

Inhaltsverzeichnis

KAPITEL 1

Grundlagen: Funktion, Kennzahlen, technische Vorschriften

- 8 Warum eine Wärmepumpe?**
 - 8 Erneuerbare Energien auf dem Vormarsch
 - 9 Sanierung im Fokus
- 10 So funktionieren Wärmepumpen**
 - 10 Der umgekehrte Kühlschrank
 - 11 So funktioniert der Kältekreislauf
 - 12 Absorption und Adsorption
 - 12 On/off- und invertergeregelt Wärmepumpen
 - 13 Kältemittel machen's möglich
 - 13 Verschiedene Betriebsweisen
- 15 Pro und Contra von Wärmepumpen**
 - 15 Brennwertheizungen
 - 16 Höchste Energieeffizienz
 - 16 Was für Wärmepumpen spricht
 - 17 Mögliche Probleme
 - 18 Wo lassen sich Wärmepumpen aufstellen?
- 19 Kennzahlen verstehen**
 - 19 Leistungszahl/Coefficient of Performance (COP)
 - 20 Die Jahresarbeitszahl
 - 22 Jahresarbeitszahl ermitteln und überwachen
 - 24 Welche Jahresarbeitszahl kann erreicht werden?
- 25 Energetische Vorgaben zu Neubau und Bestand**
 - 25 Vorschriften für Neubauten
 - 26 Vorschriften für Bestandsgebäude
 - 27 So lassen sich Wärmeverluste vermeiden
- 29 Wann lohnt sich der Umstieg?**
 - 29 Voraussetzungen
 - 30 Was gilt es zu beachten?
 - 30 Clever kombinieren

KAPITEL 2

Wärmepumpenarten: Was bietet der Markt?

- 34 Single-Varianten**
 - 34 Sole/Wasser-Erdwärmepumpe
 - 36 Sonderformen der Erdwärmeabsorber
 - 37 Direktverdampfer – Sonden und Flächenkollektoren
 - 38 Offene Systeme
 - 39 Eisspeicher
 - 39 Luft-Wärmepumpen
- 46 Hybridmodelle**
 - 46 Stand der Entwicklung
 - 46 Kompakte Hybrid-Wärmepumpen
 - 47 Getrennte Hybrid-Wärmepumpenanlagen
 - 48 Kombination mit Photovoltaik- und thermischen Solaranlagen
 - 50 Energiemanagementsystem nutzen
- 52 Heizflächen für Wärmepumpen**
 - 52 Flächenheizungen
 - 55 Heizkörper
- 58 Kühlen mit Wärmepumpen**
 - 58 Passive Kühlung
 - 59 Aktive Kühlung
 - 60 Platzierung der Geräte
 - 60 Weitere Bedingungen
- 61 Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen**
 - 62 Gesetzliche Vorgaben
 - 62 Zentrale und dezentrale Trinkwassererwärmung
 - 63 Indirekt beheizter Warmwasserspeicher
 - 64 Trinkwarmwasser – Speicherladesystem
 - 64 Pufferspeicher mit Frischwasserstation
 - 65 Bivalente Trinkwarmwasserspeicher
 - 65 Warmwasser-Wärmepumpe
 - 66 Bivalente Systeme mit Vorwärmstufe

KAPITEL 3

Das richtige Wärmepumpensystem finden

- 70 Bedarf ermitteln**
 - 72 Heizwärmebedarf im Neubau
 - 74 Heizwärmebedarf im Bestand
 - 75 Bedarf für Trinkwarmwasserbereitung
 - 76 Anforderungen für Effizienzhäuser
- 79 Integration der Wärmepumpe in die Haustechnik**
 - 79 Vorplanung
 - 80 Heizflächen
 - 80 Festlegung der Betriebsweisen
 - 83 Pufferspeicher/Wärmespeicher
- 84 Die Wahl der richtigen Wärmepumpe**
 - 84 Zu klärende Fragen
 - 84 Vorgehen bei der Auswahl
 - 87 Wärmepumpe auswählen
 - 90 Wie erzielt man das beste Ergebnis?
- 92 Planung und Erschließung der Wärmequellen**
 - 92 Dimensionierung und Errichtung von Erdwärmesonden
 - 96 Dimensionierung und Errichtung horizontaler Flächenkollektoren
 - 98 Auslegung und Installation von Brunnenanlagen
 - 101 Planung und Ausführung für die Wärmequelle Luft
 - 102 Schallemissionen bei Luftwärmepumpen
- 105 Anlagenkonzept und Detailplanung**
 - 105 Hydraulikschema mit Hydraulikplan und Regelungskonzept
 - 109 Auswahl und Betrieb von Umwälz- und Förderpumpen
- 112 Planung und Dimensionierung der Wärmepumpe**
 - 112 Der Bivalenzpunkt
 - 113 Dimensionierung der Wärmepumpe
 - 114 Vorlauftemperatur bestimmen
- 116 Inbetriebnahme, Dokumentation und Wartung**
 - 116 Inbetriebnahme
 - 118 Der hydraulische Abgleich
 - 119 Funktionsheizten
 - 121 Einweisung
 - 121 Dokumentation und Wartung

KAPITEL 4

Wirtschaftlichkeit und Ertrag optimieren

- 124 Was rechnet sich wirklich?**
 - 124 Jahresarbeitszahl simulieren
 - 125 Parameter für die Berechnung
 - 126 Berechnete Daten
 - 126 Auswirkungen von Variablen
 - 128 Nutzung der Musterrechnungen
 - 129 Bewertung der Varianten
- 132 Häufige Fehlerquellen bei der Planung**
 - 132 Häufige Fehler bei der Planung der Wärmequelle
 - 133 Häufige Fehler bei der Planung der Heizflächen und Speicher
 - 134 Häufige Fehler bei Auswahl und Dimensionierung der Anlage
 - 134 Fehler bei der Planung vermeiden
 - 134 Grundsätze für die richtige Auslegung
- 135 Mehr Effizienz – Ertrag optimieren**
 - 135 Einflussmöglichkeiten durch den Hersteller
 - 136 Einflussmöglichkeiten durch den Installateur
 - 137 Was Betreiber tun können

KAPITEL 5

Herstellerangaben bewerten und Angebote vergleichen

- 140 Herstellerangaben bewerten**
 - 141 Heizleistung und Leistungszahl
 - 141 Energieeffizienzklasse
 - 141 Einsatzgrenzen
 - 141 Schalleistungspegel/Schalldruckpegel
 - 143 Kältemittel/Füllgewicht/GWP-Wert
 - 143 Elektrische Daten
- 144 Angebote vergleichen**
 - 144 Begriffsklärung
 - 146 Angebote einholen in der Praxis
 - 150 Beauftragungsarten
 - 150 Kriterien eines Angebots
 - 157 Angebote richtig vergleichen
 - 158 Häufige Fehler beim Einholen und Vergleichen von Angeboten
 - 159 Zusammenfassung

KAPITEL 6

Rechtliches, Verträge, Förderung

162 Gesetzliche Rahmenbedingungen und Genehmigungen

- 162 Allgemeine Bestimmungen
- 162 Spezielle Rahmenbedingungen

164 Vertragsinhalte, Konformitätserklärungen, Versicherungen

- 164 Vorbereitungen für einen Vertragsabschluss
- 165 Inhalte eines Werkvertrags
- 169 Versicherungen

171 Förderungen

- 172 Allgemeine Fördervoraussetzungen
- 172 Fristen und Zuständigkeiten
- 173 Förderfähige Kosten
- 174 Mögliche Fallstricke bei der Förderung

