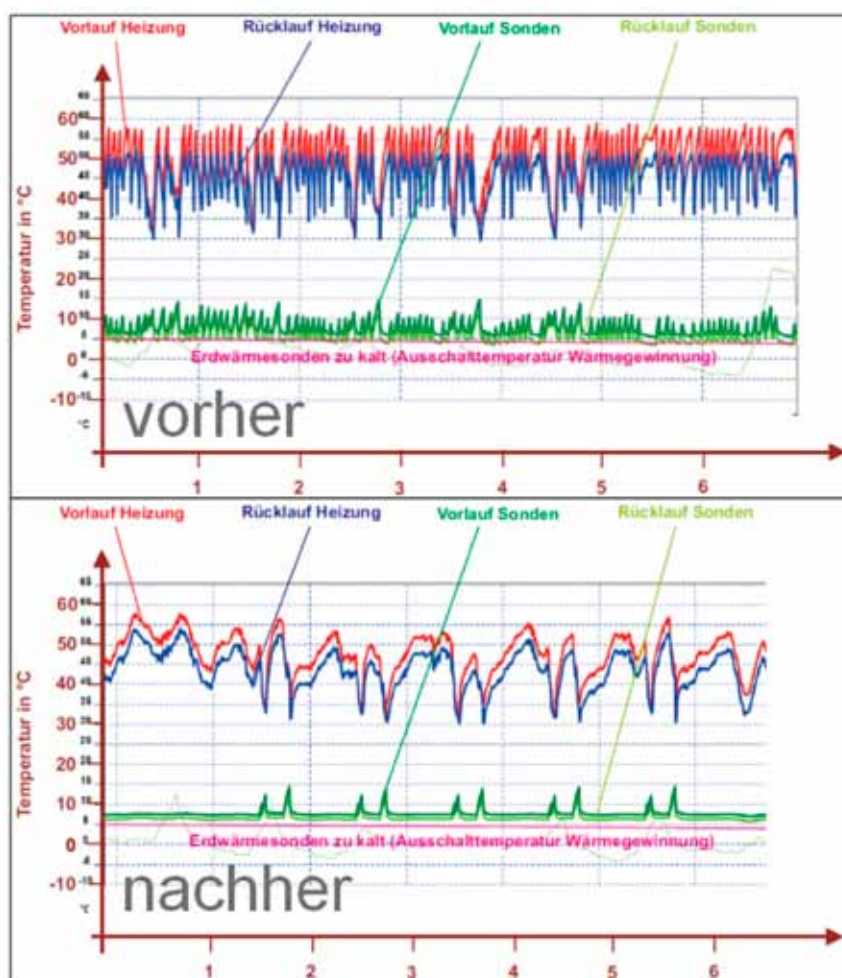
Quelle: alware GmbH und Geothermiekontor

Fazit: Für die Erstellung eines Energiekonzeptes mit einer grundsätzlichen Dimensionierung der Anlagentechnik – z.B. einer Erdwärmeanlage – ist die dynamische Simulation der Energiebilanz (→ Wärmebedarf) das Mittel der Wahl, um Fehl-

dimensionierungen zu vermeiden. Eine kleinere Erdwärmeanlage bedeutet nicht zuletzt weniger Investitionen. Im oben beschriebenen Fall war sogar die Überdimensionierung nach Norm der Grund für das Nichtfunktionieren. ♦



► Abb. 4 : Thermische Behaglichkeit trotz reduzierter Wärmepumpenleistung
Quelle: alware GmbH und Geothermiekontor



► Abb. 5: Vorher: Takten bei WP-Leistung 66 kW. Nachher: kein Takten bei WP-Leistung 33 kW
Quelle: alware GmbH und Geothermiekontor

5. Verweise

- [1] Entwickler: Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, Hörsholm, Dänemark, www.sbi.dk
- [2] Software BSim, www.bsim.dk
- [3] Entwickler: Universität Wisconsin, USA, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/default.htm>
- [4] Test Reference Year, TRY-Regionen für Deutschland, Deutscher Wetterdienst, www.dwd.de
- [5] Simulation und Beratung von alware GmbH, Braunschweig, für Geothermiekontor GmbH, Tübingen, 2010
- [6] Software Polysun, www.velasolaris.com
- [7] Software EWS, www.hetag.ch
- [8] Software EED, www.buildingphysics.com