

Der Einsatz von Erdwärme zum Heizen und Kühlen von Gebäuden

Timm Eicker
Internationales Geothermiezentrum
DE-Bochum



Der Einsatz von Erdwärme zum Heizen und Kühlen von Gebäuden

1. Einleitung

Die Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- oder Stromerzeugung bekommt vor dem Hintergrund der Endlichkeit fossiler Energieträger, und damit wachsender Abhängigkeit von wenigen Staaten und deren Ressourcen, eine immer größere Bedeutung. Neben der Steigerung der versorgungstechnischen Unabhängigkeit ist ein weiteres Ziel des Einsatzes erneuerbarer Energien die Reduzierung des klimaschädlichen Treibhausgases CO₂. Damit wird ein Beitrag zum weltweiten Klimaschutz geleistet.

Ziel des am 1.1.2009 novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ist neben dem Ausbau der Solar-, Brennstoffzellen- und Biomasetechnologien insbesondere die energetische Nutzung von Erdwärme.

Im Gegensatz zu den begrenzt vorhandenen atomaren und fossilen Energieträgern Uran, Erdöl, Kohle und Erdgas stellt der natürliche Wärmefluss aus dem Erdinneren eine nach menschlichem Ermessen unerschöpfliche Energiequelle dar. Der wesentliche Vorteil der Geothermie gegenüber den anderen erneuerbaren Energieträgern ist die Grundlastfähigkeit. Erdwärme ist jahreszeitenunabhängig verfügbar und wird mit sehr unterschiedlichen technischen Verfahren gewonnen. Diese als „Geothermie“ bezeichnete Energieform ist besonders klimaschonend. Sie produziert im Vergleich zu anderen Energieträgern sehr wenig Treibhausgase und zeichnet sich je nach Anwendung durch ein sehr günstiges Verhältnis von benötigter Primärenergie zu nutzbarer Endenergie aus.

Im öffentlichen Bewusstsein wird die Nutzung erneuerbarer Energien gleichgesetzt mit Stromerzeugung auf der Basis der Energieträger Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und – hierzulande erst zu einem geringen Teil – aus Erdwärme.

Ein noch größeres Potenzial als bei der Stromerzeugung haben die erneuerbaren Energien auf dem Wärmesektor. Schließlich werden in Deutschland mehr als 60% der Endenergie eingesetzt, um Nutzwärme im Niedertemperaturbereich unter 100°C bereitzustellen. 70% unseres heutigen Wärmebedarfs können über erneuerbare Energieformen abgedeckt werden. Aufgrund der breiten Einsatzmöglichkeiten und der hohen gesellschaftlichen Akzeptanz dieser Energieform ergibt sich insbesondere für die Geothermie ein erhebliches Zukunftspotential.

2. Grundlagen

Geothermie wird primär gespeist durch die Ursprungswärme die bei der Entstehung der Erde gespeichert worden ist und die fortlaufende Wärmeproduktion freigesetzt durch den Zerfall radioaktiver Isotope. Dabei wird der Ursprungswärme ein Anteil von 38% und dem radioaktiven Zerfall ein Anteil von 68% zugesprochen.

Der Wärmestrom aus dem Erdinneren wird durch die Eigenschaften des lokalen Untergrundes bestimmt. Dadurch entsteht ein inhomogenes Bild der Wärmestromdichte wie es in der nachfolgenden Abbildung für Europa dargestellt ist.