175 Stromversorgung für Wärmepumpen und Zusatzheizer

- 175 Stromversorgung für Wärmepumpen
- 178 Zusatzheizer

KAPITEL 7

Inbetriebnahme und Wartung: Fehler vermeiden

182 Bei der Inbetriebnahme

- 182 Vor dem Anruf beim Installateur
- 183 Einweisung des Betreibers in die Anlagenperipherie
- 184 Einweisung des Betreibers in den Wärmepumpenregler

188 Betrieb, Inspektion, Wartung und Service

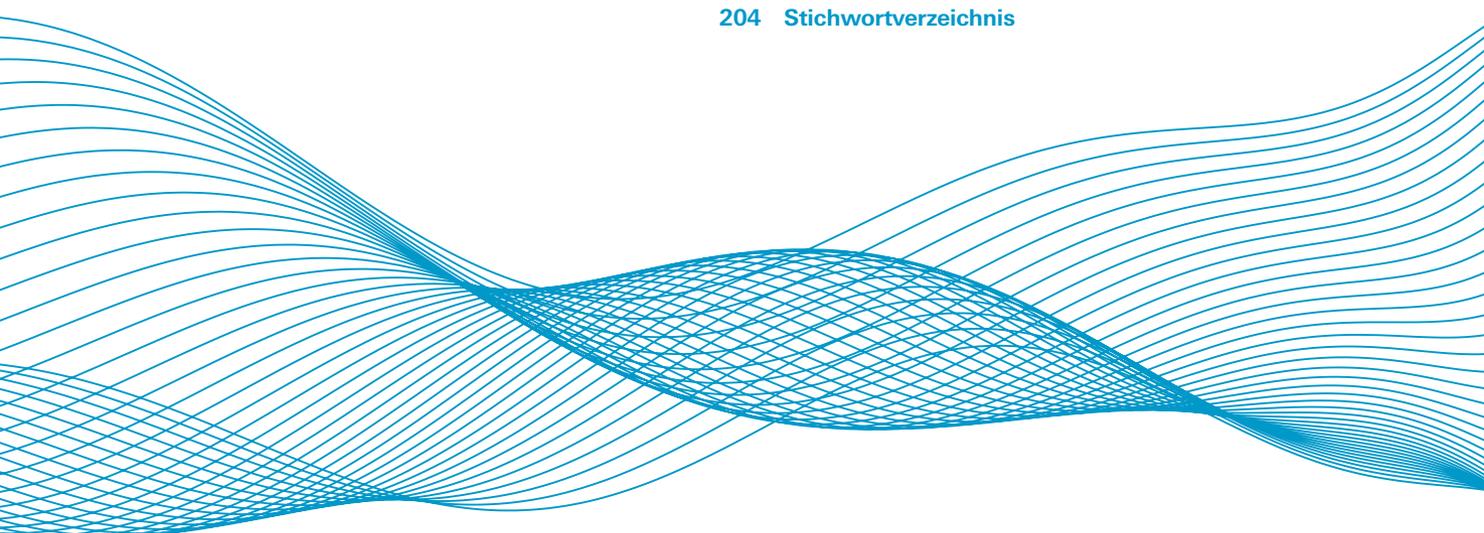
- 188 Betrieb einer Wärmepumpe
- 189 Inspektion, Wartung und Service – Allgemeines
- 190 Inspektion
- 190 Wartung
- 191 Wer wartet meine Wärmepumpe?
- 191 Fehlersuche und Behebung, Service
- 192 Häufige Fehler und Fallstricke
- 193 Probleme erkennen und lösen

ANHANG

Service

196 Tabellen und Checklisten

204 Stichwortverzeichnis



→ **Single-Varianten:** Um die Vielzahl von Wärmepumpenarten und -typen zielgerichtet unterscheiden zu können, ist die Trennung nach Arbeitsverfahren und Arbeitsweise, nach Art der Wärmequelle und der Betriebsweise charakteristisch und hilfreich.

WAS ERFAHRE ICH?

- 34 → Sole/Wasser-Erdwärmepumpe
- 36 → Sonderformen der Erdwärmeabsorber
- 37 → Direktverdampfer-Sonden und Flächenkollektoren
- 38 → Offene Systeme
- 39 → Eisspeicher
- 39 → Luft-Wärmepumpen

In Ein- und Zweifamilienhäusern werden in der Regel elektrisch angetriebene **KOMPRESSIONS-WÄRMEPUMPEN** installiert. Als Antrieb kommen dabei entweder Elektro- oder Verbrennungsmotoren zum Einsatz. Gasmotor-Wärmepumpen spielen derzeit im Ein- und Mehrfamilienhaus eine sehr untergeordnete Rolle.

Neben dem Kompressionsverfahren gibt es, ähnlich wie bei Kühlgeräten, auch Wärmepumpen, die nach dem Absorptionsprinzip arbeiten. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass bei **ABSORPTIONSWÄRMEPUMPEN** zur Erhöhung des Temperaturniveaus keine mechanische Energie, sondern eine Wärmequelle eingesetzt wird. Auf eine genaue Be-

schreibung dieser relativ aufwendigen Verfahrenstechnik und weiterer Varianten wie der **ADSORPTIONSWÄRMEPUMPE** soll hier jedoch verzichtet werden, da diese Ausführungen im Ein- und Mehrfamilienhaus praktisch kaum von Bedeutung sind (siehe auch Seite 12).

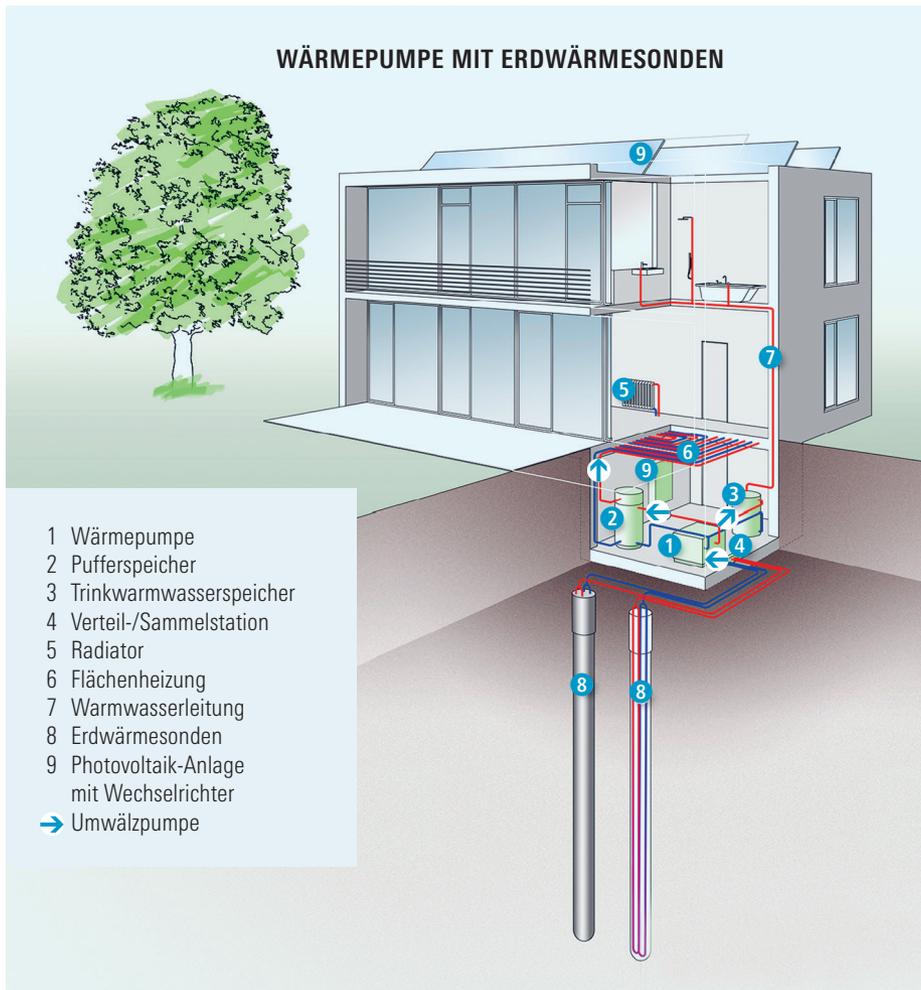
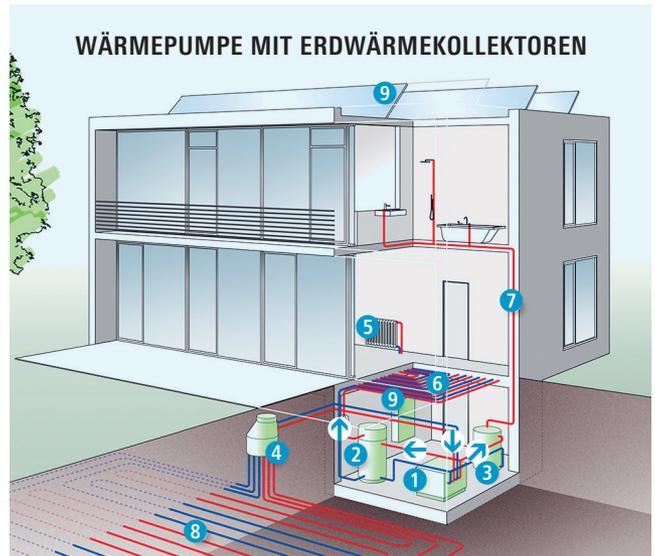
Die Unterscheidung der Wärmepumpen nach den Wärmequellen Erde, Wasser und Luft erscheint auf den ersten Blick recht simpel. Am Beispiel der Erdwärmeanlagen wird jedoch schnell deutlich, dass es eine große Anzahl verschiedener Absorber gibt, deren Vor- und Nachteile nicht so einfach zu erkennen sind.

