

Dimensionierung von Wärmepumpen

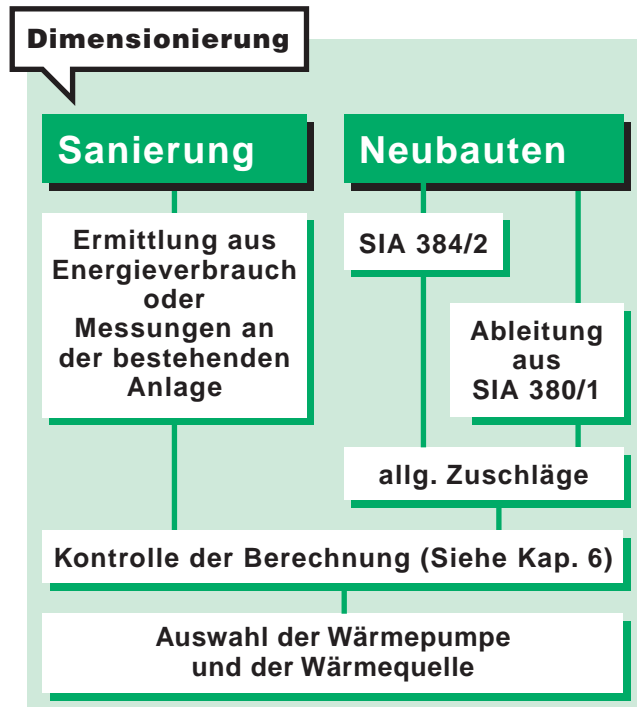
1. Einleitung

Die korrekte Dimensionierung von Wärmepumpen und eine auf den Bedarf abgestimmte Betriebsweise ermöglichen einen energiegerechten Betrieb von Heizungsanlagen. Sie bilden einen wesentlichen Beitrag an die rationelle Energienutzung in Gebäuden.

Dieses Merkblatt richtet sich vor allem an die Fachleute der Heizungsbranche.

2. Vorgehen

Das untenstehende Schema zeigt das Vorgehen für die Dimensionierung von Wärmepumpen in bestehenden Gebäuden und Neubauten.



3. Sanierung

Bei einer Sanierung kann die notwendige Heizleistung der Wärmepumpe entweder auf der Basis des **durchschnittlichen Jahres-Energieverbrauchs mehrerer Jahre** oder durch **Auslastmessung** an der bestehenden Anlage bestimmt werden.

3.1 Ermittlung der Heizleistung aus dem Energieverbrauch von Öl- oder Gaskessel

Die erforderliche Heizleistung kann nach Weiersmüller [1] aufgrund des jährlichen Brennstoffverbrauchs mit nachfolgenden Formeln berechnet werden. Sie entsprechen dem Diagramm bzw. der Bemessungsscheibe nach Weiersmüller. Die Berechnungen basieren auf 20 °C Raumlufttemperatur. Sie ergeben speziell für Wohnbauten mit Kesselleistungen bis 100 kW gute Resultate. Für grössere Leistungen sollte nach Kap. 3.2 vorgegangen werden.

Mittelland

Mit Warmwasser¹⁾

$$\dot{Q}_H = \frac{\text{Verbrauch}^{(3)}}{300}$$

Ohne Warmwasser²⁾

$$\dot{Q}_H = \frac{\text{Verbrauch}^{(3)}}{265^{(4)}}$$

Über 800 m ü.M.

Mit Warmwasser¹⁾

$$\dot{Q}_H = \frac{\text{Verbrauch}^{(3)}}{330}$$

Ohne Warmwasser²⁾

$$\dot{Q}_H = \frac{\text{Verbrauch}^{(3)}}{295^{(4)}}$$

\dot{Q}_H = erforderlicher Heizleistungsbedarf bei Auslegetemperatur [kW]

¹⁾ Warmwasserbereitung ganzjährig Kessel

²⁾ Warmwasserbereitung ganzjährig elektrisch

³⁾ in Liter Öl (1 kg Öl entspricht ca. 1.19 Liter)

(1 Betriebs-m³ Gas entspricht ca. 0.93 Liter Öl)

⁴⁾ Dimensionierungsfaktor

Berechnungsbeispiel

Objekt: MFH (Mittelland), Energiebezugsfläche EBF 400 m², gut wärmegeklämt, mit ganzjähriger Wassererwärmung. Der durchschnittliche Jahresverbrauch beträgt 5280 Liter Öl.

$$\dot{Q}_{H\text{erf}} = \frac{5280}{300} = 17.6 \text{ kW}$$

Die erforderliche Heizleistung der Wärmepumpe ($\dot{Q}_{WP\text{erf}}$), bei monovalenter Betriebsweise, beträgt somit rund **18 kW**. Zur Kontrolle kann die spezifische Heizleistung verwendet werden.

$$\frac{18\,000 \text{ W}}{400 \text{ m}^2} = 45 \text{ W/m}^2$$

Die errechneten 45 W/m² liegen im Bereich für *gut wärmegeklämt bestehende Wohnhäuser* und sind somit bestätigt (Vergleiche Kap. 6).

