

# Bivalente Wärmepumpen-Systeme

Dieses Infoblatt wendet sich an Planer, Architekten und Fachhandwerker von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Wohnbereich und spricht neben der Neuplanung speziell den anlagentechnischen Modernisierungsfall von bestehenden Heizungsanlagen an.

## 1. Einleitung

Im Rahmen der Modernisierung von Heizungssystemen stehen die Betreiber oft vor der schwierigen Auswahl des Energieträgers für den Wärmeerzeuger. Da ein Wärmeerzeuger eine Nutzungsdauer größer 20 Jahre erreicht, wird aufgrund der Preisentwicklung verschiedener Energieträger in den letzten Jahren nicht selten die überfällige Entscheidung zur Modernisierung aufgeschoben. Einen Ausweg aus dieser Situation bieten bivalente Wärmepumpen-Systeme.

Darunter versteht man Heizungsanlagen mit einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe in Kombination mit mindestens einem fossilen Wärmeerzeuger (z. B. Öl-, Gas- oder Festbrennstoffkessel) und einer übergeordneten Regelung.

Bivalente Wärmepumpen-Systeme können aus unterschiedlichen Gesichtspunkten geplant und betrieben werden:

### **Vorlauftemperatur (Heizen und Warmwasserbereitung):**

Die Wärmepumpe kann die für die Heizung oder die Warmwasserbereitung geforderte Vorlauftemperatur nicht ganzjährig zur Verfügung stellen.

### **Wärmequellentemperatur:**

Die minimal zulässige Wärmequellentemperatur wird im Betrieb unterschritten z. B. in kälteren Regionen bei einer Luft-/Wasser-Wärmepumpe.

### **Heizleistung (Heizen und Warmwasserbereitung):**

Die Wärmepumpe kann die für die Heizung oder die Warmwasserbereitung geforderte Heizleistung nicht ganzjährig zur Verfügung stellen.

### **Kostenoptimierung:**

Abhängig von den aktuellen Energiepreisen wird der jeweils günstigere Wärmeerzeuger betrieben.

### **Minimierung der CO<sub>2</sub>-Emission:**

Abhängig von der zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Emission im aktuellen Betriebspunkt wird der günstigere Wärmeerzeuger ausgewählt.

### **Schrittweise Sanierung:**

Für die energetische Modernisierung des Gebäudes wird zunächst die vorhandene Heizungsanlage durch eine Wärmepumpe ergänzt. Durch die Sanierung der Gebäudehülle sinkt die Heizlast und der vorhandene Kessel kann zu einem späteren Zeitpunkt außer Betrieb genommen werden.

### **Redundanz:**

Durch die Verwendung unterschiedlicher Energieträger bieten bivalente Systeme eine höhere Versorgungssicherheit.

### **Netzkapazität:**

Lassen die technischen Anschlussbedingungen einen reinen Wärmepumpenbetrieb nicht zu, kann ein bivalenter Betrieb die maximale elektrische Leistungsaufnahme reduzieren.

**BDH**

Bundesindustrieverband Deutschland  
Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.

Bundesindustrieverband Deutschland  
Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.  
Frankfurter Straße 720-726  
51145 Köln  
Tel.: (0 22 03) 9 35 93-0  
Fax: (0 22 03) 9 35 93-22  
E-Mail: [Info@bdh-koeln.de](mailto:Info@bdh-koeln.de)  
Internet: [www.bdh-koeln.de](http://www.bdh-koeln.de)

## 2. Betriebsarten der Heizwärmeerzeugung

Die Bereitstellung von Heizwärme kann durch die Wärmepumpe oder durch zusätzliche Wärmeerzeuger erfolgen. Führungsgrößen für die Schaltung der Wärmeerzeuger sind beispielsweise:

- Wärmequellentemperatur
- Wärmesenktemperatur
- Sperrzeiten
- Energietarife
- Primärenergiebedarf
- Nutzereingriffe (z. B. bei Kaminöfen)

Die Schaltung der einzelnen Wärmeerzeuger erfolgt an zwei charakteristischen Punkten, dem Abschaltpunkt und dem Bivalenzpunkt.

### **Abschaltpunkt:**

Unterhalb des Abschaltpunktes findet kein Wärmepumpenbetrieb statt.

### **Bivalenzpunkt:**

Oberhalb des Bivalenzpunktes wird ausschließlich die Wärmepumpe betrieben.

Daraus resultieren verschiedene typische Betriebsweisen:

### **Monovalenter Betrieb (Bild 1)**

Die Wärmebereitstellung erfolgt ausschließlich über die Wärmepumpe. Ein weiterer Wärmeerzeuger ist nicht erforderlich.

### **Bivalent paralleler Betrieb (Bild 2)**

Oberhalb des Bivalenzpunktes erfolgt die Wärmebereitstellung ausschließlich über die Wärmepumpe. Unterhalb des Bivalenzpunktes werden weitere Wärmeerzeuger gleichzeitig mit der Wärmepumpe betrieben.

### **Bivalent alternativer Betrieb (Bild 3)**

Oberhalb des Abschaltpunktes erfolgt die Wärmebereitstellung ausschließlich über die Wärmepumpe. Unterhalb des Abschaltpunktes werden andere Wärmeerzeuger betrieben, die die gesamte Heizwärme bereitstellen.

### **Bivalent teilparalleler Betrieb (Bild 4)**

Oberhalb des Bivalenzpunktes erfolgt die Wärmebereitstellung ausschließlich über die Wärmepumpe. Unterhalb des Abschaltpunktes werden andere Wärmeerzeuger betrieben, die die gesamte Heizwärme bereitstellen. Zwischen dem Bivalenzpunkt und dem Abschaltpunkt sind die Wärmepumpe und die zusätzlichen Wärmeerzeuger gleichzeitig in Betrieb.

### **Monoenergetischer Betrieb:**

In diesem Fall wird als weiterer Wärmeerzeuger eine elektrische Zusatzheizung verwendet. Alle oben beschriebenen Betriebsweisen sind möglich. Ein Beispiel zeigt Bild 5.

### **Darstellung der Betriebsarten für die Heizwärmeerzeugung:**

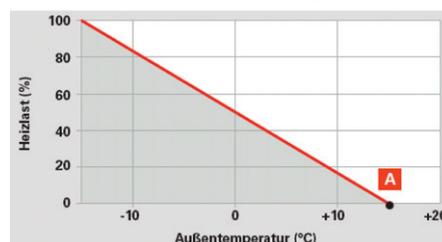


Bild 1: Monovalenter Betrieb  
A – Heizgrenztemperatur

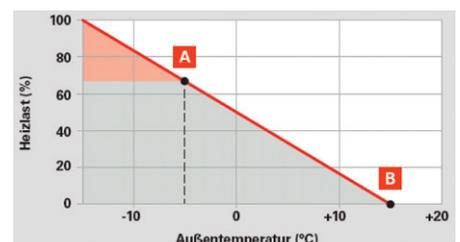


Bild 2: Bivalent paralleler Betrieb  
A – Bivalenzpunkt, B – Heizgrenztemperatur



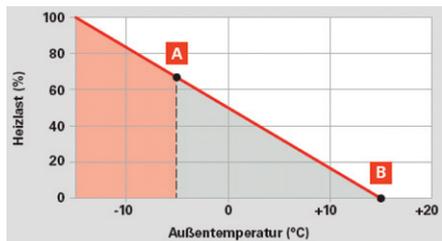


Bild 3: Bivalent alternativer Betrieb  
A – Abschaltwinkel, B – Heizgrenztemperatur

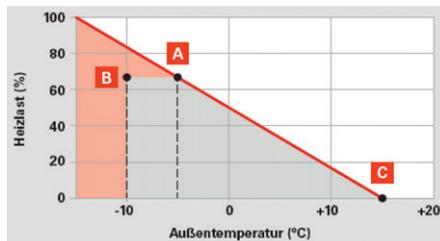


Bild 4: Bivalent teilparalleler Betrieb  
A – Bivalenzpunkt, B – Abschaltwinkel,  
C – Heizgrenztemperatur



### 3. Regelungskonzept

Für die Einbindung eines zweiten Wärmeerzeugers in eine Wärmepumpenanlage ist eine Abstimmung der beiden Steuerungssysteme erforderlich. Die Freigabe des zweiten Wärmeerzeugers muss über die Regelung der Wärmepumpe erfolgen.