Sole/Wasser-Erdwärmepumpe

Diese Wärmepumpenart gewinnt die Wärme über einen Absorber mittels eines flüssigen Mediums (Sole) aus dem Erdreich. Man unterscheidet zunächst zwischen geschlossenen und offenen Absorbern. Die Erdsonde (siehe Grafik rechts unten) und der Flächenkollektor mittels Solekreislauf (siehe Grafik rechts oben) sind die am weitesten verbreiteten und bekanntesten geschlossenen Absorber bei erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen. Die Auslegung und Planung derartiger Ausführungen sind in der VDI 4640, Blatt 1–6, „Richtlinie zur thermischen Nutzung des Untergrunds“ geregelt, wobei die Planungsunterlagen der jeweiligen Hersteller zu beachten sind.

Bei dieser Technik gibt es drei verschiedene Medienkreisläufe. Die Schnittpunkte der Kreisläufe sind der Verdampfer und der Verflüssiger.

Im **SOLEKREISLAUF** zirkuliert mithilfe einer Soleumwälzpumpe ein Wasser/Glykol-Gemisch mit einem Gefrierpunkt bis minus 15 Grad Celsius (allgemein als Sole oder Soleflüssigkeit bezeichnet) zwischen dem Absorber (hier die Erdsonden) und dem Verdampfer im geschlossenen Kreis. In der Erdsonde wird die Sole über den Untergrund um 3 bis 4 Kelvin erwärmt. Zu Beginn der Heizperiode liegt die Sole-Eintrittstemperatur je nach Standort und Absorberart in der Regel zwischen 7 und 10 Grad Celsius. Nachdem die Sole ihre Wär-



- 1 Wärmepumpe
 - 2 Pufferspeicher
 - 3 Trinkwarmwasserspeicher
 - 4 Verteil-/Sammelstation
 - 5 Radiator
 - 6 Flächenheizung
 - 7 Warmwasserleitung
 - 8 Erdwärmekollektoren
 - 9 Photovoltaik-Anlage mit Wechselrichter
- Umwälzpumpe

- 1 Wärmepumpe
 - 2 Pufferspeicher
 - 3 Trinkwarmwasserspeicher
 - 4 Verteil-/Sammelstation
 - 5 Radiator
 - 6 Flächenheizung
 - 7 Warmwasserleitung
 - 8 Erdwärmesonden
 - 9 Photovoltaik-Anlage mit Wechselrichter
- Umwälzpumpe

Funktionsprinzip einer Wärmepumpe mit Erdsonden (links) und mit einem Flächenkollector (oben)

→ **Hybridmodelle:** Grundsätzlich können verschiedene Wärmequellen, Wärmepumpen und Wärmeerzeuger mit fossilen Brennstoffen untereinander kombiniert werden – soweit sinnvoll, wirtschaftlich und zulässig.

WAS ERFAHRE ICH?

- 46 → Stand der Entwicklung
- 46 → Kompakte Hybrid-Wärmepumpen
- 47 → Getrennte Hybrid-Wärmepumpenanlagen
- 48 → Kombination mit Photovoltaik- und thermischen Solaranlagen
- 50 → Energiemanagementsystem nutzen

Stand der Entwicklung

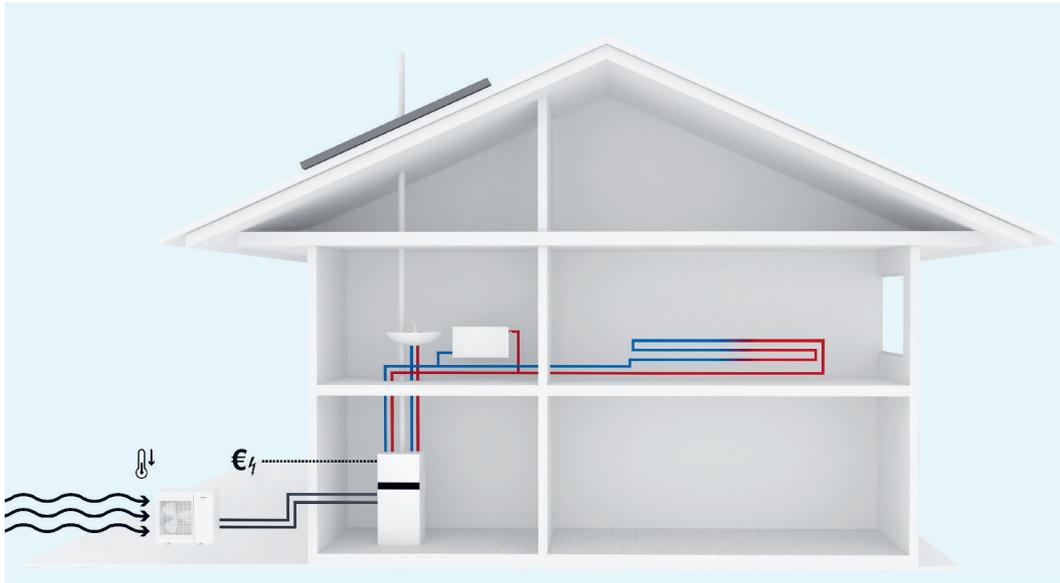
Bei der Kombination verschiedener Wärmequellen gab es bereits eine Reihe guter Ansätze. Ein Beispiel dafür ist die Entwicklung einer Wärmepumpe mit jeweils einem Verdampfer für den Erdkollektor und einem Verdampfer für die Außenluft. In einem anderen Fall wurden Erdsonden mit Solarkollektoren kombiniert. Leider haben sich diese Systeme wegen der relativ hohen Anschaffungskosten bisher noch nicht am Markt etablieren können. Unternehmen aus den verschiedensten Bereichen im Verbund mit Bildungs- und Forschungseinrichtungen, unter anderem dem Fraunhofer-Institut, arbeiten derzeit in mehreren Forschungsprojekten an weiteren Kombinationsmöglichkeiten.