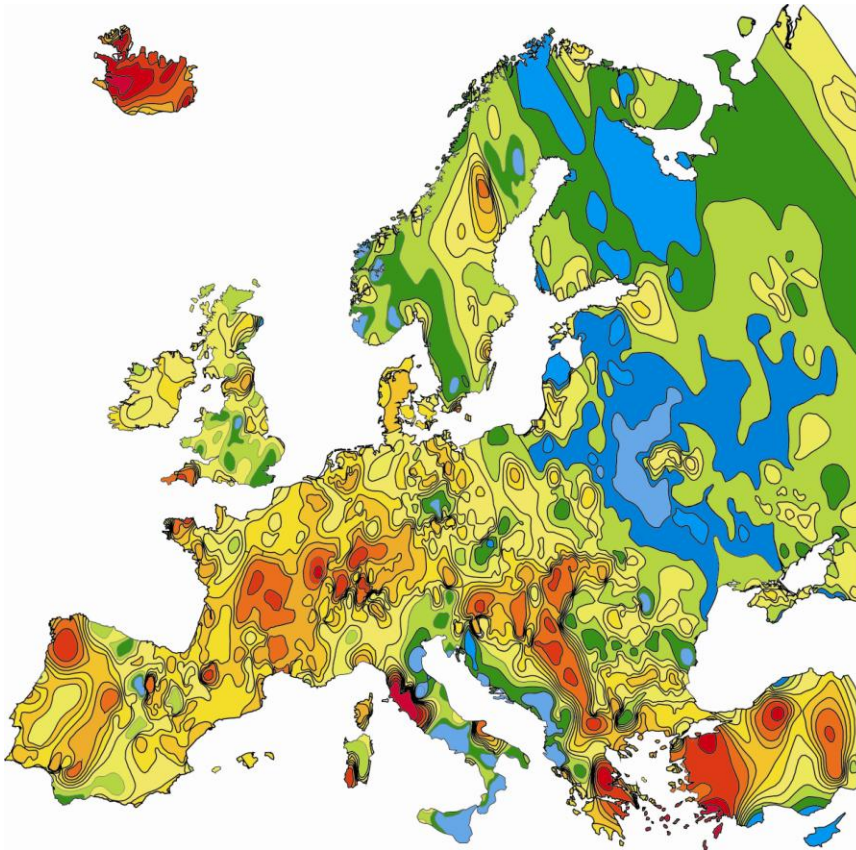


Abbildung 1: Karte der Wärmestromdichte (rot: hoch, blau: gering) (Quelle: abgewandelt nach Hurter S., Hänel R.: Atlas of Geothermal Resources in Europe, Luxembourg: Office for Official publications of the European Communities, 2002)

Direkt an der Erdoberfläche findet eine Überlagerung von geothermischen Wärmestrom und solarer Einstrahlung (Sonnenlicht) statt. Bis in eine Tiefe von 15 m bis 30 m überwiegt der Einfluss der solaren Einstrahlung, in größeren Tiefen ist der geothermische Wärmestrom maßgeblich. Der Bereich zwischen 15 m bis 30 m wird daher als neutrale Zone bezeichnet.

