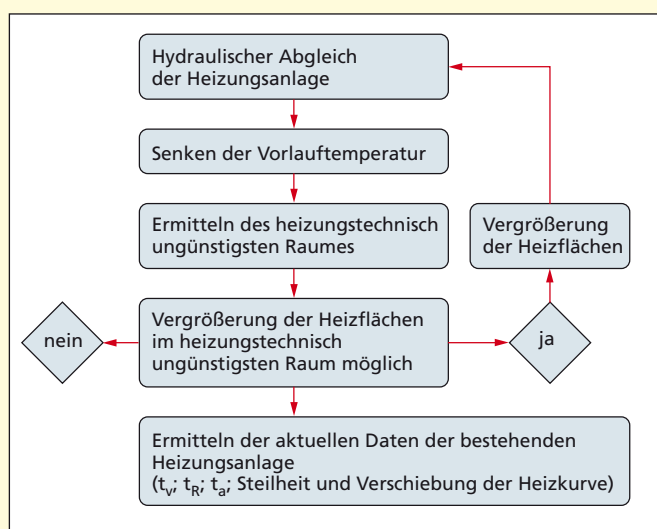


Auslegung von Wärmepumpenanlagen für Bestandsbauten

Immer öfter wird trotz der nicht unerheblichen Investitionskosten die Installation einer Wärmepumpe als Ersatz oder als Ergänzung der bestehenden Heizungsanlage in Erwägung gezogen. Es versteht sich von selbst, dass die neue Wärmepumpenanlage unter strengen wirtschaftlichen Kriterien ausgelegt werden muss. Nur eine Auslegung nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten lässt eine kurze Amortisationszeit erwarten.



1 – Verfahrensweise für die Optimierung der bestehenden Heizungsanlage

schnittlichen Wirkungsgrads von 75 % und ca. 1.900 Vollbenutzungsstunden der Anlage). Noch besser ist natürlich eine Nachrechnung des tatsächlichen Wärmebedarfs anhand der bestehenden Bausubstanz.

Ermittlung der benötigten Systemtemperaturen der bestehenden Heizung

Bedeutend aufwändiger, aber unumgänglich ist es, die bestehende Heizungsanlage hinsichtlich der benötigten Vorlauftemperaturen zu optimieren (Senken der Vorlauftemperatur). Dies ist häufig möglich, da seit der Errichtung der Heizungsanlage in der Regel die Gebäudehülle verändert wurde (z. B. Erneuerung der Fenster oder Aufbringen einer Außenwanddämmung), ohne die Heizungsanlage daran anzupassen – einmal eingestellte Heizkurven blieben unverändert und vorhandene Heizkörper wurden in der Regel nicht getauscht oder wenn, dann wurden diese gegen modernere Heizflächen mit größerer Wärmeleistung getauscht. Die Verfahrensweise für die Optimierung (Senkung der benötigten Vorlauftemperatur) der bestehenden Heizungsanlage sollte nach Bild 1 durchgeführt werden.

In diesem Zusammenhang ist ein Blick auf die Systemrücklauftemperatur ebenso ratsam wie die Beobachtung und Bewertung der im Heizsystem umgewälzten Wassermassen. Gerade auch bestehende Heizungsanlagen verfügen in diesem Bereich meist ebenso über einen gewissen Optimierungsbedarf bzw. -spielraum. Ist anhand der ersten Optimierung der bestehenden Heizungsanlage abzusehen, dass die Vorlauftemperatur soweit gesenkt werden kann, dass eine monovalente Betriebsweise in Betracht gezogen werden kann, dann ist auch eine Betrachtung der Systemrücklauftemperatur bzw. der Spreizung der Heizwassertemperaturen ratsam. Eine Senkung der Vorlauftemperatur kann (wenn auch in einem bescheidenen Rahmen) durch eine Verringerung der Sprei-

Die Auslegung von Wärmepumpenanlagen für Bestandsbauten unterscheidet sich von der für neue Gebäude insofern, als dass diese häufig auf ein bestehendes Heizsystem abgestimmt werden müssen. Die üblichen Freiheitsgrade für die Wahl der Heizflächengröße und der Vorlauftemperaturen scheiden nahezu aus, da die baulichen Randbedingungen für deren Anpassung häufig nicht gegeben sind. Von großem Vorteil ist allerdings die Möglichkeit (bei genügend zeitlichem Planungsvorlauf), die baulichen Gegebenheiten, die Gewohnheiten der Nutzer und die Schwachstellen der bestehenden Heizungsanlage genauestens ergründen und eventuell beseitigen zu können. Außerdem können die so gewonnen Erkenntnisse direkt in die Planung der neuen Heizungsanlage einfließen.