Dies betrifft jedoch hauptsächlich Lösungen mit Wärmepumpen für Mehrfamilienhäuser im Bestand. Für Ein- und Zweifamilienhäuser bieten verschiedene Hersteller schon länger Lösungen für Hybrid-Wärmepumpen und hybride Wärmepumpensysteme an.

Bei Hybrid-Wärmepumpenanlagen wird unterschieden zwischen Hybrid-Kompaktgeräten (komplette Geräte) und getrennten Hybrid-Systemen (bestehend Wärmeerzeuger nachträglich kombiniert mit einer Wärmepumpe), auch als bivalente Wärmepumpenanlagen bekannt. Die bekanntesten Hybrid-Kompaktgeräte sind eine Gas-Brennwertanlage und eine Luft/Wasser-Wärmepumpe in einem Gerät.

Kompakte Hybrid-Wärmepumpen

Kompakte Hybrid-Wärmepumpen nutzen zur Wärmeerzeugung regenerative Wärmequellen und fossile Brennstoffe in einem Gerät. Die geläufigste Ausführung ist die Kombination aus einer Luft-Split-Wärmepumpe mit einem Gas-Brennwertgerät. Hybrid-Wärmepumpen werden bevorzugt dort eingesetzt, wo höhere Vorlauftemperaturen für die Heizflächen oder den Warmwasserbedarf benötigt werden. Der Punkt, an dem von der Wärmepumpe zum Gasgerät und umgekehrt umgeschaltet wird, kann nach ökologischen oder ökonomischen Kriterien bestimmt werden. So kann die Umschaltung beispielsweise über die Eingabe der



Im Bild sieht man die Außeneinheit der Wärmepumpe links nahe der Außenwand. Im Erdgeschoss wurde die Inneneinheit samt Gasbrennwertgerät und Warmwasserspeicher untergebracht.

Preise für die Energieträger oder über die niedrigsten CO₂-Emissionen laufen. Das bedeutet, dass jeweils das Gerät zugeschaltet wird, das die geringsten Heizkosten oder die geringsten CO₂-Emissionen verursacht. Da diese Geräte aber in der Anschaffung relativ teuer sind (zuzüglich der Kosten für eine Schornsteinsanierung, Stichwort: Feuchtedichtigkeit) und höhere Nebenkosten für Wartung und Gaszähler mit sich bringen, ist der Absatz regional unterschiedlich.

Getrennte Hybrid-Wärmepumpenanlagen

Werden eine Wärmepumpe und ein Wärmeerzeuger mit fossilen Brennstoffen jeweils getrennt errichtet und hydraulisch und regelungstechnisch zusammengeschaltet, spricht man von hybriden beziehungsweise bivalenten Wärmepumpenanlagen. Solche Kombinationen werden zum Beispiel häufig in Ein- und Zweifamilienhäusern mit Heizkörpern, welche hohe Vorlauftemperaturen benötigen, und bei der Warmwasserbereitung für Großanlagen mit Warmwassertemperaturen von 60 Grad Celsius oder mehr angewendet. Die ganzjährig zentrale Warmwasserbereitung mit Temperatu-

ren ab 60 Grad Celsius ist mit der Wärmepumpe allein zurzeit wirtschaftlich nur schwer oder nur über Sonderlösungen möglich. Steigen die Kosten für Gas und Heizöl weiter an beziehungsweise sinken sie nicht gleich wieder, ergibt sich eine neue Konstellation, bei der allein mit der Wärmepumpe und elektrischer Zusatzheizung ein wirtschaftlicher Betrieb möglich wird (monoenergetischer Betrieb).

Bei der **WIRTSCHAFTLICHEN BETRACHTUNG** sind immer die jeweiligen Preisentwicklungen von Wärmepumpenstrom, Gas und/oder Öl zu berücksichtigen. Je weiter sich Strom- sowie Gas- und Ölpreise voneinander entfernen, umso lohnenswerter wird der Einsatz einer Wärmepumpe.

Hybrid-Wärmepumpenanlagen werden zukünftig vor allem bei älteren Mehrfamilienhäusern verstärkt zum Einsatz kommen. Dabei werden außen aufgestellte Luft/Wasser-Wärmepumpen größerer Leistung mit den vorhandenen Wärmeerzeugern gemeinsam die Wärmeversorgung übernehmen. Wichtig hierbei ist, dass die Anlage so ausgelegt wird, dass der Bivalenzpunkt (der Punkt, wo der zweite Wärmeerzeuger zugeschaltet wird) nicht zu früh erfolgt, etwa bei minus 5 statt bei plus 5 Grad Celsius.

SONDERSTROM

Da die Sperrzeit für Sonderstrom bis zu dreimal zwei Stunden am Tag betragen kann und häufig in den Abendstunden zur Anwendung kommt, ist es in diesem Fall vorteilhaft, einen **GRÖßEREN SPEICHER** auszuwählen. Wenn dies aus Platzgründen nicht möglich ist, empfiehlt sich die Installation eines speziellen elektrischen Durchlauferhitzers am Warmwasseraustritt des Warmwasserspeichers.

Beim Einsatz von Luft-Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen ist ein reichlich ausgelegter Warmwasserspeicher ebenfalls sinnvoll, da sich die Warmwasserbereitung in Zeiten höherer Außentemperaturen oder über Tag, wenn PV-Strom anliegt, sinnvoller durchführen lässt. Gleichzeitig kann damit auch die Eigenstromquote erhöht werden.

Ein Grad mehr Raumtemperatur bedeutet einen **MEHRVERBRAUCH AN BRENNSTOFF** von fünf bis sechs Prozent, weshalb die Wunschtemperaturen nicht leichtfertig zu hoch festgelegt werden sollten. Man kann davon ausgehen, dass die Energiepreise in den kommenden Jahren weiter steigen werden. Eine durchdachte und maßvolle Planung der Raumtemperaturen ist also angebracht.

Heizwärmebedarf im Bestand

Für Bestandsgebäude stehen selten detaillierte Angaben über die verwendeten Bauteile zur Verfügung. Aussagen wie: „Das Dach wurde vor zehn Jahren gedämmt“ oder „Die Fenster wurden vor 15 Jahren erneuert“ lassen meist nur Annahmen zu, welche U-Werte die verwendeten Bauteile hatten. Eine Berechnung nach dem ausführlichen Verfahren würde unter diesen Gesichtspunkten gegebenenfalls zu viele Unsicherheiten beinhalten. Oft wird deshalb anhand des **BRENNSTOFFVERBRAUCHS** der letzten Jahre eine überschlägige Ermittlung durchgeführt.

$$Q_N = \frac{\text{Ölverbrauch [l/a]}}{250 \text{ [l/a kW]}} \text{ [kW]}$$

$$Q_N = \frac{\text{Erdgasverbrauch [m}^3\text{/a]}}{250 \text{ [m}^3\text{/a kW]}} \text{ [kW]}$$

Rechenbeispiel: In einem Einfamilienhaus wurden im Durchschnitt in den letzten fünf Jahren 3500 Liter Heizöl pro Jahr verbraucht.

$$3500 \text{ l/a} : 250 \text{ l/a kW} = 14 \text{ kW}$$

SPEZIFISCHE HEIZLEISTUNG (W/M²)

abhängig vom Baujahr des Gebäudes

Gebäudeart	bis 1958	1959–68	1969–73	1974–77	1978–83	1984–94	ab 1995
Einfamilienhaus, frei stehend	180	170	150	115	95	75	60
Reihenendhaus	160	150	130	110	90	70	55
Reihenmittelhaus	140	130	120	100	85	65	50
Mehrfamilienhaus < 8 WE	130	120	110	75	65	60	45
Mehrfamilienhaus > 8 WE	120	110	100	70	60	55	40

Zur Einordnung: KfW-60-Häuser: ca. 50 W/m²; KfW-40-Häuser: ca. 40 W/m²; Passivhäuser: ca. 15 W/m², Quelle: Viessmann

Dieser Verbrauch würde also einer Heizlast von circa 14 kW entsprechen. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass der Brennstoffverbrauch meistens die Brennstoffmenge für die Heizung und die **WARMWASSERERZEUGUNG** beinhaltet. Daher ist dieser Wert auch mit höheren Unsicherheiten behaftet.