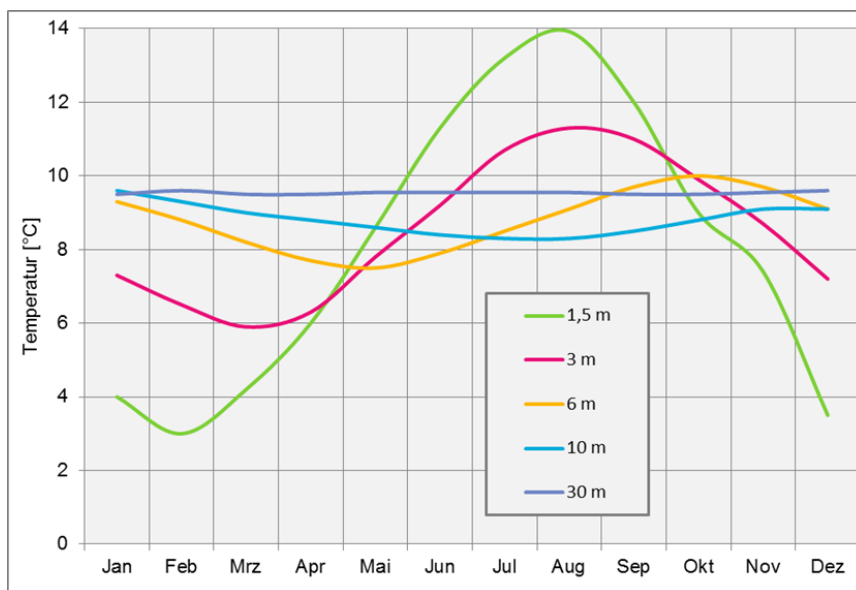


Abbildung 2: Jahresgang der Temperaturen in unterschiedlichen Tiefen

2.1. Erschließung des oberflächennahen Untergrundes

Die Nutzbarmachung des oberflächennahen geothermischen Potenzials ist mit verschiedenen technischen Systemen möglich. Grundsätzlich werden die Systeme in offene und geschlossene Anlagen eingeteilt. Während bei den gebirgs offenen Anlagen ausschließlich Grundwasserbrunnen zum Einsatz kommen, sind bei den geschlossenen Systemen unterschiedliche Varianten verfügbar. Hierbei wird zwischen Erdwärmesonden (Tiefenbereich 40 – max. 400 m), Erdwärmekörpern, Erdwärmekollektoren und erdberührten Betonbauteilen (z.B. Energiepfähle, aktivierte Schlitzwände) unterschieden.