Auslegungsvoraussetzung

In den meisten Fällen des Einsatzes von Wärmepumpen in Bestandsbauten wurde nur auf das Typenschild des bestehenden Wärmeerzeugers und auf die eingestellte Heizkurve geachtet. Die neue Wärmepumpe wurde dann anhand dieser Systemparameter ausgelegt.

Eine Auslegung der neuen Wärmepumpe wird bei dieser Herangehensweise jedoch

in den allermeisten Fällen zu groß ausfallen. Unnötig hohe Investitionskosten sind die Folge. Darüber hinaus arbeitet die neue Anlage dann noch mit höheren Vorlauftemperaturen als unbedingt notwendig, was zu schlechteren Leistungszahlen und erhöhten Betriebskosten führt. Als zielführend hat sich die Vorbereitung für die Auslegung der neuen Wärmepumpe mit folgenden drei Voraussetzungen bewährt: Heizleistung des Gebäudes, Systemtemperaturen der bestehenden Heizung, Betriebsart der neuen Heizungsanlage.

Ermittlung der benötigten Heizleistung des Gebäudes

Ein wichtiges Kriterium für die Auslegung einer Wärmepumpenanlage für ein bestehendes Gebäude ist die benötigte Heizleistung. Für bestehende Gebäude liegt in der Regel keine aktuelle Wärmebedarfsberechnung vor. Dafür ist es häufig möglich, die benötigte Heizleistung über den Jahresbrennstoffverbrauch der zurückliegenden Jahre zu ermitteln. Als gängige Faustformel hat sich eine Division des jährlichen Brennstoffverbrauchs (Öl in Liter bzw. Gas in m³) durch den Zahlenwert 250 bewährt (der Wert von 250 ergibt sich dabei aus dem Heizwert des Brennstoffs, eines durch-

zung erfolgen. Ableiten lässt sich dieser Zusammenhang aus der Betriebscharakteristik eines Heizkörpers:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m} \cdot c \cdot (t_V - t_R) \\ &= k \cdot A \cdot \frac{t_V - t_R}{\ln\left(\frac{t_V - t_i}{t_R - t_i}\right)}\end{aligned}\quad \text{Gl. (1)}$$

Dem Planer/Installateur muss indes aber auch bewusst sein, dass eine Verringerung der Spreizung eine Erhöhung der umzuwälzenden Wassermassen erfordert. Eine Verringerung der Spreizung von (t_V/t_R) 50/40 auf 48/42 (was einer gleichen mittleren Übertemperatur der Heizfläche und somit der gleichen Heizleistung des Heizkörpers entspricht) muss mit einer Erhöhung des umgewälzten Massestroms um immerhin 56 % kompensiert werden. Eine derartige Anpassung wird nicht in jeder bestehenden Heizungsanlage realisiert werden können.

Der Blick auf die Systemrücklauftemperatur ist aber auch insofern von Bedeutung, weil diese spätestens für die Auslegung einer Anlage mit bivalenter Betriebsweise bei der Bestimmung des Bivalenz- bzw. Heizgrenzpunkts von Bedeutung ist.

Ermittlung der möglichen Betriebsart der neuen Heizungsanlage

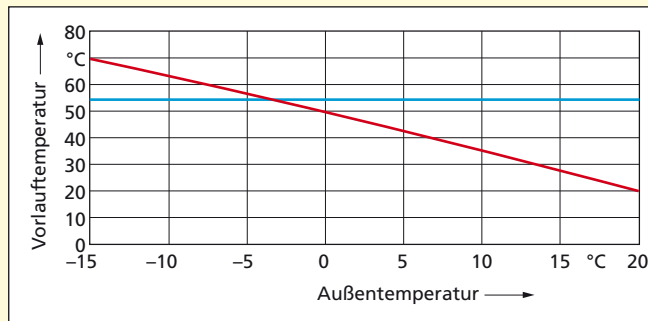
Die Festlegung der Betriebsart der zukünftigen Heizungsanlage ist zwingend an die von der Wärmepumpe maximal bereitstellbaren und der Wärmenutzungsanlage geforderten Heizleistung und Vorlauftemperatur gebunden. Prinzipiell lassen sich für die zukünftige Heizungsanlage mit Wärmepumpe drei unterschiedliche Konzepte für Bestandsbauten finden.