#### **Konstant geregelter Heizkessel**

Bei dieser Kesselart wird das Kesselwasser nach Freigabe durch die Wärmepumpenregelung immer auf eine fest eingestellte Temperatur aufgeheizt. Diese Temperatur muss so hoch eingestellt werden, dass auch die Warmwasserbereitung bei Bedarf über den Kessel erfolgen kann (z. B. 70 °C). Der zwingend erforderliche Mischer wird vom Regler der Wärmepumpe angesteuert.

#### **Gleitend geregelter Heizkessel**

Bei dieser Kesselart wird das Kesselwasser gleitend entsprechend einer geeigneten Führungsgröße erwärmt (z. B. Außentemperatur). Das Umschaltventil hat die Aufgabe, den Heizwasserstrom, je nach Betriebsmodus, am Kesselkreis vorbei oder durch den Kessel durchzuführen. Es übernimmt keine weitere Regelfunktion. Im reinen Wärmepumpenbetrieb wird das Heizungswasser am Kessel vorbeigeführt, um Verluste durch Wärmeabstrahlung des Kessels zu vermeiden.

#### **Feste Führungsgrößen**

Die Regelung erfolgt über die Einstellung von festen Bivalenz- und/oder Abschaltpunkten. Diese sind:

- Wärmequellentemperatur
- Wärmesenktemperatur
- Sperrzeiten
- Außentemperatur

#### **Variable Führungsgrößen**

Die Regelung ermittelt den Bivalenz- und/oder Abschaltwinkel variabel in Abhängigkeit vom Betriebszustand der Wärmepumpe und folgenden möglichen Kriterien:

- Energietarife
- Eigenstromnutzung
- Primärenergiebedarf
- CO<sub>2</sub>-Emission
- Nutzereingriffe (z. B. Kaminöfen)
- Volatiler Wärmeeintrag (z. B. Solarthermie)

Zahlreiche Wärmepumpen bieten schon heute technische Lösungen, um lastvariable Stromtarife als Führungsgröße zu nutzen.

## 4. Hydraulische und regelungstechnische Systemlösungen

### Grundlagen

Die Planung bivalenter Wärmepumpenanlagen erfordert zwingend die Auswahl einer geeigneten Anlagenhydraulik. Nur unter dieser Voraussetzung kann der jeweilige Wärmeerzeuger den Anteil am Heiz- und Warmwasserbedarf auf dem jeweils gewünschten Temperaturniveau bereitstellen.

Die Systemlösung hat demnach einen wesentlichen Einfluss auf die Erreichung der geplanten Deckungsanteile von Wärmepumpe und Feuerstätte.

Eine ungünstige hydraulische oder regelungstechnische Verknüpfung zweier Wärmeerzeuger kann zu folgenden Fehlfunktionen führen:

- die Feuerstätte (Gas, Öl, Festbrennstoff) dominiert
- die Einsatzgrenzen der Wärmepumpe werden überschritten
- die Wärmeerzeuger takten unnötig und weisen ein schlechtes Teillastverhalten auf
- die Bereitschaftsverluste der Feuerstätte steigen

Die Wahl der hydraulischen und regelungstechnischen Systemlösung kann von der geplanten Betriebsweise der Wärmeerzeuger abhängig gemacht werden. Idealerweise eröffnet die Systemlösung volle Flexibilität für mehrere Betriebsweisen.

Nachfolgend sind hydraulische Lösungen vorgestellt, die für bivalente Anlagensysteme genutzt werden sollten.

Der Wärmepumpenkreis und die Verbraucherkreise müssen bei Vollöffnung aller Stellglieder mit identischen Volumenströmen betrieben werden. Fehleinstellungen führen zu den folgenden Störungen:

- Bei größerem Volumenstrom im Wärmepumpenkreis wird der Speicher permanent geladen, die Leistung der Wärme der Wärmepumpe steht der Anlage daher nicht vollständig zur Verfügung.
- Bei größeren Volumenströmen im Verbraucherkreis findet eine ständige Beimischung von Rücklaufwasser in den Vorlauf statt. Damit liegt die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe immer über der Heizkurve der Anlage.

### Monoenergetische Betriebsweise

Wird sowohl die Wärmepumpe als auch der zweite Wärmeerzeuger mit elektrischer Energie betrieben, liegt ein monoenergetischer Betrieb vor. Der bivalente Wärmeerzeuger, in diesem Fall ein elektrisches Heizelement, kann sowohl in der Wärmepumpe selbst, als auch im verbauten Puffer- oder Warmwasserspeicher angeordnet sein (siehe Bild 5). Die Regelung erfolgt durch den Regler der Wärmepumpe.

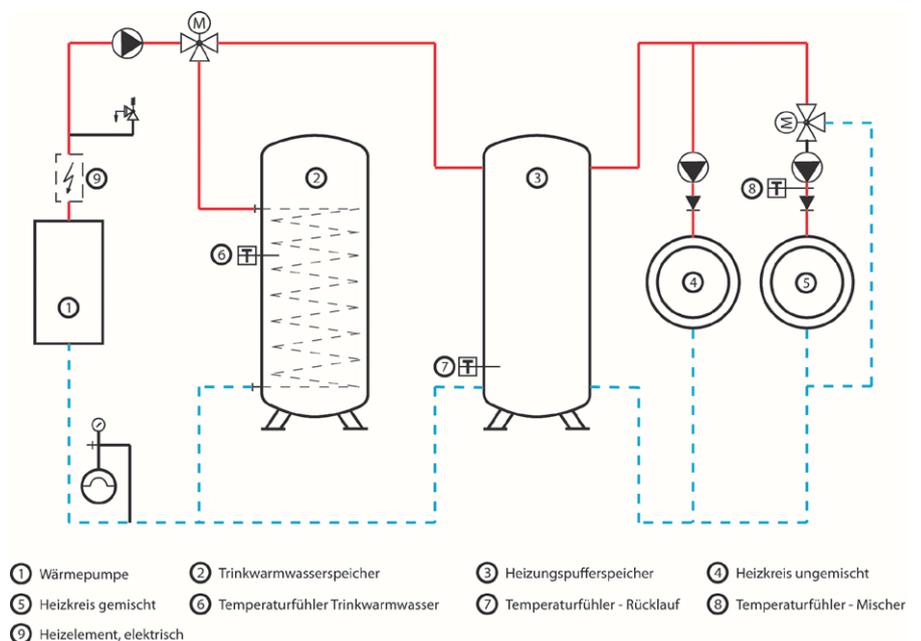


Bild 5: Monoenergetische Betriebsweise mit Trinkwarmwasserspeicher

Als Führungsgröße für das Wärmeerzeugungssystem dient häufig ein Rücklauf-Temperaturfühler. Die Rücklauftemperatur liefert aussagekräftige Informationen über den tatsächlichen Wärmebedarf des Gebäudes. In Abhängigkeit von der Außentemperatur wird anhand der Vorgaben für die Heizkurve ein Rücklauf-Sollwert als Einschaltbedingung generiert.