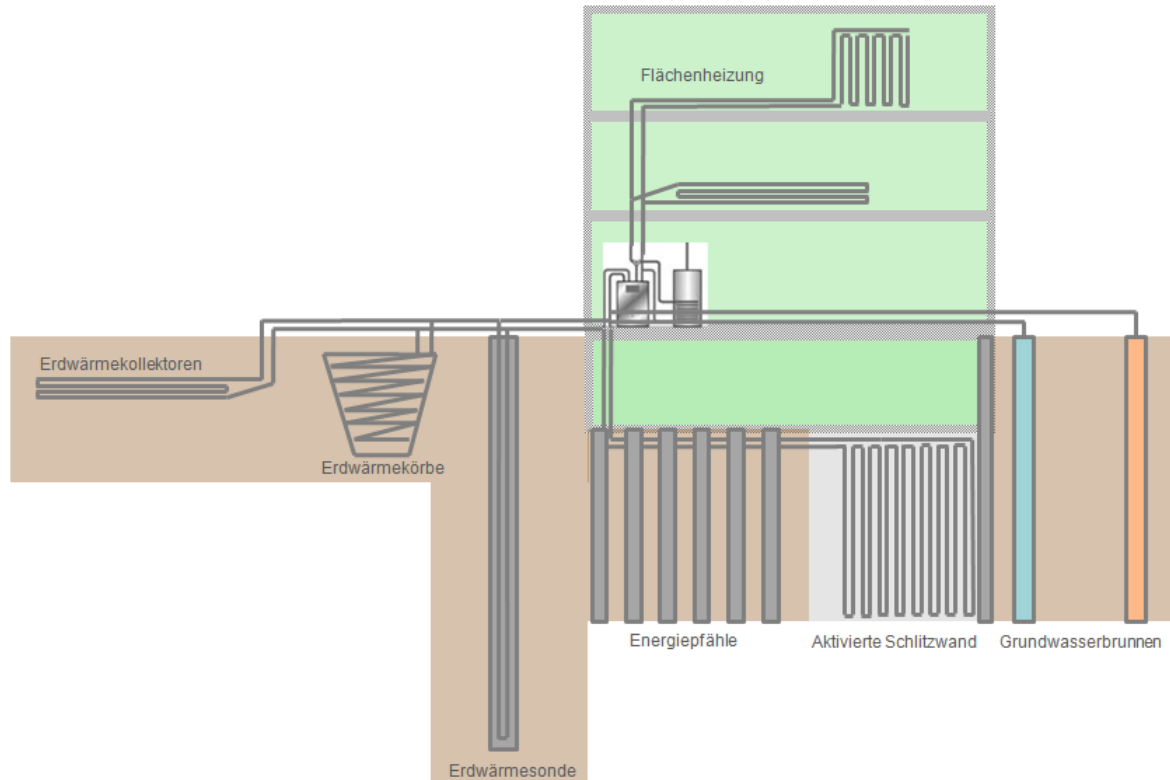


Abbildung 3: Darstellung oberflächennaher geothermischer Nutzungsvarianten

Die Auswahl der Systeme richtet sich insbesondere nach den örtlichen und baulichen Gegebenheiten. Alle oben genannten Systeme haben eine Gemeinsamkeit: Die dem Erdreich entzogene Energie fällt auf einem geringen Temperaturniveau an ($<20^{\circ}\text{C}$). Der Einsatz zur Direktheizung ist somit nicht möglich, es werden nachgeschaltete Einrichtungen zur Temperaturerhöhung notwendig. Diese Temperaturerhöhung wird meist durch Wärmepumpen übernommen. Im Gegensatz zur Direktheizung ist eine Direktkühlung jedoch möglich und kommt im Büro- und Verwaltungsbau immer häufiger zum Einsatz. Auch die Nutzung des Untergrundes als Energiespeicher, d.h. Wärme wird im Sommer in den Untergrund eingespeist und kann im Winter wieder entnommen werden, bekommt eine immer größere Bedeutung. In nachfolgender Abbildung ist die Funktionsweise des kombinierten Heiz- und Kühlfalles (geothermischer Wärme- und Kältespeicher) schematisch dargestellt.