Eine weitere oft angewandte Möglichkeit zur überschlägigen Ermittlung der Heizlast ist die Berechnung über die spezifische Heizlast. Hierbei wird die zu beheizende Fläche mit der **SPEZIFISCHEN HEIZLEISTUNG** aus nebenstehender Tabelle ermittelt. Dieser Wert kann von dem nach dem ausführlichen Verfahren ermittelten erheblich abweichen und dient deshalb nur als Orientierungsgröße zur Vorauswahl der Wärmepumpe oder für eine Kostenschätzung.

Am besten ist es, einen erfahrenen Energieberater damit zu beauftragen, durch Bauteilöffnung und Messung der Wärmedurchgangskoeffizienten und U-Werte mit einem U-Wert-Messgerät oder mit einer Wärmebildkamera ein genaues Bild vom Zustand des Gebäudes zu erarbeiten und gleichzeitig Vorschläge zur Verbesserung der energetischen Qualität vorzulegen. Erkundigen Sie sich nach entsprechenden Förderungen (siehe Seite 171)! Auf Basis des Berichts kann eine relativ genaue Heizlast nach dem ausführlichen Verfahren ermittelt werden. Oft findet man in Bauämtern noch alte Baupläne oder Angaben zu Sanierungsmaßnahmen.

Wenn Sie die Heizlast nach dem Brennstoffverbrauch ermitteln und entsprechend die Wärmepumpe dimensionieren, riskieren Sie eine Über- oder Unterdimensionierung mit dementsprechenden Nachteilen: Überdimensionierte Wärmepumpen takten zu stark, das heißt, sie schalten zu häufig ein und aus.

Kann die Heizlast nicht genau ermittelt werden, ist es besser, entweder eine zweistufige Wärmepumpe (zwei Verdichter in einem Gerät), eine Wärmepumpenkaskade (zwei separate Geräte (Master und Slave), die zusammenarbeiten, der Master regelt die Zuschaltung des Slave) oder eine modulierende Wärmepumpe einzusetzen, weil bei diesen Varianten entweder durch zwei oder durch geregelte Verdichter die Heizleistung variabel ist.

ERFAHRUNGSWERTE FÜR DIE SPEZIFISCHE HEIZLAST BESTEHENDER GEBÄUDE zur Abschätzung der Heizlast

Baujahr	spezifische Heizlast (W/m ²)
bis 1970, ungedämmt	120 bis 180
1977 bis 1984	70 bis 100
1985 bis 1995	50 bis 70
Neubau, EnEV	40 bis 50
Neubau, KfW 40/60	20 bis 30
Passivhaus	10 bis 15

Quelle: Max Weishaupt GmbH

Bedarf für Trinkwarmwasserbereitung

Die Ermittlung des Bedarfs für die Trinkwassererwärmung sollte ebenfalls in sorgfältiger Abstimmung mit dem Betreiber über den Haustechnikfachplaner beziehungsweise die Fachplanerin oder den Installateur erfolgen. Dabei können im Ein- und Zweifamilienhaus bei normaler Sanitärausstattung die benötigte Speichergröße und die erforderliche Heizlast

WARMWASSER-WP UND JAHRESENERGIEBEDARF

Beim Einsatz einer Warmwasser-Wärmepumpe muss der Jahresenergiebedarf für die Warmwassererzeugung bei der Dimensionierung der Erdabsorber nicht berücksichtigt werden! Denken Sie bei der Bemusterung der Sanitärausstattung daran, dass solche Dinge wie ein Duschpaß oder besonders große Regenbrausen zu einem höheren Spitzenbedarf führen können.

EINSATZMÖGLICHKEITEN VON WÄRMEPUMPEN

Arten im Ein- und Zweifamilienhaus

Kriterien	Neubau	Bestand, teilsaniert	Bestand, unsaniert ab Baujahr 1980	Bemerkungen
Freistehendes Gebäude	Luft, Erde, Wasser	Luft bedingt, Erde, Wasser	Erde, Wasser	
Doppelhaushälfte	Luft, Erde, Wasser	Luft bedingt, Erde, Wasser	Erde, Wasser	
Reihenhaus	Erde, Wasser	Luft bedingt, Erde, Wasser	Erde, Wasser	Luft kritisch wegen Geräuschen
Betriebsweise monovalent	Erde, Wasser	Erde, Wasser	Erde, Wasser, eventuell bivalent	Luft bedingt
Bivalent	Luft, Erde, Wasser	Luft, Erde, Wasser	Erde, Wasser	
Bivalent-alternativ	Luft, Erde, Wasser	Luft, Erde, Wasser	Luft, Erde, Wasser	
Bivalent-parallel	Luft, Erde, Wasser	Luft, Erde, Wasser	Luft HT-WP, Erde, Wasser	
Aktive Kühlung	Luft			
Passive Kühlung		Erdsonde, Wasser	Erdsonde, Wasser	Eventuell Grabenkollektor
Flächenheizung	Luft, Erde, Wasser	Luft, Erde, Wasser	Luft, Erde, Wasser	
Heizkörper VL > 45 °C	Hochtemperatur Wärmepumpe	Luft-HT-WP, Erde, Wasser	Luft-HT-WP, Erde, Wasser	Besser VL-Temperatur absenken
Gemischt	HT-WP	Luft-HT-WP, Erde, Wasser	Luft-HT-WP, Erde, Wasser	
Trinkwasserbedarf – normal	Luft, Erde, Wasser	Luft, Erde, Wasser	Luft ¹ , Erde, Wasser	¹ Eventuell HT-WP für WW
– anspruchsvoll	Luft ² , Erde, Wasser	Luft ² , Erde, Wasser	Luft ² , Erde, Wasser	² Eventuell HT-WP für WW
Primat Ökologie	Luft			
Primat Ökonomie	Erde, Wasser	Erde, Wasser	Erde, Wasser	
Effizienzhaus 70	Luft ³ , Erde, Wasser	Luft ³ , Erde, Wasser		³ Luft Kombination + Solar
Effizienzhaus 55	Luft ⁴ , Erde, Wasser			⁴ Luft Kombination + Solar
Effizienzhaus 40	Erde, Wasser	Erde, Wasser	Erde, Wasser	
Effizienzhaus 40+	Erde, Wasser	Erde, Wasser	Erde, Wasser	
Investitionskosten – hoch		Erde		
– mittel			Wasser	
– gering	Luft			
Wartungsaufwand – mittel	Luft		Wasser	
– gering		Erde		

Grundwasser -Wärmepumpen ist die Wasserqualität entscheidend.

Wärmepumpe auswählen

Am folgenden Beispiel soll die Ablösung einer Ölkesselanlage und die Wahl der richtigen Wärmepumpe für die eigenen Zwecke Schritt für Schritt erläutert werden. Dazu stehen dem Installateur oder der Fachplanerin folgende selbst ermittelte Daten des Gebäudes und der Heizung zur Verfügung:

OBJEKTDATEN

DOPPELHAUSHÄLFTE: Standort PLZ 04275, Baujahr 1979, moderate Abschirmung, teilsaniert (Fenster neu, Dachgeschoss gedämmt)

WOHNFLÄCHE: 180 Quadratmeter

GRUNDSTÜCKSFLÄCHE: 820 Quadratmeter

HEIZSYSTEM UND SPEICHER: Ölkessel, Heizleistung 18 Kilowatt, Baujahr 1998, durchschnittlicher Verbrauch der letzten fünf Jahre ca.