Für die Zuschaltung des zweiten Wärmeerzeugers sind folgenden Parameter maßgebend:

- Regelabweichung zur Heizkurve
- Lage des Bivalenzpunktes
- Betriebszustand der Wärmepumpe
- Das elektrische Heizelement sollte erst dann in Betrieb genommen werden, wenn:
- Alle Wärmepumpenstufen in Betrieb sind.
- Die eingestellte Bivalenztemperatur unterschritten ist.
- Die maximal mit der Wärmepumpe erreichbare Warmwassertemperatur überschritten werden soll

### **Bivalente Betriebsweise mit Feuerstätten**

Im Sanierungsbereich ist eine hydraulische Entkopplung zwischen Wärmeverteilung und Wärmepumpe vorzusehen, um den geforderten Mindestheizwasserdurchsatz in allen Betriebssituationen sicherzustellen.

Die hydraulische Entkopplung kann mittels Parallel-Pufferspeicher (Bild 6) oder Reihen-Pufferspeicher und Bypassleitung mit Rückschlagklappen (Bild 7) erfolgen.

Die Wärmepumpe wird als Grundlastwärmeerzeuger betrieben, ihre Effizienz ist maßgeblich von der Vorlauftemperatur abhängig. Daher ist es sinnvoll die Feuerstätte als Spitzenlastwärmeerzeuger in den Vorlauf des Heizverteilsystems einzubinden.

Der gemeinsame Rücklauf des Heizverteilsystems wird zunächst der Wärmepumpe zugeführt. Über eine Beimischschaltung im Vorlauf des Heizverteilsystems kann das Temperaturniveau je nach Anforderung durch den Spitzenlastwärmeerzeuger erhöht werden. Abhängig vom Typ der Feuerstätte ist eine weitere hydraulische Entkopplung z. B. in Form einer hydraulischen Weiche vorzusehen.

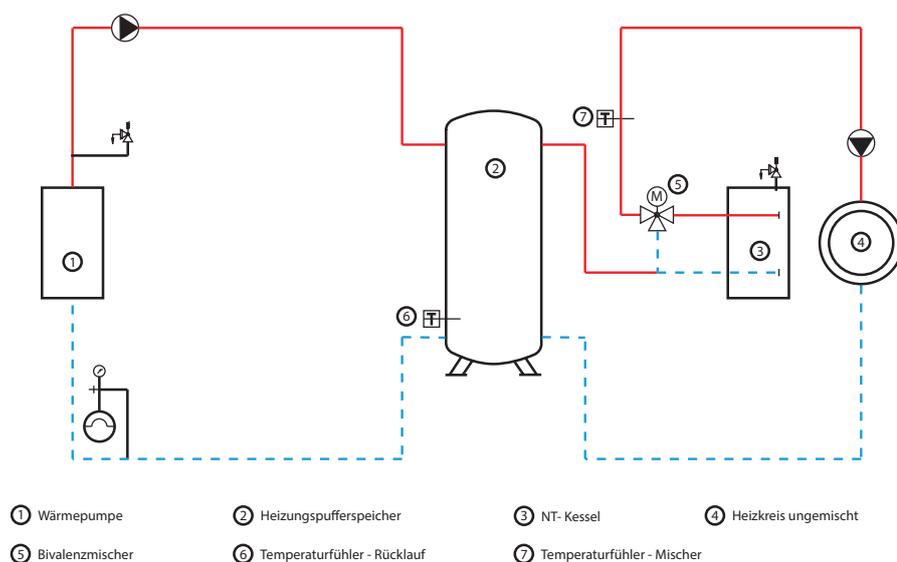
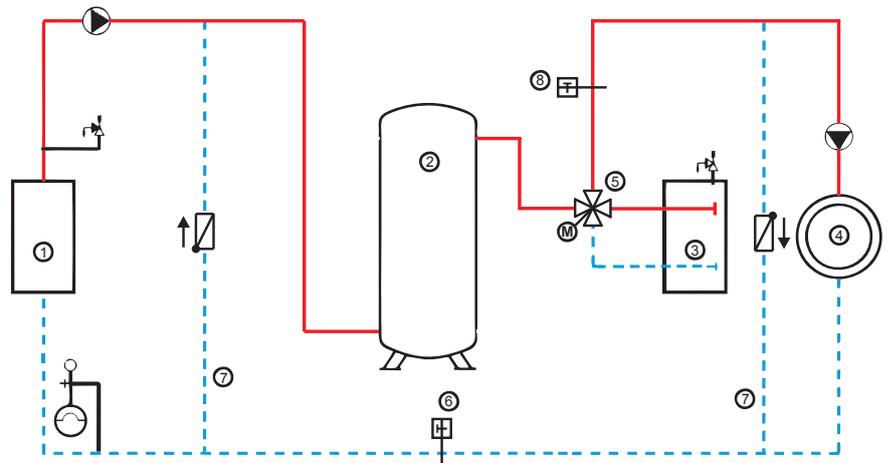


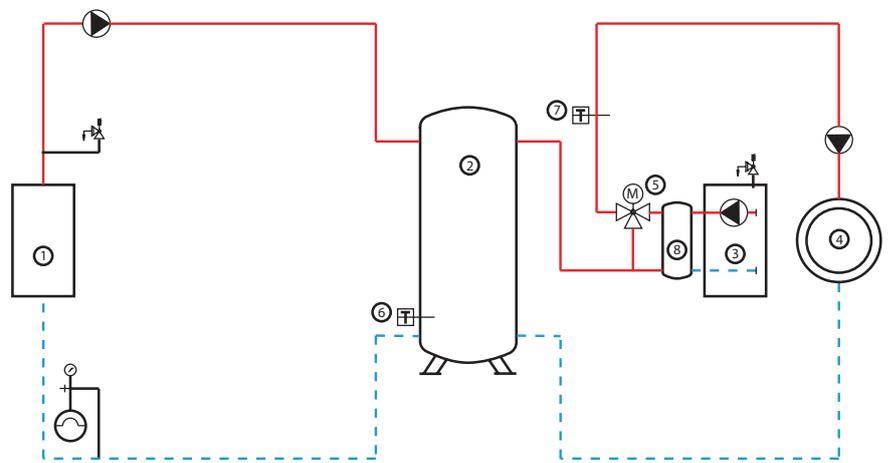
Bild 6: Bivalente Betriebsweise mit NT-Kessel und Parallelpufferspeicher



- ① Wärmepumpe
- ② Heizungspufferspeicher
- ③ NT - Kessel
- ④ Heizkreis ungemischt
- ⑤ Bivalenzmischer
- ⑥ Temperaturfühler - Rücklauf
- ⑦ Bypassleitung mit Rückschlagklappen
- ⑧ Temperaturfühler - Mischer

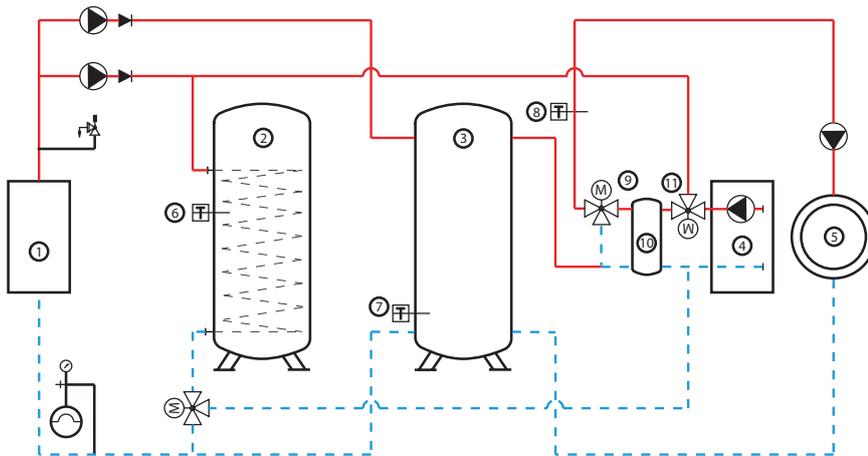
Bild 7: Bivalente Betriebsweise mit NT-Kessel, Reihen-Pufferspeicher und Bypassleitungen mit Rückschlagklappen

Die in Bild 7 gezeigte Hydraulik kann bei Bedarf um weitere Heizkreise und eine Trinkwarmwasserbereitung ergänzt werden. Um Fehlzirkulationen zu vermeiden müssen die Rückschlagklappen dicht schließen. Der Rohrleitungsquerschnitt der Bypassleitungen ist auf den maximalen Volumenstrom auszulegen. Durch die Regelung ist sicherzustellen, dass der Kessel bei einer Wärmeanforderung zeitlich verzögert zuschaltet.