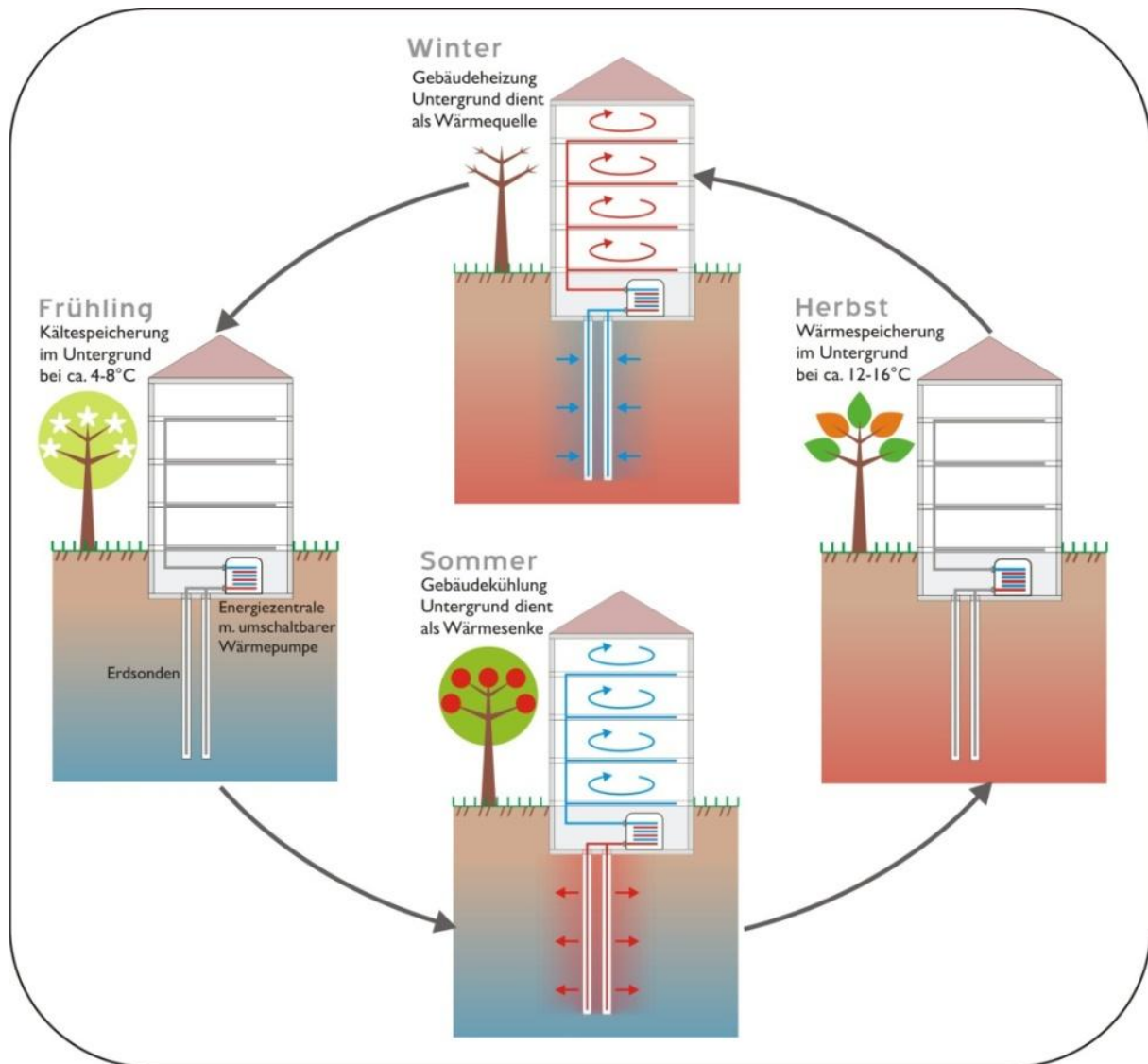


Abbildung 4: Geothermischer Wärme- und Kältespeicher

2.2. Prinzip Wärmepumpe

Die Wärmequellentemperaturen der oberflächennahen Erdwärmesonden, Kollektoren sowie Grundwasserbrunnen sind nicht ausreichend für eine Direktheizung. Um die entsprechenden Heizungsvorlauftemperaturen erreichen zu können, ist der Einsatz von Wärmepumpen erforderlich. Eine Wärmepumpenanlage besteht aus mehreren Komponenten, die je nach Bedarf zum Einsatz kommen. Bei einer Kompressionswärmepumpe (KWP) wird durch die Prozesse des Verdichtens und Verdampfens eines Arbeitsmediums unter Zufuhr von mechanischer Kompressionsarbeit Wärme von einer niedrig temperierten Wärmequelle auf eine höher temperierte Wärmesenke übertragen.