3 100 Liter, Warmwasserspeicher 160 Liter

BEDARF: Trinkwarmwasser für drei Personen, normaler Bedarf, Zirkulation mit Zeitschaltuhr, Dauer sechs Stunden

RAUMTEMPERATUREN: Wohnzimmer, Küche, Kinderzimmer 22 Grad Celsius, WC 20 Grad Celsius, Bad 24 Grad Celsius, Schlafzimmer, Hauswirtschaftsraum 18 Grad Celsius

HEIZFLÄCHEN: 40 Prozent Fußbodenheizung, benötigte Vorlauftemperatur 45 Grad Celsius; 60 Prozent Heizkörper, benötigte maximale Vorlauftemperatur 60 Grad Celsius

HEIZRAUM: im Keller, Maße = 3 Meter x 4 Meter x 2,2 Meter, Türbreite 720 Millimeter

BESTANDSUNTERLAGEN: Bauzeichnungen, Grundrisse und Schnitt, kein Wärmeschutznachweis vorhanden, U-Werte Gebäudehülle nicht bekannt.

1. SCHRITT: ABSCHÄTZUNG DER HEIZLAST

Eine Heizlastberechnung nach DIN TS 12831 ist aufgrund fehlender U-Werte ungenau und nur mit hohem Aufwand (Berechnung der U-Werte oder Messung) durchführbar. Die Heizlast wird deshalb wie folgt über den mittleren Brennstoffverbrauch und über die spezifi-

sche Heizleistung pro Quadratmeter beheizter Fläche abgeschätzt:

$$\text{Heizlast (Q)} = 3100 \text{ l} : 250 \text{ l} = 12,4 \text{ kW}$$

Zum Vergleich die Abschätzung über den spezifischen Wärmebedarf nach Baujahr und beheizter Fläche:

$$\text{Q} = 180 \text{ qm} \times 80 \text{ W/qm} = 14,4 \text{ kW}$$

Wird die Heizlast über den Heizlastrechner des Bundesverbands Wärmepumpe (waerme-pumpe.de/normen-technik/heizlastrechner/) ermittelt, beträgt das Ergebnis 12,7 kW.

Nach diesen Schätzungen liegt die benötigte Heizleistung zwischen 12 und 14 Kilowatt. Dieser Schätzwert stellt einen **ORIENTIERUNGS-WERT** dar und kann von der Berechnung des ausführlichen Verfahrens zwischen zehn und 20 Prozent abweichen. Für das weitere Vorgehen wird nun als Mittelwert eine Heizlast von ungefähr 13 Kilowatt angenommen.

Auf die angenommene Heizlast kommen ein Zuschlag für die Warmwasserbereitung von 3 Personen $\times 0,25 \text{ kW/Person} = 0,75 \text{ kW}$ und ein Zuschlag für die Sperrzeit bei Sonderstromnutzung von 15 Prozent, also:

$$(13 \text{ kW} + 0,75 \text{ kW}) \times 1,15 = 15,8 \text{ kW}$$

2. SCHRITT: AUSWAHL DER WÄRMEQUELLE

Da der wirtschaftliche Aspekt Vorrang vor der Ökologie haben soll, kommen nur das Erdreich oder das Wasser als Wärmequelle infrage. Wegen nicht ausreichender Wasserqualität am Standort fällt Wasser als Wärmequelle jedoch weg. Folglich kommen nur Erdwärmesonden oder ein Flächenkollektor in die engere Auswahl. Da die zweieinhalb- bis dreifache Fläche der beheizten Fläche für einen Flächenkollektor zur Verfügung steht (180 Quadratmeter Wohnfläche auf eine Grundstücksfläche von 820 Quadratmetern), sind Sonderbauformen wie ein Grabenkollektor, Erdwärmekörbe, Erdwärmepfähle oder ein Energiezaun nicht erforderlich.

Um zu entscheiden, ob in diesem Fall **FLÄCHENKOLLEKTOREN ODER ERDSONDEN** besser geeignet sind, wurden folgende Aspekte herangezogen:

→ **Planung und Erschließung der Wärmequellen:** Je nachdem, ob die Wärme aus dem Erdreich, dem Grundwasser oder der Luft bezogen wird, sind bei Auslegung und Erschließung der Wärmequellen andere Kriterien zu beachten.

WAS ERFAHRE ICH?

- 92 → Dimensionierung und Errichtung von Erdwärmesonden
- 96 → Dimensionierung und Errichtung horizontaler Flächenkollektoren
- 98 → Auslegung und Installation von Brunnenanlagen
- 101 → Planung und Ausführung für die Wärmequelle Luft

Dimensionierung und Errichtung von Erdwärmesonden

Fehler bei der Auslegung und Errichtung von Erdwärmeeinrichtungen können sehr teuer werden und zu Störungen im Betriebsablauf führen. Diese Aufgaben sollten daher unbedingt sorgfältig und durch Fachkräfte erledigt werden.

Maßgebend für die Dimensionierung und Errichtung von Erdwärmeeinrichtungen ist die VDI 4640 Blatt 1–5 (speziell Blatt 2, Juni 2019, „Thermische Nutzung des Untergrunds – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen“). Am häufigsten werden in Deutschland Doppel-U-Rohrsonden mit einem Außendurchmesser (dA) von 32 Millimetern installiert (Abb. rechts).

Der Bohrlochdurchmesser beträgt in der Regel 154 Millimeter. Irrtümlicherweise gehen viele Interessenten davon aus, dass in hartem Gestein keine Bohrungen eingebracht werden können. Eigentlich bringen die Bohrunternehmen jedoch lieber Erdsonden im festen Gestein ein, weil dort das Bohrloch fest steht und nicht einfällt, was die Einbringung der Erdsonden erleichtert und keine zusätzlichen Hilfsverrohrungen erfordert.

In Deutschland werden für Eigenheime meistens Erdsonden bis 99 Meter ohne bergrechtliche Zustimmung und bis maximal etwa 130 Meter Tiefe errichtet. Die ermittelten Bohrtiefen werden in der Regel so geteilt, dass sich diese **SONDENTIEFEN** ergeben.

Für die Auslegung von Erdwärmesonden gibt es eine Reihe unterschiedlicher Berechnungs- und Simulationsverfahren und Herangehensweisen, welche ihren Zweck mehr oder weniger gut erfüllen. Bei allen Varianten wird die Ausführung als Doppel-U-Rohrsonde mit einem Außendurchmesser von 32 Millimetern angenommen. Anhand des beispielhaften teilsanierten Gebäudes (siehe „Wärmepumpe auswählen“, Seite 87) sollen die Ergebnisse der verschiedenen Methoden verdeutlicht werden:

DIE 50-W/M-REGEL

Diese Regel ist die in Deutschland am häufigsten verwendete Regel, obwohl je nach Standort die spezifische Entzugsleistung zwischen

40 und 70 Watt pro Meter Sondenlänge und darüber hinaus schwanken kann. Die Ermittlung der benötigten Bohrmeter (Sondenlängen) geschieht folgendermaßen: Zur festgestellten Heizlast wird ein Zuschlag von 0,25 bis 0,5 Kilowatt pro Person für die Warmwasserbereitung aufgeschlagen. Dazu kommt je nach Sperrzeit ein Zuschlag von zehn bis 20 Prozent. Von der ermittelten gesamten Heizlast werden je nach Wärmepumpe 75 bis 80 Prozent als Kälteleistung angesetzt. Diese Kälteleistung wird dann durch 50 Watt pro Meter dividiert.