• Monovalente Betriebsweise

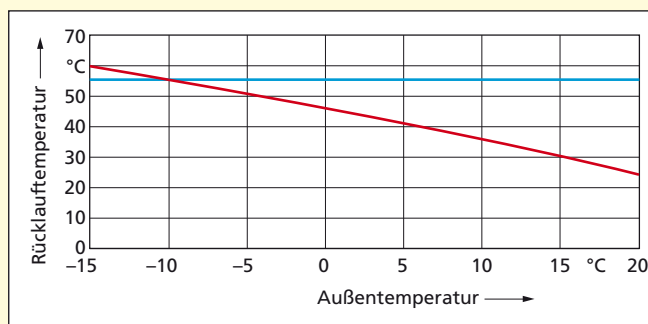
Die neue Wärmepumpenanlage deckt jederzeit den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes. Derartige Systeme eignen sich nur für Gebäude und Heizungsanlagen, bei denen auch an den kältesten Tagen im Jahr nur eine Vorlauftemperatur benötigt wird, die kleiner oder gleich der maximal durch die Wärmepumpe bereitstellbare Vorlauftemperatur ist.

• Bivalente parallele bzw. alternative Betriebsweise

Bei bivalenten Anlagensystemen arbeiten ein „konventioneller Wärmeerzeuger“ und eine Wärmepumpe gemeinsam (gleichzeitig = parallel bzw. abwechselnd = alternativ) an der Bereitstellung des Wärmebedarfs des Gebäudes. Bivalente Systeme kommen immer dort zum Einsatz, wo ent-



2 – Vorlauftemperaturdiagramm mit maximaler Vorlauftemperatur der Wärmepumpe



3 – Überhöhtes Rücklauftemperaturdiagramm mit maximaler Vorlauftemperatur der Wärmepumpe

weder nicht die volle Heizleistung oder die maximal benötigte Vorlauftemperatur durch die Wärmepumpe bereitgestellt werden kann.

Herangehen bei der Auslegung der Wärmepumpe

Die Auslegung der benötigten Wärmepumpe unterscheidet sich entsprechend der angestrebten Betriebsweise etwas voneinander.

Monovalent betriebene Wärmepumpenanlagen

Da für eine monovalent betriebene Wärmepumpenanlage die benötigten Vorlauftemperaturen generell unter oder gleich der maximal von der Wärmepumpe möglichen Vorlauftemperatur liegt, genügt es, die Wärmepumpe allein nach wirtschaftlichen Kriterien auszuwählen. Wirtschaftlich sinnvoll ist in diesem Fall immer die Auswahl einer Wärmepumpe, deren maximale Heizleistung möglichst nahe der benötigten Heizlast des Gebäudes zuzüglich eventueller Zuschläge für Sperrzeiten des EVU und/oder Warmwasserbereitung liegt.

Jede Überdimensionierung führt zu überhöhten Investitionskosten und jede Unterdimensionierung zu Komforteinbußen.

In der Regel fällt jedoch eine Unterdimensionierung weniger ins Gewicht, da sich die Nutzer zu Zeiten eines hohen Heizenergiebedarfs (niedrige Außentemperaturen) für gewöhnlich eigenständig einschränken, indem nicht ständig benötigte Räume weniger stark beheizt werden.

Bivalent betriebene Wärmepumpenanlagen

In der Altbausanierung werden heute für die Heizung und Warmwasserbereitung häufig bivalent betriebene Wärmepumpensysteme eingesetzt (monovalente Wärmepumpensysteme scheiden häufig wegen der benötigten hohen Vorlauftemperaturen aus). Wenn erst einmal feststeht, dass die Wärmepumpe den Heizenergiebedarf nie allein decken können, dann ist die Frage nach der Bivalenzstufe zu stellen. Bivalent alternativ arbeitende Anlagen sind immer dann sinnvoll, wenn die Spreizung der Systemtemperaturen (Vor- und Rücklauf) so gering ist, dass durch die Anhebung der Rücklauftemperatur kein nennenswerter Zugewinn an Heizarbeit durch die Wärmepumpe zu erwarten ist. Als grober Richtwert sei hier eine minimal erforderliche Spreizung der Wärmepumpe (ca. 5 bis 8 K) genannt. Bei kleineren Spreizungen zwischen Vor- und Rücklauftemperaturen ist nicht zu erwarten, dass die Wärmepumpe wirtschaftlich für die Anhebung der Rücklauftemperatur verwendet werden kann.