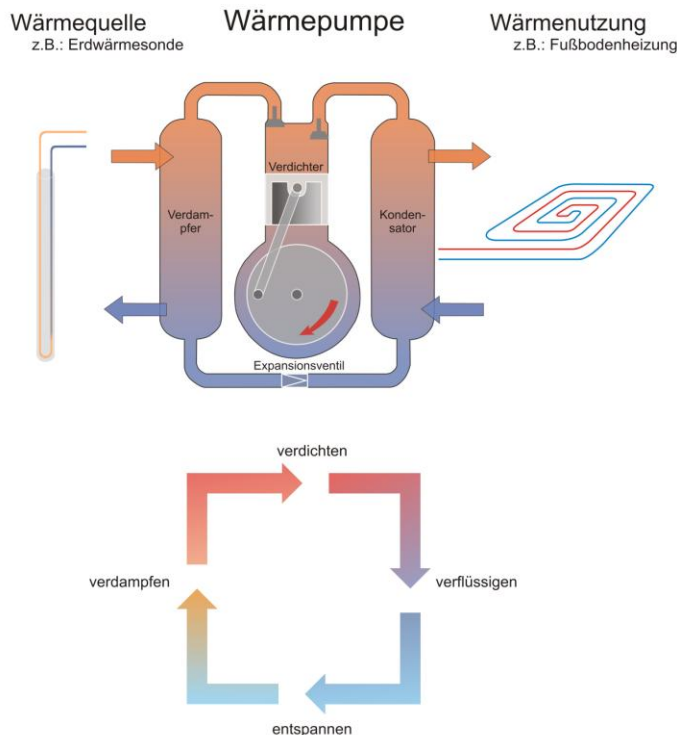


Abbildung 5: Schema des Kreislaufprozesses einer Kompressionswärmepumpe

Die Effizienz von Wärmepumpenanlagen wird maßgeblich durch die Temperatur der Wärmequelle (Erdwärmesonde) und der Wärmesenke (Heizverteilsystem, z. B. Fußbodenheizung), das heißt dem geleisteten Temperaturhub, beeinflusst. Je geringer der Temperaturhub ist, umso geringer ist der Anteil an Antriebsenergie an der gesamt zur Verfügung stehenden Nutzenergie. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich die Notwendigkeit, die Heiz- und Kühltemperaturen möglichst nah an die Raumtemperatur anzupassen. Dies stellt nachfolgend aufgeführte Anforderungen an das Gebäude und die Heiz- und Kühlsysteme.

- Die Beheizung und Kühlung eines Gebäudes mit Temperaturen nahe der Raumtemperatur ist nur möglich über den Einsatz großer wärmeübertragender Flächen. Die fehlende Temperaturdifferenz und somit die fehlende Leistung wird über die Vergrößerung der Fläche kompensiert. Dies kann eine Fußbodenheizung, eine Betonkernaktivierung, eine Wandheizung, Heiz- und Kühlsegel etc. sein. Auf Grund ihrer Bauweise sind Flächenheizsysteme in der Regel sehr träge.
- Das Auftreten von Spitzenlasten sollte möglichst vermieden werden, damit ein gleichmäßiges Abfahren der Lasten über die trägen Flächensysteme möglich ist. Dies bedeutet zum einen ein hochwertiger sommerlicher Wärmeschutz durch z. B. außenliegende Verschattung und zum anderen geringe interne Lasten durch elektrische Geräte.

3. Problemstellung

Die Auslegung einer geothermischen Anlage wird durch eine Vielzahl von Einflussgrößen bestimmt. Hier sind in erster Linie die Wärmeverteilsysteme im Gebäude, die geologischen Gegebenheiten und die genehmigungsrechtlichen Randbedingungen zu nennen. Dies unterscheidet eine geothermische Anlage deutlich von konventionellen Heizungsanlagen und deren Auslegung. Die Auslegung einer erdwärmebasierten Heizungsanlage allein auf Grundlage der Heiz-/Kühllast und der Systemtemperaturen ist in der Regel nicht zielführend. Vielmehr ergibt sich eher der umgekehrte Weg der Auslegung von den Erdsonden über die Wärmepumpe hin zum Wärme- und Kälteverteilsystem. Schematisch lassen sich die Planungsabläufe in der Auslegung des Erdwärmesondenfeldes in der Vorplanung wie folgt veranschaulichen.