$\dot{Q}_{WP\text{erf}}$ = erforderliche Heizleistung der Wärmepumpe im Auslegepunkt bzw. Bivalenzpunkt

Es gilt zu beachten, dass diese Formeln auf Wohnbauten zugeschnitten sind, die mit einer üblichen Wärmedämmung und einer Heizkesselanlage mit einem Jahreswirkungsgrad zwischen 70 und 85% ausgerüstet sind. Bei bestehenden Kesseln mit **extrem schlechten Wirkungsgraden** (< 70%) kann die Berechnung zu einer **Überdimensionierung** führen. In folgenden Fällen liefern die Formeln nur ungenaue Resultate, zusätzlich sind Abklärungen über allfällige Korrekturen nötig (vgl. auch Kap. 5):

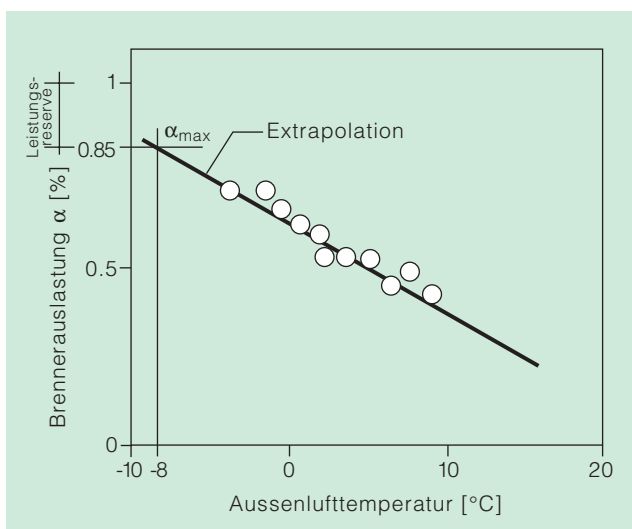
- Grosser Warmwasserverbrauch (z.B. in Grossküchen, Sportanlagen)
- Überdurchschnittliche Wärmegewinne durch Sonne (Passivsolarhäuser), Elektrogeräte usw.
- Zeitlich eingeschränkte Nutzung
- Temperaturabsenkung über das Wochenende
- Lüftungs- und Klimaanlage
- Prozesswärme

Für komplexe sowie grössere Anlagen (> 100 kW) wird eine Auslastungsmessung bzw. das Aufnehmen einer Energiekennlinie [2] empfohlen.

3.2 Auslastungsmessungen

Auslastungsmessungen an der alten betriebstüchtigen Anlage ergeben differenziertere Angaben für die Dimensionierung von Heizkesseln (Energiekennlinie). Dies speziell in Fällen, bei denen die Ermittlung der Kesselleistung aus dem jährlichen Brennstoffverbrauch nicht geeignet ist.

Um eine genauere Aussage machen zu können, sollte während rund zweier Wochen die **Brennerauslastung** (α) in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur aufgenommen werden, wobei die Aussenlufttemperatur in einem möglichst weiten Bereich schwanken sollte (z.B. -5 bis +10 °C). Diese Methode kommt vor allem **in grösseren Gebäuden mit Anlagen > 100 kW** wie Schulen, Spitälern, Industriebauten, Verwaltungsgebäuden usw. zur Anwendung. Das detaillierte Vorgehen kann der Publikation *Dimensionieren und Auswählen von Heizkesseln* [2] entnommen werden.



Energiekennlinie aus Auslastungsmessungen

Das vorangehende Beispiel stellt die gemessene Brennerauslastung einer gut dimensionierten Anlage dar. Sie hat auch bei sehr tiefen Aussenlufttemperaturen noch eine Leistungsreserve von 15% für das Wiederaufheizen nach einer längeren Absenkerperiode. Diese Reserve ist genügend, da bei extremen Kälteeinbrüchen allenfalls auf die Absenkerphase verzichtet werden kann. Für komplexe Gebäude siehe Kap. 5.

4. Neubauten

4.1 Heizleistungsbedarf nach Empfehlung SIA 384/2 Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden [3]

Mit dieser Methode wird für Neubauten oder bei umfassenden wärmetechnischen Gebäudesanierungen der Heizleistungsbedarf jedes beheizten Raums einzeln ermittelt. Die Berechnungen sind für die Dimensionierung der Heizkörper oder der Fussbodenheizung unerlässlich. Aus den einzelnen Räumen wird der Heizleistungsbedarf des gesamten Gebäudes bestimmt.