Nach der Auswahl eines Wärmepumpentyps (Nieder-, Mittel- oder Hochtemperatur-Wärmepumpe) muss zunächst geprüft werden, bis zu welcher Außentemperatur die Wärmepumpe die benötigte Heizleistung allein erbringen kann. Man spricht von der Bestimmung des Bivalenzpunkts. Üblicherweise wird zu diesem Zweck in das Leistungsdiagramm der vorgesehenen Wärmepumpe eine gedachte Heizkennlinie des Gebäudes eingetragen. Der Schnitt-

punkt der beiden Linien bestimmt dann den Bivalenzpunkt. Dieses Verfahren ist relativ ungenau, da durch diese Art der Auslegung die Potenziale der vorgesehenen Wärmepumpe unter Umständen nicht voll ausgenutzt werden. Insbesondere ist dies der Fall, wenn die Wärmepumpe am so bestimmten Bivalenzpunkt zwar an ihrer Leistungsgrenze angelangt ist, aber prinzipiell noch in der Lage, wäre wirtschaftlich Vorlauftemperaturen über der dann benötigten Heizungsvorlauftemperatur zu erzeugen (dies entspricht einer **Unterdimensionierung** der Wärmepumpe).

Noch schlechter ist natürlich die Auswahl einer Wärmepumpe, die am Bivalenzpunkt zwar theoretisch die vom Gebäude geforderte Heizleistung erbringen könnte, aber die dafür benötigte Vorlauftemperatur gar nicht mehr liefern kann (**Überdimensionierung** der Wärmepumpe).

Um diesem Dilemma zu entgehen, empfiehlt es sich, zunächst die Außentemperatur zu bestimmen, bis zu welcher die Wärmepumpe die benötigte Vorlauftemperatur allein aufbringen kann, um dann in einem zweiten Schritt die Wärmepumpe anhand der benötigten Heizleistung am rechnerisch idealen Bivalenzpunkt auszuwählen. Rechnerisch kann der „ideale“ Bivalenzpunkt iterativ aus der Heizkennlinie ermittelt werden:

$$t_{V,B} = \varphi^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{t_{V,N} - t_{R,N}}{\ln\left(\frac{t_{V,N} - t_{i,N}}{t_{R,N} - t_{i,N}}\right)} + 0,5 \cdot \varphi \cdot (t_{V,N} - t_{R,N}) + t_{i,N} \quad \text{Gl. (2)}$$

$$\text{mit: } \varphi = \frac{t_{i,N} - t_a}{t_{i,N} - t_{a,N}}$$

Die Außentemperatur muss dabei solange verändert werden, bis die Vorlauftemperatur ($t_{V,B}$) der maximal möglichen Vorlauftemperatur der Wärmepumpe entspricht. Die so ermittelte Außentemperatur entspricht der „idealen“ Bivalenztemperatur bzw. dem Bivalenzpunkt.

Grafisch kann die „ideale“ Bivalenztemperatur mit einem Vorlauftemperatur-Diagramm des Gebäudes ermittelt werden, in das die maximal mögliche Vorlauftemperatur der Wärmepumpe als Horizontale eingetragen wird. Am Schnittpunkt dieser beiden Graphen kann auf der Abszisse die ideale Bivalenztemperatur abgelesen werden (Bild 2). Die so ermittelte Außentemperatur entspricht dann der rechnerisch „idealen“ Bivalenztemperatur bzw. dem Bivalenzpunkt, zu der nun noch die Heizleistung ermittelt werden muss:

$$\dot{Q}_{N,B} = \varphi \cdot \dot{Q}_N \quad \text{Gl. (3)}$$

$$\text{mit: } \varphi = \frac{t_{i,N} - t_{a,B}}{t_{i,N} - t_{a,N}}$$

Mit den so ermittelten Leistungsdaten (ideale Bivalenztemperatur und Heizleistung) kann nun die Auswahl einer passenden Wärmepumpe beginnen.

In der Praxis wird es schwer möglich sein, eine exakt auf die ermittelten Leistungsdaten passende Wärmepumpe zu finden. Es empfiehlt sich dann häufig, eine Wärmepumpe auszuwählen, die leicht unter den berechneten Leistungsdaten liegt, was dazu beiträgt, die Investitionskosten niedrig zu halten und überdies nur selten zu Komforteinbußen führt.

Die reale Bivalenztemperatur, die für die Einstellung an der Regelung der Gesamtanlage erforderlich ist, ergibt sich dann aus den tatsächlichen Leistungsdaten der ausgewählten Wärmepumpe. Die Bestimmung des realen Bivalenzpunkts kann praxisnah mit den bekannten Werkzeugen über das Leistungsdiagramm der Wärmepumpe und der Heizkurve des Gebäudes erfolgen.