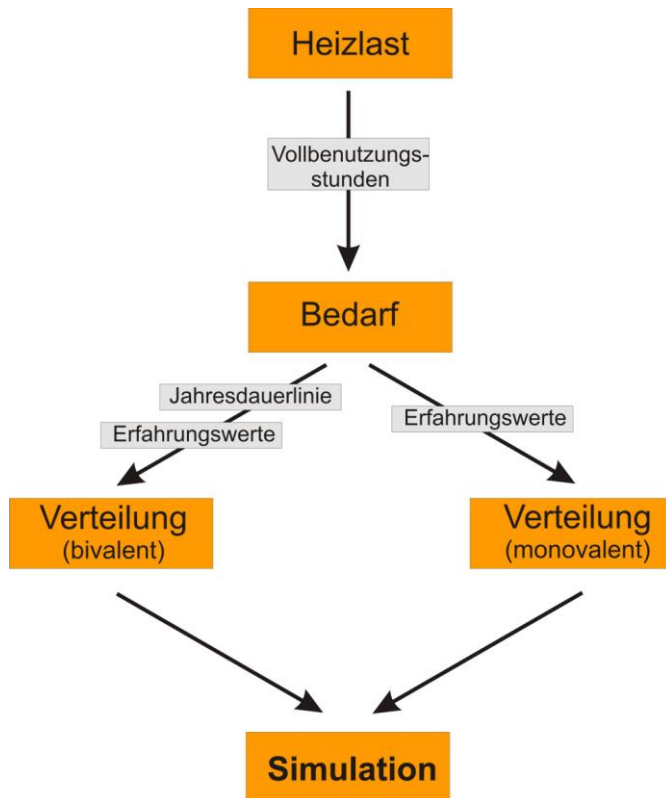


Abbildung 6: Planungsablauf und notwendige Annahmen

Die Auslegung der Wärmequelle, also der Erdwärmesonden, ist nicht, wie bei konventionellen Anlagen, maßgeblich durch die Heiz- und Kühllast bestimmt, sondern wird gleichermaßen durch die Lasten, den Wärme- und Kältebedarf und die Verteilung dieses Bedarfs über die einzelnen Monate bestimmt. Der Energiebedarf eines Gebäudes wird jedoch in der Regel in der Planungsphase nicht ermittelt. Der bedarfsgebundene Energieausweis (EnEV) kann ebenfalls keine aussagekräftigen Daten liefern, da die zugrundeliegenden Berechnungen auf standardisierten Randbedingungen beruhen, welche nicht der tatsächlichen Gebäudenutzung entsprechen und lediglich der Vergleichbarkeit von Gebäudehüllen und Anlagentechnik dienen. Es ergibt sich also zwangsläufig ein Defizit an Planungsgrundlagen bei der Auslegung einer erdwärmebasierten Wärmepumpenanlage.

4. Auslegung

Die Planung einer erdwärmebasierten Wärmepumpenanlage lässt sich grundsätzlich in zwei Phasen einteilen. Die Vorplanung mit der Prüfung der technischen Machbarkeit (Grobauslegung), der Genehmigungsfähigkeit und der Wirtschaftlichkeit bildet die erste Phase. Die zweite Phase beinhaltet einen Thermal-Response-Test und die Detailauslegung der Anlage.

4.1. Vorplanung (Grobauslegung)

Im Rahmen der Vorplanung sind zur Auslegung der Erdwärmeanlage erste Abschätzungen der Heiz- und Kühllasten vorhanden. Aus diesen Werten müssen die notwendigen Eingangswerte für die Simulationen generiert werden. Der Wärme- und Kältebedarf lässt sich über die Vollbenutzungsstunden für die Heiz- und Kühlperiode abschätzen. Die Vollbenutzungsstunden sind abhängig vom Gebäudetyp, dem Dämmstandard, der Nutzung und der Lage des Gebäudes. Anhaltswerte liefert z. B. der Recknagel (Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik) und die VDI-Richtlinie 2067 Blatt 2. Nachfolgend ist der Einfluss des Dämmstandards auf die Vollbenutzungsstunden für ein Wohngebäude beispielhaft dargestellt.