- ① Wärmepumpe
- ② Heizungspufferspeicher
- ③ Brennvort - Kessel
- ④ Heizkreis ungemischt
- ⑤ Bivalenzmischer
- ⑥ Temperaturfühler - Rücklauf
- ⑦ Temperaturfühler - Mischer
- ⑧ Hydraulische - Weiche

Bild 8: Bivalente Betriebsweise mit Brennvortgerät und hydraulischer Weiche



- |                        |                                      |                               |                             |
|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| ① Wärmepumpe           | ② Trinkwarmwasserspeicher            | ③ Heizungspufferspeicher      | ④ Brennwert - Kessel        |
| ⑤ Heizkreis ungemischt | ⑥ Temperaturfühler - Trinkwarmwasser | ⑦ Temperaturfühler - Rücklauf | ⑧ Temperaturfühler - Mische |
| ⑨ Bivalenzmischer      | ⑩ Hydraulische - Weiche              | ⑪ Umschaltventil              |                             |

Bild 9: Bivalente Betriebsweise mit Brennwertgerät, hydraulischer Weiche und Trinkwarmwasserspeicher

Das Regelgerät der Wärmepumpenanlage muss in der Lage sein, einen zweiten Wärmeerzeuger, z. B. in Form eines Gas-Brennwertkessels, im Heiz- und Warmwasserbetrieb vollständig zu regeln.

Für das Zuschalten des Spitzenlast-Wärmeerzeugers müssen folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein:

- Die Außentemperatur ist kleiner als die eingestellte Bivalenz- oder Abschalttemperatur und
- die Wärmepumpe wird mit maximaler möglicher Leistung betrieben (oder ist gesperrt) und
- die Rücklauf-Solltemperatur wird dauerhaft unterschritten.

Die Wärmepumpenregelung übernimmt zusätzlich die folgenden Aufgaben:

- Freigabe des zweiten Wärmeerzeugers für Heizen und Warmwasserbereitung
- Mischerregelung für den Wärmeerzeugerkreis
- Schutz der Wärmepumpe vor unzulässig hohen Rücklauftemperaturen

### **Festbrennstoffkessel**

Bei bivalenten Systemen mit Festbrennstoffkesseln ist der Pufferspeicher der zentrale Verknüpfungspunkt der Anlage. Der Festbrennstoffkessel speist seine erzeugte Wärme in den Pufferspeicher ein. Durch den Wärmepumpenregler wird entschieden, ob durch den Festbrennstoffkessel genügend Wärme zur Beheizung des Gebäudes zur Verfügung gestellt werden kann und die lastabhängige Zuschaltung der Wärmepumpe erfolgt. Die Temperaturüberwachung im Rücklauf zwischen Pufferspeicher und Wärmepumpe verhindert durch ein Abschalten der Umwälzpumpe im Erzeugerkreis eine unzulässig hohe Eintrittstemperatur in die Wärmepumpe.

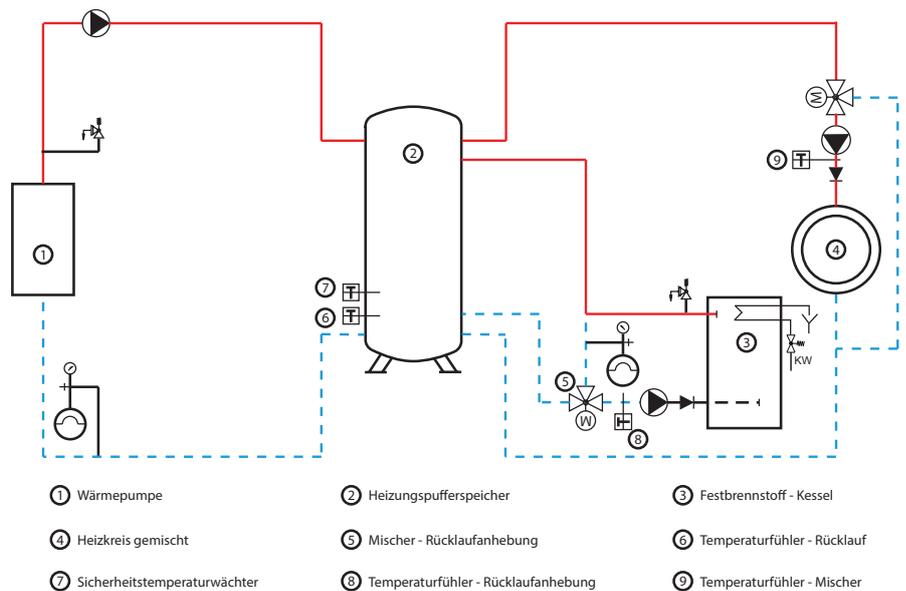


Bild 10: Bivalente Betriebsweise mit Festbrennstoffkessel

## 5. Planung

Bivalente Anlagen eignen sich sowohl für den Einsatz im Neubau als auch im Baubestand.

Die Wahl einer bivalenten Anlage im Bestand erfordert eine Bewertung des vorhandenen Heizungssystems. Je nach Zustand des Wärmeerzeugers und in Abhängigkeit von den baulichen Gegebenheiten kommt entweder die Nachrüstung einer Wärmepumpe infrage oder es empfiehlt sich der Austausch des Wärmeerzeugers.

Zur Dimensionierung der Wärmeerzeuger als Ersatz für bestehende Geräte kann die Heizleistung der alten Anlage nicht herangezogen werden. In der Vergangenheit wurden Feuerstätten oft überdimensioniert. Zudem kann durch evtl. realisierte Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle oder Änderung von Nutzungsgewohnheiten der Betreiber der Wärmebedarf gesunken sein.

Durch den Austausch einzelner Heizflächen kann die Vorlauftemperatur abgesenkt und die Effizienz der Anlage erheblich erhöht werden.

Entscheidungskriterien zur Wahl einer bivalenten Anlage sind unter anderem:

- Investitionsrahmen
- Verfügbarkeit der Energieträger und der Wärmequelle
- Alter und Zustand des bestehenden Wärmeerzeugers
- Dimensionierung und Zustand des Wärmeverteilsystems
- Zustand des Brennstofflagers
- Vorlauftemperatur des Wärmeübergabesystems am Auslegungspunkt
- Trinkwarmwasserbedarf und -temperatur
- Platzbedarf im Aufstellraum
- Geplante Sanierungen der Gebäudehülle

Die Prüfung nach diesen Entscheidungskriterien führt zu folgenden Lösungsansätzen:

- Nachrüstung des bestehenden Wärmeerzeugers mit einer Wärmepumpe
- Komplettaustausch des fossilen Wärmeerzeugers gegen eine bivalente Anlage oder ein Hybridgerät
- Austausch des fossilen Wärmeerzeugers gegen eine monovalent oder monoenergetisch betriebene Wärmepumpe

### 5.1. Nachrüstlösungen

Bei Nachrüstlösungen werden bereits vorhandene fossile Wärmeerzeuger durch eine Wärmepumpe ergänzt, meist ohne das Wärmeübergabesystem zu verändern. Das vorrangige Ziel für diese Maßnahme ist die Kostensenkung für Raumheizung und Trinkwarmwassererwärmung, ohne die komplette Heizungsanlage umbauen zu müssen.

Die Dimensionierung der Wärmepumpe erfolgt anhand des Deckungsanteils an der Gesamtjahresheizarbeit. Anzustreben ist ein Deckungsanteil von > 80 %. Leistungsanteile und Bivalenzpunkte ergeben sich aus der Tabelle 1.