Beispiel:

Heizlast 13 kW + (3 x 0,25 kW/pro Person)

= 13,75 kW x 1,15 = 15,8 kW

80 % von 15 800 W = 12640 W

Diese Kälteleistung von 12 640 Watt wird durch 50 Watt pro Meter dividiert:

12640 W : 50 W/m = 252,8 m

Daraus ergeben sich 252,8 Bohrmeter, aufgerundet sind das 254 Bohrmeter. Hier würden also 2 x 127 Bohrmeter ermittelt.

ERMITTLUNG AUS TABELLENWERTEN NACH VDI 4640/2

Nach vorstehendem Beispiel würden sich bei Anwendung der Tabelle B 6 (2400 h/a) aus Anlage B, VDI 4640/2 für kleine Anlagen bis 30 kW folgende Bohrmeter ergeben:

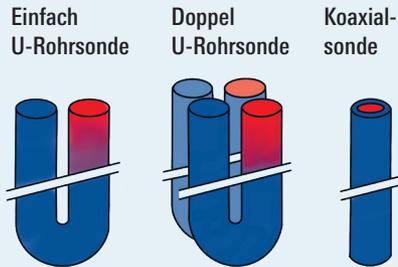
Turbulente Strömung, Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds 2,4 W/(mK) = bei zwei Sonden interpoliert ca. 33,4 W/m.

Bei 12 640 Watt Kälteleistung dividiert durch 33,4 W/m = ca. 373 Meter Sondenlänge, bei drei Sonden aufgerundet je 125 Bohrmeter. Das wären nach dieser Auslegungsmethode 121 Bohrmeter mehr.

Bei einer Heizleistung bis 8 Kilowatt (Kleinstanlagen) können nach Tabelle B 8 die Anzahl der Sonden und die dazugehörigen Längen pro Erdwärmesonde (EWS) direkt abgelesen werden. Vorsicht ist hier allerdings bei modulierenden Sole/Wasser-Wärmepumpen geboten, da bei diesen Geräten meist nur die Nennwärmeleistung und nicht die Maximalleistung angegeben wird. Hier sollte unbe-

HÄUFIGE SONDENARTEN

Erdwärmesonden können als Einfach-, als Doppel-U-Sonden sowie als Koaxial-Sonden eingebaut werden.



blau = abgekühlte, eingeleitete Flüssigkeit
rot = erwärmte, aufsteigende Flüssigkeit

In der Regel werden Doppel-U-Sonden genutzt. Koaxial-Sonden kommen in Gebieten mit Tiefenbeschränkungen und als Speichersonden zum Einsatz.

Quelle: Bundesverband Geothermie



Eingebrachte Doppel-U-Rohrsonde (dA32) mit Verpressrohr

dingt die tatsächlich ermittelte Heizlast als Bezugsgröße herangezogen werden.

DIMENSIONIERUNG NACH BERECHNUNGS-TOOL DES BWP

Legt man die Angaben aus unserem Beispiel zugrunde, werden im Report des Rechentools

→ **Planung und Dimensionierung der Wärmepumpe:** Die richtige Auslegung der Wärmepumpenanlage ist die Voraussetzung für einen störungsfreien und wirtschaftlichen Betrieb. Dabei sollten auch mögliche Veränderungen im Bedarf berücksichtigt werden.

WAS ERFAHRE ICH?

- 112 → Der Bivalenzpunkt
- 113 → Dimensionierung der Wärmepumpe
- 114 → Vorlauftemperatur bestimmen

Im Abschnitt „Die richtige Wärmepumpe auswählen“ wurden bereits an einem Beispiel die Dimensionierung und Auswahl einer Sole/Wasser-Wärmepumpe erläutert (ab Seite 87). Grundsätzlich gilt es bei der Auslegung einer Wärmepumpenanlage zu beachten: Die Heizleistung der ausgewählten Wärmepumpe sollte in der Nähe der ermittelten Heizlast inklusive dem Zuschlag für die Warmwasserbereitung und dem Zuschlag für die Sperrzeiten liegen.

Für Sole/Wasser-Wärmepumpen mit gut ausgelegter Wärmequelle hat sich eine leichte Unterdimensionierung bei On/off-Wärmepumpen in der Praxis bewährt. Bei Inverter-Wärmepumpen ist eine zu starke Überdimensionierung zu vermeiden, da ansonsten die Wärmepumpe bei zu großem Modulationsbeginn in der Übergangszeit trotzdem ins Takten kommen kann oder zu lange im weniger effizienten Modulationsbereich arbeitet. Außerdem wäre eine Überdimensionierung für die

Nutzung von durch Photovoltaik erzeugtem Strom nicht so günstig, da die Eigenstromnutzung erst später einsetzen könnte. Für Luft-Wärmepumpen sollte bei monoenergetischer Betriebsweise der Bivalenzpunkt für den Heizstab auf etwa minus 5 Grad Celsius festgelegt werden, was ebenso für die Auslegung einer bivalenten Anlage zutrifft. Wird der Bivalenzpunkt hierbei zu weit in den Bereich mit Außentemperaturen von über 0 Grad Celsius verlegt, muss der zweite Wärmeerzeuger zu früh zuschalten.

Der Bivalenzpunkt

Anhand eines Beispiels für eine monoenergetische Betriebsweise soll die Ermittlung des Bivalenzpunkts veranschaulicht werden. Als Außentemperatur werden minus 16 Grad Celsius und als Raumtemperatur 20 Grad Celsius zugrundegelegt. Der Wärmebedarf des Beispielgebäudes beträgt neun Kilowatt, der Zuschlag für den Warmwasserbedarf ein Kilowatt, die Sperrzeit zwei Stunden. Der Zuschlagsfaktor für die Sperrzeit wird ermittelt, indem 24 Stunden durch die Freigabedauer dividiert werden:

$$24 \text{ h} : 22 \text{ h} = 1,1$$

Daraus ergibt sich ein Gesamtwärmebedarf von:

$$(9 \text{ kW} + 1 \text{ kW}) \times 1,1 = 11 \text{ kW}$$

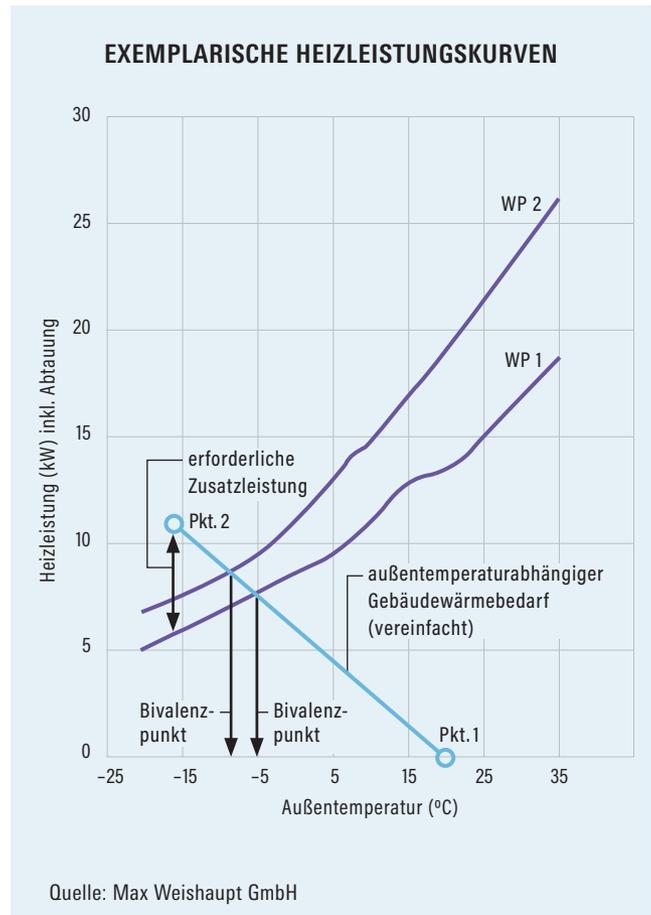
Zur Bestimmung des Bivalenzpunkts sind in der nebenstehenden Grafik „Exemplarische Heizleistungskurven“ die blaue Gebäudekennlinie (der außentemperaturabhängige Wärmebedarf des Gebäudes, vereinfacht) und zwei unterschiedliche Heizleistungskurven von On/off-Luft/Wasser-Wärmepumpen (WP 1 und WP 2, jeweils lila) bei 35 Grad Celsius Vorlauf-temperatur eingetragen.