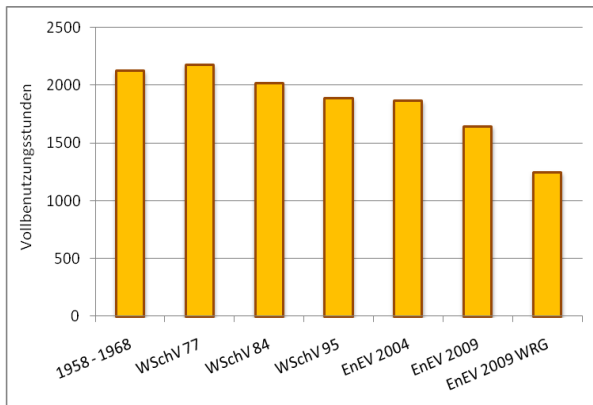


Abbildung 7: Vollbenutzungsstunden von Wohngebäuden im Wandel

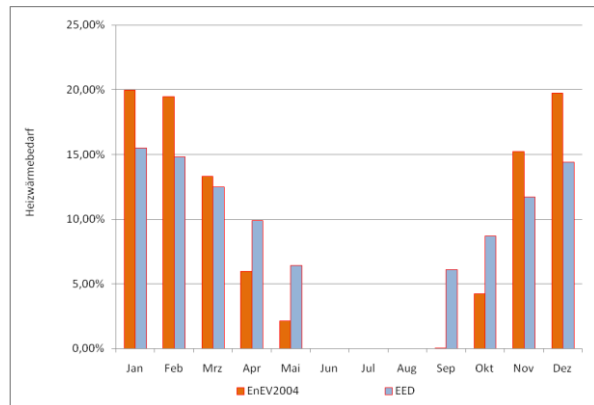


Abbildung 8: Gegenüberstellung: Default-Einstellung EED / Simulierte Werte

Neben dem Wärme- und Kältebedarf spielt dessen Verteilung über das Jahr eine wichtige Rolle. Die Verteilung ist ebenso wie der Bedarf stark abhängig vom Gebäudetyp, dem Dämmstandard, der Nutzung und der Lage des Gebäudes. Das am weitesten verbreitete Simulationsprogramm EED (Energy Earth Designer) bietet eine voreingestellte prozentuale Verteilung des Wärmebedarfs an. Diese Verteilung spiegelt jedoch eher die eines Altbaus mit einer langen Heizperiode wieder. Bei modernen Gebäuden verkürzt sich jedoch die Heizperiode immer weiter und der Wärmebedarf konzentriert sich auf wenige Monate, wie in der nachfolgenden Grafik beispielhaft dargestellt.

Die beschriebenen Annahmen, die im Rahmen einer Vorplanung getroffen werden müssen, beeinflussen die Simulationsergebnisse stark und erfordern deshalb eine intensive Kommunikation zwischen den einzelnen Fachplanern.

4.2. Detailplanung

In der Detailplanung werden die in der Vorplanung getroffenen Annahmen durch Fakten zu ersetzen. Dazu ist bei größeren Sondenfeldern (oder nach Vorgabe der zuständigen Behörde) ein Thermal-Response-Test (TRT) durchzuführen. Die Ergebnisse des TRT ersetzen die Annahmen zu den thermischen Eigenschaften des Untergrundes. Die Bedarfsdaten des Gebäudes und die Lastprofile des Wärme- und Kältebedarfs sind mittels einer thermischen Gebäudesimulation zu ermitteln.

Erst mit Hilfe dieser präzisen Eingangsdaten ist eine aussagekräftige Auslegung eines Erdwärmesondenfeldes möglich. Ein dauerhaft wirtschaftlicher und ökologischer Betrieb der Erdwärmeanlage kann dadurch garantiert werden.

5. Fazit

Der Einsatz von erdwärmebasierten Wärmepumpenanlagen zum Heizen und Kühlen bietet eine hervorragende Chance, ein Gebäude dauerhaft wirtschaftlich und ökologisch mit Energie zu versorgen. Die Komplexität einer solchen Anlage und die gegenseitige Beeinflussung von Gebäude, Verteilsystem, Wärmepumpe und Erdreich erfordern jedoch ein hohes Maß an Planungsqualität und Kommunikation zwischen den beteiligten Fachplanern. Die Investition in die Planung wird sich hier, wie in kaum einem anderen Bereich, im Betrieb der Anlage und der Zufriedenheit der Kunden wieder auszahlen.