Ist eine energetische Sanierung an der Gebäudehülle zur Absenkung der Heizlast geplant, so muss dies bei der Dimensionierung der Wärmepumpe berücksichtigt werden. Auslegungsgrundlage ist in diesem Fall die Heizlast des planmäßig sanierten Gebäudes. Oft ist damit eine monoenergetische oder monovalente Versorgung des Gebäudes durch die Wärmepumpe möglich.

### **5.2. Komplettlösungen**

Diese bestehen aus einer Wärmepumpe und einem neuen fossilen Wärmeerzeuger. In der Modernisierung wird der vorhandene Wärmeerzeuger durch diese Kombination ersetzt.

Am Markt sind Hybridlösungen verfügbar, die beide Wärmeerzeuger, den Regler und die hydraulischen Komponenten enthalten.

Grundlage für die Auslegung der Wärmeerzeuger sind entweder der bisherige durchschnittliche, jährliche Bedarf an fossilen Energieträgern oder eine Heizlastberechnung des Gebäudes.

Die Auslegung der einzelnen Wärmeerzeuger richtet sich nach der geplanten Betriebsweise des bivalenten Systems. Bei bivalent alternativer Betriebsweise muss einer der beiden Wärmeerzeuger die komplette Heizlast des Gebäudes am Auslegungspunkt decken können. Bei bivalent paralleler Betriebsweise kann die komplette Heizlast auf beide Wärmeerzeuger aufgeteilt werden. Insbesondere in der Planung von bivalent parallelen Anlagen sind die Einsatzgrenzen der gewählten Wärmepumpe zu berücksichtigen.

### **5.3 Monoenergetische oder monovalente Betriebsweise der Wärmepumpen**

Die Überprüfung der oben genannten Kriterien kann ergeben, dass eine monoenergetische oder monovalente Betriebsweise der Wärmepumpenanlage möglich und sinnvoll ist. Gegebenenfalls sind hierfür geringe Veränderungen an der Wärmeübergabe oder Sanierungsmaßnahmen der Gebäudehülle erforderlich.

### **5.4 Warmwasserbereitung in bivalenten Anlagen:**

Gerade in bivalenten Anlagen muss die Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe sorgfältig geplant werden. Hier können nur einige allgemeine Hinweise gegeben werden, die der Planer in seinen konzeptionellen Überlegungen zu berücksichtigen hat:

- Zur thermischen Desinfektion sollte der fossile Wärmeerzeuger eingesetzt werden.
- Während der Betriebszeit des fossilen Wärmeerzeugers für die Heizung ist auch eine Warmwasserbereitung auf diesem Weg sinnvoll
- Außerhalb der Heizperiode bietet sich meist die Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe an, um Bereitschaftsverluste des fossilen Wärmeerzeugers zu vermeiden. Dies gilt insbesondere für Luft-/Wasser-Wärmepumpen mit höheren Leistungszahlen bei steigender Außentemperatur.

Der Anteil der Warmwasserbereitung ist anlagenspezifisch zu ermitteln und der Berechnung zugrunde zu legen. Sinnvoll ist eine überschlägige Aufteilung der Anforderung für Warmwasser über den Tagesbedarf unter Berücksichtigung der thermischen Desinfektion. Auf diese Weise können die Wärmebereitstellungen durch die Wärmepumpe ( $Q_{WP,W}$ ) und durch den fossilen Wärmeerzeuger ( $Q_{WP,K}$ ) bestimmt werden. Die Ermittlung der Arbeitszahl für die Warmwasserbereitung ( $\beta_w$ ) mit der Wärmepumpe erfolgt unverändert nach VDI 4650 Blatt 1.

### **5.5. Heizflächenauslegung, hydraulischer Abgleich, Reglereinstellung, Nachoptimierung**

Ziel der Heizflächenauslegung ist die Versorgung aller Räume mit einer einheitlichen, möglichst niedrigen Vorlauftemperatur. Gegebenenfalls sind die Heizflächen anzupassen (z. B. größere oder zusätzliche Heizkörper). Keinesfalls dürfen einzelne Volumenströme erhöht werden. Hierdurch steigt die Rücklauftemperatur des Gesamtsystems und damit auch die Betriebs-Vorlauftemperatur.

Die ausgelegten Volumenströme müssen bei der Inbetriebnahme eingestellt werden (hydraulischer Abgleich). Anderenfalls ist die Versorgung einzelner Räume mit einem unzureichenden Volumenstrom nur durch eine Anhebung der Vorlauftemperatur möglich. Heizkreise mit erhöhtem Volumenstrom hingegen führen zu einer Anhebung der

Rücklauf­temperatur oder werden vom Raumregler abgedrosselt. Dies bewirkt einen unerwünschten Anstieg der Spreizung.

Die Heizkurve wird bei der Inbetriebnahme am Regelgerät eingestellt. Die erste Einstellung erfolgt mit möglichst niedrigen Vorlauf­temperat­uren, die dann schrittweise erhöht werden. Eine bereits zu Beginn eingestellte Heizkurve mit hohen Temperaturen führt zu einer niedrigen Effizienz der Anlage, da dies in der Regel nicht mit Komforteinbußen verbunden ist und daher vom Nutzer unbemerkt bleibt.

Nach umfangreichen Sanierungsmaßnahmen oder in Neubauten muss die Anlage während der ersten Heizperiode einen erhöhten Energiebedarf zur Bautrocknung decken. Nach der ersten vollständigen Heizperiode ist daher die Reglereinstellung zu wiederholen. Bei dieser Gelegenheit sollte die Anlage entlüftet und der hydraulische Abgleich überprüft werden.

## 6. Effizienz- und Kostenbetrachtung

Für die Bewertung der Effizienz von elektrisch betriebenen Wärmepumpen im mono­valenten oder monoenergetischen Betrieb kann die Jahresarbeitszahl (JAZ) nach VDI 4650 Blatt 1 berechnet werden.

Da diese VDI-Richtlinie zur Berechnung von bivalenten Anlagen weitgehend auf die Objektplanung verweist, wird der Rechengang nachfolgend beschrieben.

Neben der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ist eine Effizienzangabe für den Spitzenlastkessel erforderlich. Für fossile Wärmeerzeuger können anstelle von produktbezogenen Daten die folgenden Annahmen für die Effizienz im Heizbetrieb getroffen werden:

- Brennwertfeuerstätten Gas/Öl: 85–95 % ( $H_S$ )
- Niedertemperaturkessel Gas/Öl: 80–85 % ( $H_S$ )
- Festbrennstoffkessel: 80–90 % ( $H_S$ )

Zur Berechnung des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung wird der jeweils kleinste Wert der oben stehenden Angaben herangezogen. Die Werte sind bezogen auf den oberen Heizwert ( $H_S$ ), da auf dieser Grundlage die Abrechnung mit dem Energieversorger erfolgt.

### 6.1. Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im bivalenten Heizbetrieb

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe in einem bivalenten System wird nach VDI 4650 Blatt 1 ermittelt. Das Verfahren entspricht grundsätzlich der Vorgehensweise für monoenergetische Wärmepumpen. Allerdings müssen die Wärmepumpe und der fossile Wärmeerzeuger separat betrachtet werden.

Zunächst muss der Bivalenzpunkt festgelegt werden. Dies geschieht entweder anhand der Außentemperatur oder dem Leistungsanteil der Wärmepumpe. Dieser ist das Verhältnis von Heizleistung der Wärmepumpe zur Heizlast der Anlage bei Auslegungstemperatur. Die unten stehende Tabelle (siehe auch DIN 4701-10) liefert daraus den Deckungsanteil ( $\alpha$ ) der Wärmepumpe. Sind sowohl die Bivalenztemperatur als auch der Leistungsanteil bekannt, so gilt der kleinere der beiden ermittelten Deckungsanteile.