Die Heizleistungskurve der Wärmepumpe 1 schneidet die Gebäudekennlinie bei minus fünf Grad Celsius, der Schnittpunkt der Kurve von Wärmepumpe 2 liegt etwa bei minus neun Grad Celsius. Bei Wärmepumpe 1 fehlen zur Deckung des Gesamtwärmebedarfs bei minus 16 Grad Celsius eine Leistung von 5,5 kW (aus senkrechter Linie Punkt 2 bis Leistung WP 1 bei minus 16 Grad Celsius). Dieser Anteil müsste über einen Elektroheizstab mit einer Leistung von sechs Kilowatt abgedeckt werden. In diesem Beispiel wird Wärmepumpe 1 als infrage kommende Wärmepumpe ausgewählt.

Theoretisch könnte Wärmepumpe 2 auch eingesetzt werden, da bei dieser Wärmepumpe bei minus 16 Grad Celsius nur etwa 3,5 Kilowatt zur Deckung des Wärmebedarfs fehlen würden und ein Heizstab mit einer Leistung von vier Kilowatt zur Deckung des Defizites genügen würde.

Folgende Punkte sprechen aber dagegen, eine Wärmepumpe mit größerer Heizleistung bei minus 16 Grad Celsius einzusetzen:

- Liegt der Bivalenzpunkt bei minus 5 Grad Celsius, kann mit Wärmepumpe 1 bei bivalent-parallelem Betrieb ein Wärmepumpendeckungsanteil von 98 Prozent erreicht werden. Wie aus der Tabelle „Deckungsanteile von Luft/Wasser-Wärmepumpen“ im Anhang auf Seite 196 zu erkennen ist, würde das mit Wärmepumpe 2 nur ein Prozent mehr ausmachen.
- Die Investitionskosten von Wärmepumpe 1 gegenüber Wärmepumpe 2 sind geringer.
- Bei einer zu groß dimensionierten On/off-Wärmepumpe kann es durch die wesentlich höhere Heizleistung in der Übergangszeit zu einer zu starken Taktung der Wärmepumpe kommen.



Heizleistungskurven von zwei Luft/Wasser-Wärmepumpen unterschiedlicher Heizleistung für Vorlauftemperaturen von 35 Grad Celsius und außentemperaturabhängigen Gebäudewärmebedarf

Dimensionierung der Wärmepumpe

Während es oft die bessere Lösung ist, eine Wärmepumpe etwas geringer zu dimensionieren, kann die Konstellation bei **BIVALENTEN WÄRMEPUMPENANLAGEN IN BESTANDSGEBÄUDEN** ein wenig anders sein. Das hängt zum Beispiel mit davon ab, wie im Rahmen eines individuellen Sanierungsfahrplans (iSFP) die energetische Ertüchtigung des Gebäudes im Lauf der Jahre verbessert wird oder ob Photovoltaikanlagen hinzukommen. Durch Wärmedämmmaßnahmen (Verringerung der Heizlast)

ENTSCHEIDUNGSHILFE TRINKWASSERERWÄRMUNG (TWE) → ab S. 63

Varianten im Ein- und Zweifamilienhaus mit Wärmepumpe

Variante	Vorteile	Nachteile	Bemerkung
Indirekt beheizter Warmwasserspeicher (S. 63)	<ul style="list-style-type: none"> – am meisten verwendete Variante, bis 220 Liter – Inhalt mit Wärmepumpe als ein Gerät erhältlich – geringe Montage- und Investitionskosten 	<ul style="list-style-type: none"> – bei nebengestellten Warmwasserspeichern erhöhter Platzbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> – Wärmeübertragerfläche im Speicher muss auf Wärmepumpe abgestimmt sein – weniger empfindlich bei hartem Wasser
Speicherladesystem (S. 64)	<ul style="list-style-type: none"> – vorhandene Warmwasserspeicher können weiter genutzt werden 	<ul style="list-style-type: none"> – Ladestation inklusive zusätzlicher Umwälzpumpe erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> – Plattenwärmeübertrager in der Ladestation muss gewartet werden
Pufferspeicher mit zentraler Frischwasserstation (Friwa) (S. 64)	<ul style="list-style-type: none"> – hygienische Trinkwassererwärmung 	<ul style="list-style-type: none"> – begrenzte Durchflussmenge 	<ul style="list-style-type: none"> – Komforteinschränkungen bei mehreren Zapfstellen möglich
Pufferspeicher mit Wohnungs-Frischwasserstation (S. 64)	<ul style="list-style-type: none"> – hygienische Trinkwassererwärmung – mehr Komfort durch Elektrostab in Frischwasserstation 	<ul style="list-style-type: none"> – höhere Investitionskosten 	<ul style="list-style-type: none"> – Frischwasserstation je WE mit nachgeschaltetem Elektrozusatzheizer sichert Komfort
Bivalenter Trinkwasserspeicher (S. 65)	<ul style="list-style-type: none"> – mehrere Wärmequellen in einem Speicher nutzbar – höhere Warmwassertemperatur durch zweiten Wärmeerzeuger möglich 	<ul style="list-style-type: none"> – hohe Investitionskosten 	<ul style="list-style-type: none"> – bei über 400 Litern Inhalt 60 °C Warmwassertemperatur erforderlich
Multifunktionsspeicher mit Frischwasseraufbereitung (S. 65)	<ul style="list-style-type: none"> – mehrere Wärmequellen in einem Speicher nutzbar – Schichtentrennung bei Ausführung WP – Speicher-Maßanfertigung für Bestandsgebäude – hohe Warmwasserleistung 	<ul style="list-style-type: none"> – hohe Investitionskosten 	<ul style="list-style-type: none"> – individuelle Auslegung möglich
Warmwasser-Wärmepumpe (S. 65)	<ul style="list-style-type: none"> – im Winter Umluftbetrieb und im Sommer Außenluftbetrieb möglich – gut geeignet für PV-Nutzung durch geringe elektr. Leistungsaufnahme 	<ul style="list-style-type: none"> – hohe Investitionskosten – eventuelle Geräusche – Kondensatabfluss erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> – bei älteren Gebäuden gleichzeitige Entfeuchtung – Mindestraumvolumen beachten
Trinkwasservor- und Nacherwärmung (S. 66)	<ul style="list-style-type: none"> – Einsatz von unterschiedlichen Wärmeerzeugern – Speicher im Bestand kann weiter genutzt werden – höhere Effizienz der Wärmepumpe 	<ul style="list-style-type: none"> – höhere Investitionskosten sowie mehr Platzbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> – bei über 400 l Gesamtinhalt 60 °C Warmwassertemperatur erforderlich
Elektrischer Durchlauferhitzer (S. 67)	<ul style="list-style-type: none"> – hygienische Trinkwasserbereitung – kann mit anderen Varianten kombiniert werden 	<ul style="list-style-type: none"> – hohe elektrische Anschlussleistung – begrenzte Durchflussmenge – höhere Energiekosten 	<ul style="list-style-type: none"> – gut geeignet für wenig genutzte Zapfstellen