Ist die Auswahl einer Wärmepumpe getroffen und sind deren Parameter für den realen Bivalenzpunkt bestimmt, fehlt nur noch die Festlegung der Einsatzgrenze der Wärmepumpe (Außentemperatur, ab welcher die Wärmepumpe aus energetischen oder wirtschaftlichen Gründen abgeschaltet werden sollte und die Erzeugung der Heizwärme ausschließlich dem zweiten Wärmeerzeuger überlassen wird). Man spricht von der Bestimmung der Heizgrenztemperatur.

Die Bestimmung der Heizgrenztemperatur anhand energetischer Kriterien erfolgt analog der Bestimmung der idealen Bivalenztemperatur.

Als entscheidende Systemtemperatur wird nun die Systemrücklauftemperatur verwendet. Die Rücklauftemperatur muss lediglich um die minimale Spreizung der Wärmepumpe reduziert werden, damit die Anhebung der Rücklauftemperatur durch die Wärmepumpe energetisch sinnvoll bleibt:

$$t_{R,G} = \varphi^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{t_{V,N} - t_{R,N}}{\ln\left(\frac{t_{V,N} - t_{i,N}}{t_{R,N} - t_{i,N}}\right)} - 0,5 \cdot \varphi \cdot (t_{V,N} - t_{R,N}) + t_{i,N} + \Delta t_{WP} \quad \text{Gl. (4)}$$

$$\text{mit: } \varphi = \frac{t_{i,N} - t_a}{t_{i,N} - t_{a,N}}$$

Auch hier ist wieder nur eine iterative Berechnung möglich, bei der die Außentemperatur so lange verändert werden muss, bis die Rücklauftemperatur ($t_{R,G}$) der maximal möglichen Vorlauftemperatur der Wärmepumpe entspricht. Die so berechnete Außentemperatur entspricht der energetisch sinnvollen Heizgrenztemperatur. Grafisch kann dieser Temperaturwert auch mit einem Rücklauftemperatur-Diagramm des Gebäudes ermittelt werden (Bild 3). Die in diesem Diagramm eingezeichnete Soll-Rücklauftemperatur ist lediglich um die minimale Spreizung der Wärmepumpe parallel nach oben zu verschieben. Am Schnittpunkt der maximal möglichen Vorlauftemperatur der Wärmepumpe mit der überhöhten Rücklauftemperatur kann auf der Abszisse die Heizgrenztemperatur abgelesen werden.

Eine Entscheidung anhand wirtschaftlicher Kriterien geschieht über eine Betrachtung der Primärenergiekosten, die in einer Abhängigkeit zur Außentemperatur vorliegen müssen. Dies ist immer dann der Fall, wenn als Wärmepumpe eine Luft/Wasser-Wärmepumpe eingesetzt werden soll. Unter diesen Umständen steht die Leistungszahl der Wärmepumpe in einem direkten Zusammenhang zu der Außentemperatur. Somit kann unter Verwendung der Leistungszahl der Wärmepumpe und dem Wirkungsgrad des bestehenden Wärmeerzeugers direkt auf die spezifischen Primärenergiekosten geschlossen werden. Aus $k_{P,WP} \leq k_{P,WE}$ folgt mit

$$k_{P,WP} = \frac{\rho_{elt}}{\epsilon_{WP}} \quad \text{und} \quad k_{P,WE} = \frac{\rho_{WE}}{\eta_{WE}} : \quad \text{Gl. (5)}$$

$$\epsilon_{WP} \geq \frac{\rho_{elt}}{\rho_{WE}} \cdot \eta_{WE}$$

Unter Verwendung von Gl. (5) lässt sich die Leistungszahl der Wärmepumpe ermitteln, bis zu der die Wärmepumpe bei der Wärmeerzeugung einen preislichen Vorteil aufweist. Die dazugehörigen Leistungswerte (Außentemperatur und Heizleistung) können dann den Leistungsdiagrammen der gewählten Wärmepumpe entnommen werden. Die an der Steuerung der Gesamtanlage einzustellende Heizgrenztemperatur ist die höhere der beiden Bestimmungsmethoden (energetisch; wirtschaftlich).

Der Autor
Dipl.-Ing Frank Bialozyt,
Planungsingenieur bei
Lattermann Haustechnik GmbH,
Dresden