### 6.2. Deckungsanteil der Wärmepumpe

Deckungsanteil des Grundlast-Wärmeerzeugers einer bivalent/monoenergetisch betriebenen Anlage in Abhängigkeit von der Außentemperatur, Leistungsanteil und der Betriebsweise des Grundlast-Wärmeerzeugers (parallel oder alternativ). Die Außentemperatur kennzeichnet im parallelen Betrieb den Bivalenzpunkt, im alternativen/ teilparallelen Betrieb den Abschalt­punkt.

Außentemperatur am Bivalenz-/Abschalt­punkt	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2
Leistungsanteil der Wärmepumpe bei Norm-Außentemperatur	0,77	0,73	0,69	0,65	0,62	0,58	0,54	0,50	0,46	0,42	0,38	0,35	0,31
Deckungsanteil $\alpha$ bei parallelem Betrieb	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87	0,83
Deckungsanteil $\alpha$ bei alternativem/ teilparallelem Betrieb	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,87	0,83	0,78	0,71	0,64	0,55	0,46

Tabelle 1: Angaben zur Ermittlung des Deckungsanteils

Quelle: DIN V 4701-10

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe wird für den parallelen und den alternativen/ teilparallelen Betrieb auf unterschiedlichen Wegen berechnet:

1. Paralleler Betrieb:

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ( $\beta_h$ ) wird, wie auch in monovalenten Anlagen, mit der Auslegungstemperatur des Heiznetzes ( $T_{\text{Vorlauf,N}}$  und  $T_{\text{Rücklauf,N}}$ ) bei Norm- Außentemperatur ( $T_{\text{Min}}$ ) ermittelt.

2. Alternativer oder teilparalleler Betrieb:

Für den bivalent- alternativen/ teilparallelen Heizbetrieb wird die Jahresarbeitszahl nicht mit der Auslegungstemperatur des Heizsystems berechnet, sondern mit der Betriebstemperatur am Abschalt- punkt. Diese Temperatur ( $T_{\text{Vorlauf}}$ ) wird mathematisch ermittelt oder anhand der Diagramme A, B, C, D (auf Seite 12 ff.) bestimmt. Mit der Außentemperatur am Abschalt- punkt ( $T_{\text{Bivalent}}$ ), der Heizgrenztemperatur ( $T_{\text{Heizgrenz}}$ ) und der Norm Außentemperatur ( $T_{\text{Min}}$ ) wird das Teillastverhältnis (PLR) bestimmt (siehe Tabelle oben).

$$PLR = \frac{T_{\text{Heizgrenz}} - T_{\text{Bivalent}}}{T_{\text{Heizgrenz}} - T_{\text{Min}}}$$

Aus den Auslegungstemperaturen des Heiznetzes ( $T_{\text{Vorlauf,N}}$  und  $T_{\text{Rücklauf,N}}$ ) resultiert damit die Spreizung des Heizsystems ( $\Delta g_B$ ) am Abschalt- punkt.

$$\Delta g_B = PLR \times (T_{\text{Vorlauf,N}} - T_{\text{Rücklauf,N}})$$

Mit der Raumtemperatur ( $T_{\text{Raum}}$ ), der mittleren Heizflächen-Übertemperatur ( $T_{\text{HK,N}}$ ) und dem Heizflächenexponenten ( $n$ ) kann dann anhand der Heizkurve die relevante Vorlauf- temperatur ( $T_{\text{Vorlauf}}$ ) für die Berechnung der Jahresarbeitszahl ( $\beta_h$ ) ermittelt werden.

$$T_{\text{HK,N}} = \frac{T_{\text{Vorlauf,N}} + T_{\text{Rücklauf,N}}}{2} - T_{\text{Raum}}$$

$$T_{\text{Vorlauf}} = T_{\text{Raum}} + PLR^{1/n} \times T_{\text{HK,N}} + 0,5 \times \Delta g_B$$

Diagramme A und B zur Ermittlung der Vorlauf- temperatur und der Teillast am Abschalt- punkt von bivalent alternativen oder bivalent teilparallelen Anlagen bei einer Heiz- grenztemperatur von 15 °C:

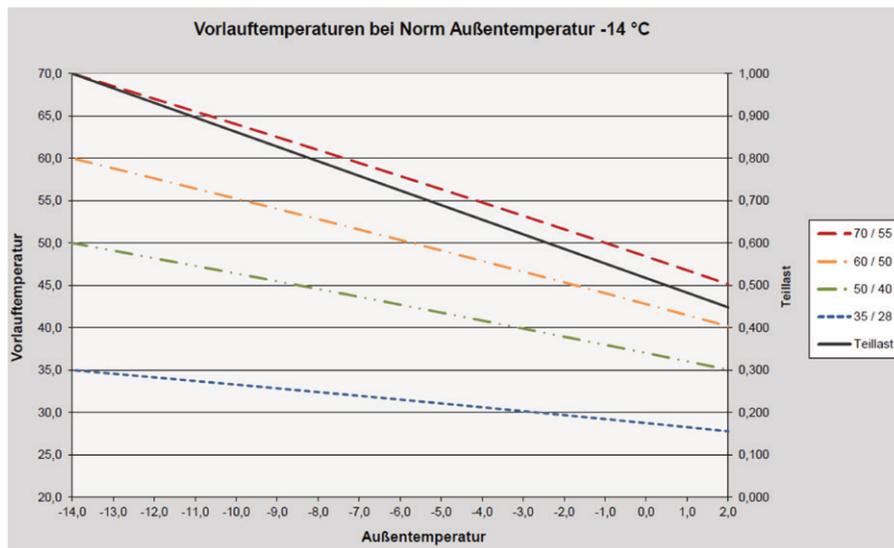


Diagramm A: Vorlauf-temperaturen/Teillast bei Norm-Außentemperatur -14 °C

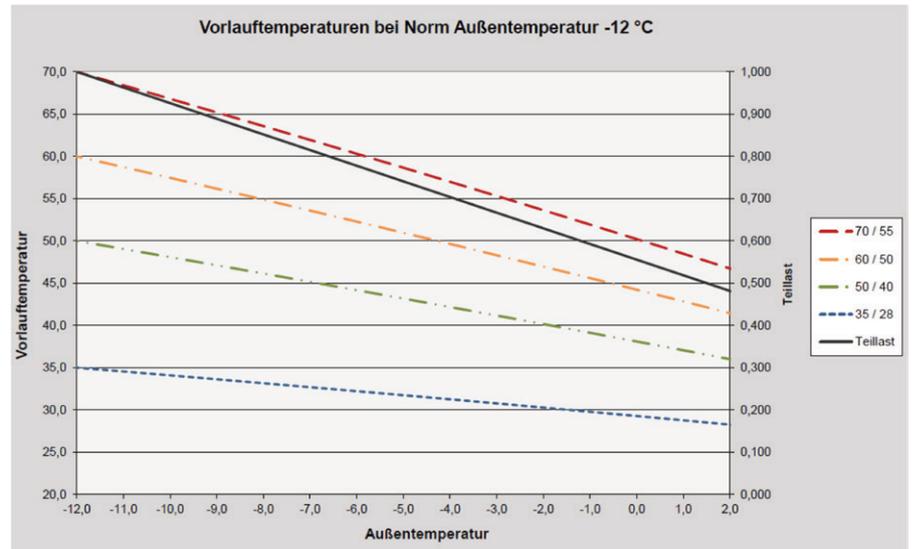


Diagramm B: Vorlauftemperaturen/Teillast bei Norm-Ausentemperatur -12 °C

### 6.3 Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpe im bivalenten Betrieb

Die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpe beinhaltet neben der Wärmebereitstellung für die Heizung (x) auch einen Anteil (y) für die Warmwasserbereitung. Mit diesen Daten wird die Gesamtjahresarbeitszahl ( $\beta_{WP}$ ) ermittelt.

Mit dem Deckungsanteil ( $\alpha$ ) der Wärmepumpe an der Heizarbeit der Anlage ( $Q_h$ ) aus der Tabelle oben und der Wärmebereitstellung zur Warmwasserbereitung durch die Wärmepumpe ( $Q_{WP,W}$ ) wird der Anteil der Heizarbeit für die Wärmepumpe (x) berechnet

$$x = \frac{\alpha \times Q_h}{\alpha \times Q_h + Q_{WP,W}}$$

Daraus resultiert der Warmwasseranteil für die Wärmepumpe (y):

$$y = 1 - x$$

Damit wird die Gesamtjahresarbeitszahl ( $\beta_{WP}$ ) berechnet:

$$\beta_{WP} = \frac{1}{x/\beta_h + y/\beta_w}$$

### 6.4. Betrachtung der Gesamtanlage

Eine Gesamtjahresarbeitszahl der bivalenten Anlage kann nicht sinnvoll ausgewiesen werden, da hier unterschiedliche Energieträger zum Einsatz kommen. Folglich sind die Wärmeerzeuger mit ihren Heizanteilen einzeln zu betrachten.

Der elektrische Energiebedarf (PWP) der Wärmepumpe wird errechnet nach:

$$P_{WP} = \frac{\alpha \times Q_h + Q_{WP,W}}{\beta_{WP}}$$

Der Brennstoffbedarf für den fossilen Wärmeerzeuger (PK) wird errechnet nach:

$$P_K = \frac{(1 - \alpha) \times Q_h}{\eta_{K,h}} + \frac{Q_{K,W}}{\eta_{K,w}}$$

Hierbei ist  $\eta_{K,h}$  der Wirkungsgrad des fossilen Wärmeerzeugers im Heizbetrieb und  $\eta_{K,w}$  der Wirkungsgrad des fossilen Wärmeerzeugers für die Warmwasserbereitung.

In den Leistungsdaten von Wärmepumpen ist der Energiebedarf der Hilfsaggregate bereits enthalten. Für Feuerstätten hingegen muss die elektrische Leistungsaufnahme zusätzlich betrachtet werden. In guter Näherung kann der Hilfsenergiebedarf anhand einer spezifischen elektrischen Leistungsaufnahme ( $p_{K,el}$ ) errechnet werden. Sofern

keine Herstellerangaben zur Verfügung stehen, sind die folgenden Standardwerte anzusetzen:

- Gaskessel: 5 W<sub>el</sub> / kW
- Ölkessel: 15 W<sub>el</sub> / kW
- Festbrennstoffkessel: 20 W<sub>el</sub> / kW

Der elektrische Energiebedarf der Feuerstätte ist das Produkt aus dem Brennstoffbedarf des Kessels PK und der spezifischen elektrischen Leistungsaufnahme.

$$P_{el,K} = P_K \times p_{K,el}$$

(Siehe auch Beispiel 1 im Anhang)

### 6.5. Wärmepreis der Gesamtanlage

Für die wirtschaftliche Bewertung der bivalenten Wärmepumpenanlage sind u. a. die verbrauchsgebundenen Kosten von Interesse. Sie können aus den zu erwartenden Verbrauchsdaten nach Kapitel 6.4. und den Energiepreisen ermittelt werden.

Alternativ ist auch die Angabe von verbrauchsunabhängigen, spezifischen Wärmepreisen sinnvoll möglich. Dazu müssen die Energiekosten der unterschiedlichen Wärmeerzeuger einer bivalenten Wärmepumpenanlage auf einer gemeinsamen Basis berechnet werden.

Wärmepreis aus der Angabe des Energieträgerpreises in Euro pro kWh (z. B. Gas, Strom)

$$K_W = \frac{K_{ET}}{\eta}$$

Wärmepreis aus der Angabe des Energieträgerpreises bezogen auf eine Menge (z. B. Öl)

$$K_W = \frac{K_{ET}}{E_{ET} \times \eta}$$

K<sub>W</sub> = Kosten der Wärmeenergie

K<sub>ET</sub> = Kosten des Energieträgers

E<sub>ET</sub> = Energieinhalt des Energieträgers bezogen auf die Menge

η = Arbeitszahl der Wärmepumpe/Nutzungsgrad der Feuerstätte

(Siehe auch Beispiel 2 im Anhang)

### 7. Fazit

Bivalente Wärmepumpensysteme können gewährleisten, dass zu jedem Zeitpunkt das Gebäude mit dem jeweils günstigsten Wärmepreis beheizt wird, da auf mögliche Schwankungen der Energiepreise unkompliziert durch den zweiten Wärmeerzeuger reagiert wird. Die Steuerung der bivalenten Wärmepumpenanlage wird meist vom Wärmepumpenregler übernommen.

Bivalente Wärmepumpensysteme können einen Schlüssel zur Auflösung des Modernisierungsstaus im Bestand darstellen. Sie erleichtern dem Anlagenbetreiber die Entscheidungsfindung für den künftigen Energieträger zur Beheizung des Gebäudes. Sie können oft kostengünstig durch die Erweiterung bestehender Heizungsanlagen errichtet werden. Die Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb bivalenter Wärmepumpenanlagen sind eine sorgfältige Bestandsaufnahme, die Auswahl einer geeigneten Anlagenhydraulik und ein abgestimmtes Regelungskonzept.

Auch im Neubau, insbesondere bei hohen Heizlasten und unterschiedlichen Temperaturanforderungen, sind bivalente Wärmepumpensysteme wirtschaftlich interessant.

Einführende Hinweise gibt dieses Infoblatt.

## Anhang

### Auslegungsbeispiel:

#### Heizungsanlage mit Luft-/Wasser-Wärmepumpe, bivalent alternativ

Gas-Brennwertkessel	20 kW
Norm-Außentemperatur	-12 °C
Heizgrenztemperatur (Altbau, teilmodernisiert)	15 °C
Raumtemperatur	20 °C
Bivalenzpunkt (Abschaltpunkt)	-2 °C
Auslegungstemperaturen Heizung	65/50 °C
Radiatorenexponent (Flachheizkörper)	n = 1,2
Norm-Heizlast	20 kW
Wärmebedarf Heizung	36 000 kWh
Warmwasserbereitstellung Wärmepumpe	2 500 kWh
Warmwasserbereitstellung Kessel	1 500 kWh
Effizienz Kessel im Heizbetrieb	90 %
Effizienz Kessel im Warmwasserbetrieb	85 %
Annahme: Erdgaspreis	0,07 €/kWh
Annahme: Strompreis, Wärmepumpe	0,20 €/kWh
Annahme: Strompreis, Hilfsenergie	0,26 €/kWh

### Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe:

Deckungsanteil der Wärmepumpe am Bivalenzpunkt -2 °C nach Tabelle 1:

$$\alpha = 0,78$$

Teillastverhältnis berechnet aus Heizgrenztemperatur 15 °C, Bivalenztemperatur -2 °C und Normaußentemperatur -12 °C:

$$PLR = \frac{15 - (-2)}{15 - (-12)} = 0,630$$

Die Spreizung am Abschaltpunkt ergibt sich aus dem Teillastverhältnis multipliziert mit der Differenz aus den Auslegungstemperaturen:

$$\Delta g_B = 0,630 \times (65 - 50) = 9,44 K$$

Aus der Vor- und Rücklauftemperatur der Anlage ergibt sich die Norm-Übertemperatur zur Festlegung der Heizkurve für die Wärmepumpe:

$$T_{HK,N} = \frac{65 + 50}{2} - 20 = 37,5 K$$

Die max. Vorlauftemperatur der Wärmepumpe errechnet sich wie folgt:

$$T_{Vorlauf} = 20 + 0,630^{1/1,2} \times 37,5 + 0,5 \times 9,44 = 50,2 °C$$

### COP-Angaben des Wärmepumpenherstellers:

Die Leistungszahlen (Coefficient of Performance COP) werden bei einer Außentemperatur von -7 °C, 2 °C und 7 °C und einer festen Vorlauftemperatur von 35 °C angegeben:

COP (A -7 / W 35): 2,8

COP (A 2 / W 35): 3,5

COP (A 7 / W 35): 4,2

Die max. Vorlauftemperatur der Wärmepumpe am Abschaltpunkt wurde mit 50,2 °C berechnet:

Vorlauftemperatur  $T_{Vorl} = 50,2 °C$  Spreizung  $\Delta u_B = 9,44 K$

Die Ermittlung der Jahresarbeitszahl (JAZ) erfolgt nach VDI 4650:

JAZ Heizbetrieb:  $\beta_h = 3,49$

JAZ Warmwasser:  $\beta_W = 3,78$

Der Anteil der Heizarbeit für die Wärmepumpe mit  $\alpha = 0,78$  und den vorgegebenen Heizarbeiten aus der Planung beträgt:

$$x = \frac{0,78 \times 36.000}{0,78 \times 36.000 + 2.500} = 0,918$$

91,8 % der von der Wärmepumpe bereitgestellten Wärme werden für die Raumheizung verwendet. Die verbleibende Wärmemenge von 8,2 % wird für die Warmwasserbereitung genutzt.

$$y = 1 - 0,918 = 0,082$$

### Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpe

$$\beta_{WP} = \frac{1}{\frac{0,918}{3,49} + \frac{0,082}{3,78}} = 3,51$$

### Elektrischer Energiebedarf der Wärmepumpe

$$P_{WP} = \frac{0,78 \times 36.000 + 2.500}{3,51} = 8.718 kWh_{el}$$

### Brennstoffbedarf der Feuerstätte

$$P_K = (1 - 0,78) \times \frac{36.000}{90\%} + \frac{1.500}{85\%} = 10.565 kWh$$

### Elektrischer Energiebedarf der Feuerstätte

Die Vollbenutzungsstunden der Feuerstätte ergeben sich aus dem Brennstoffbedarf und der max. Heizleistung

$$h = 10.565 kWh / 20 kW = 528 h$$

Die Vollbenutzungsstunden, die spezifische elektrische Leistung (Standardwert 5 W/kW) und die Nennleistung des Gasbrennwertgerätes liefern den Hilfsenergiebedarf.

$$P_{el,K} = 528 h \times 5 W_{el} / kW \times 20 kW = 53 kWh_{el}$$

### Verbrauchsgebundene Kosten der Wärmepumpe/Feuerstätte

Für die wirtschaftliche Bewertung der bivalenten Wärmepumpenanlage sind unter anderem die verbrauchsgebundenen Kosten von Interesse. Diese können anhand der zuvor errechneten Verbrauchsdaten/den Endenergiebedarfen ermittelt werden. Eine weitere wesentliche Grundlage für diese Berechnung ist der Preis für den jeweiligen Energieträger.

Die verbrauchsgebundenen Kosten für den jeweiligen Energieträger lassen sich entweder absolut oder in Bezug auf die Kilowattstunde Wärme ausweisen.

Der jährliche Endenergiebedarf des Energieträgers wird dafür entweder mit dem Energiepreis multipliziert,

$$K_{W,Jahr} = P_{WP} \cdot K_{ET,WP} + P_K \cdot K_{ET,FS} + P_{el,K} \cdot K_{ET,el}$$
$$K_{W,Jahr} = 8718 kWh \cdot 0,2 \frac{\text{€}}{kWh} + 10565 kWh \cdot 0,07 \frac{\text{€}}{kWh} + 53 kWh \cdot 0,26 \frac{\text{€}}{kWh}$$
$$K_{W,Jahr} = 2497$$

oder der Wärmepreis in Euro pro kWh (hier z. B. Strom, Wärmepumpe) anhand der Arbeitszahl der Wärmepumpe ermittelt.

$$K_{W,WP} = \frac{K_{ET,WP}}{\beta_{WP}} = \frac{0,2 \overline{kWh}}{3,51} = 0,057 / kWh$$

In der nachfolgenden Tabelle sind die Berechnungsergebnisse des Auslegungsbeispiels zusammengefasst. Für den Planer der bivalenten Anlage bietet diese Berechnungsmethode die Möglichkeit, eine Einschätzung für verschiedene Abschaltpunkte und damit Wärmepumpen-Heizleistungen vorzunehmen.

Anders als in dem Beispiel zuvor wurden die Berechnungen analog für weitere Abschaltpunkte durchgeführt und in die Tabelle aufgenommen. Die Ergebnisse zeigen den Zusammenhang zwischen Deckungsanteil, der resultierenden maximalen Vorlauftemperatur und Effizienz der Wärmepumpe in einer bivalent alternativen Konstellation.

Abschaltpunkt	[°C]	-4	-2	0	2	15
Deckungsanteil der Wärmepumpe nach Tabelle 1:	[%]	87	78	64	46	0
Spreizung am Abschaltpunkt	[K]	10,6	9,44	8,3	7,2	–
maximale Vorlauftemperatur der Wärmepumpe	[°C]	53,3	50,2	47,1	44,0	–
<b>Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpe</b>	[-]	<b>3,46</b>	<b>3,51</b>	<b>3,57</b>	<b>3,63</b>	–
elektrischer Energiebedarf der Wärmepumpe	[kWh/a]	9774	8718	7154	5251	0
Brennstoffbedarf der Feuerstätte	[kWh/a]	6965	10565	16165	23365	44265
elektrischer Energiebedarf der Feuerstätte	[kWh/a]	35	53	81	117	221
<b>spezifischer Wärmepreis für den Energieträger: Gas</b>	<b>[Cent/kWh]</b>	<b>7,9</b>	<b>7,8</b>	<b>7,8</b>	<b>7,8</b>	<b>7,8</b>
<b>spezifischer Wärmepreis für den Energieträger: Strom</b>	<b>[Cent/kWh]</b>	<b>5,8</b>	<b>5,7</b>	<b>5,6</b>	<b>5,5</b>	–
verbrauchsgebundene Kosten für den Energieträger: Gas	[€/a]	488	740	1132	1636	3099
verbrauchsgebundene Kosten für den Energieträger: Strom	[€/a]	1964	1757	1452	1081	58
<b>verbrauchsgebundene Kosten in Summe</b>	<b>[€/a]</b>	<b>2451</b>	<b>2497</b>	<b>2583</b>	<b>2716</b>	<b>3156</b>

Ein Abschaltpunkt bei niedrigerer Außentemperatur erhöht den Deckungsanteil der Wärmepumpenanlage und verschiebt den Auslegungspunkt für die Wärmepumpe auf eine höhere Vorlauftemperatur, wodurch sich deren Jahresarbeitszahl verringert.

Dennoch sinken in diesem Beispiel die gesamten verbrauchsgebundenen Kosten. Zu berücksichtigen ist, dass im Auslegungspunkt eine höhere Heizleistung durch die Wärmepumpe notwendig wird. Dies führt mitunter zu höheren Investitionskosten für das Gerät. Zudem ist vor allem in diesem bivalent alternativem Beispiel erkennbar, dass der Abschaltpunkt zwingend in Abhängigkeit der Einsatzgrenzen der Wärmepumpe, z. B. der maximalen Vorlauftemperatur zu wählen ist.

Ein noch höherer Deckungsanteil bzw. auch ein monovalenter Betrieb der Wärmepumpe ließe sich ggf. erreichen, wenn nicht die maximal mögliche Vorlauftemperatur des Gerätes überschritten wird.

BDH-Informationen dienen der unverbindlichen technischen Unterrichtung. Eine Fehlerfreiheit der enthaltenen Informationen kann trotz sorgfältiger Prüfung nicht garantiert werden.

Weitere Informationen unter:  
[www.bdh-koeln.de](http://www.bdh-koeln.de)

Herausgeber:  
Interessengemeinschaft  
Energie Umwelt Feuerungen GmbH  
Infoblatt 57 März/2014