4.2 Ableitung des Heizleistungsbedarfs aus Empfehlung SIA 380/1 Energie im Hochbau [3]

Ist der Heizenergiebedarf Q_h nach SIA 380/1 ermittelt worden, kann mit den dabei bestimmten Grundlagedaten (k -Werte und zugehörige Flächenauszüge sowie das beheizte Gebäudevolumen) der Heizleistungsbedarf \dot{Q}_h des Gebäudes einfach bestimmt werden.

$$\dot{Q}_{t,a} = \Sigma (k_a \cdot A_a) \cdot (t_i - t_a)$$

$$\dot{Q}_{t,u} = \Sigma (k_u \cdot A_u) \cdot (t_i - t_u)$$

$$\dot{Q}_{t,E} = \Sigma (k_E \cdot A_E) \cdot (t_i - t_E)$$

$$\dot{Q}_l = f \cdot 0.3 \cdot V \cdot (t_i - t_a)$$

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_{t,a} + \dot{Q}_{t,u} + \dot{Q}_{t,E} + \dot{Q}_l$$

\dot{Q}_h = Heizleistungsbedarf [W]

$\dot{Q}_{t,a}$ = Transmissions-Wärmeleistungsbedarf gegen Aussenluft [W]

$\dot{Q}_{t,u}$ = Transmissions-Wärmeleistungsbedarf gegen unbeheizt [W]

$\dot{Q}_{t,E}$ = Transmissions-Wärmeleistungsbedarf gegen Erdreich [W]

\dot{Q}_l = Lüftungs-Wärmeleistungsbedarf [W]

$k_{a,u,E}$ = Wärmedurchgangskoeffizient gegen aussen, unbeheizt, Erdreich [W/m²K]

V = beheiztes Gebäudevolumen [m³]

$A_{a,u,E}$ = Fläche des Bauteils [m²]

f = Faktor für Luftdichte und spez. Wärmekapazität:

Mittelland 0.32

1000 m ü.M. 0.30

2000 m ü.M. 0.26

0.3 = Luftwechselzahl [h⁻¹]

t_i = Raumlufttemperatur [°C]

t_a = massgebende Aussenlufttemperatur [°C]

t_u = Temp. Raum unbeheizt*

t_E = Temp. Erdreich*

* Es sind die Temperaturen gemäss SIA 384/2 einzusetzen.



Hinweis:

Für die korrekte Dimensionierung der Heizkörper oder Fussbodenheizung ist eine Berechnung nach SIA 384/2 unerlässlich. Allfällige Lüftungsanlagen müssen ebenfalls gemäss SIA 384/2 berücksichtigt werden.

Berechnungsbeispiel

Objekt: EFH massiv, Energiebezugsfläche EBF 180 m², beheiztes Volumen 360 m³, Q_n = 204 MJ/m²a, ohne Wassererwärmung, Standort Bern.

Flächen	k-Wert
• 110 m ² Dach	0.25 W/m ² K
• 120 m ² Aussenmauer	0.30 W/m ² K
• 30 m ² Fenster inkl. Rahmen	1.60 W/m ² K
• 90 m ² Boden gegen unbeheizt	0.40 W/m ² K
• 30 m ² Mauer gegen Erdreich	0.40 W/m ² K

Auslegungstemperaturen gemäss SIA 384/2

• Raumlufttemperatur	t _i = 20 °C
• Aussenlufttemperatur	t _a = -8 °C
• Temp. Garage/Keller unbeheizt	t _u = 5 °C
• Temperatur Erdreich	t _E = 0 °C

Transmissions-Wärmeleistungsbedarf gegen **Aussenluft:**
 $\dot{Q}_{t,a} = [(0.25 \cdot 110) + (0.3 \cdot 120) + (1.6 \cdot 30)] \cdot [20 - (-8)] = 3122 \text{ W}$

Transmissions-Wärmeleistungsbedarf gegen **unbeheizt:**
 $\dot{Q}_{t,u} = (0.4 \cdot 90) \cdot (20 - 5) = 540 \text{ W}$

Transmissions-Wärmeleistungsbedarf gegen **Erdreich:**
 $\dot{Q}_{t,E} = (0.4 \cdot 30) \cdot (20 - 0) = 240 \text{ W}$

Wärmeleistungsbedarf für die **Lüftung:**
 $\dot{Q}_l = (0.32 \cdot 0.3 \cdot 360) \cdot [20 - (-8)] = 968 \text{ W}$

Der **gesamte Heizleistungsbedarf** des Gebäudes errechnet sich wie folgt:
 $\dot{Q}_h = 3122 + 540 + 240 + 968 = 4870 \text{ W}$

Die Zuschläge für Aufheizung und Verluste der Wärmeverteilung betragen 15% (vergleiche Kapitel 5); somit resultiert als erforderliche Heizleistung der Wärmepumpe
 $\dot{Q}_{WP \text{ erf}} = 4870 \text{ W} \cdot 1.15 = 5600 \text{ W}$

Die spezifische Heizleistung errechnet sich wie folgt:
 $\frac{5600 \text{ W}}{180 \text{ m}^2} = 31 \text{ W/m}^2$

Zur **Kontrolle** vergleiche Angaben in Kapitel 6.

5. Zuschläge

Unter Zuschlägen wird Folgendes verstanden:

- Sperrzeiten der Wärmepumpe
- Die Sperrzeiten der Elektrizitätswerke sind mit Zuschlagsfaktoren zur Heizleistung der Wärmepumpe zu berücksichtigen (bei gut gedämmten Neubauten mit Fussbodenheizung braucht es keinen Leistungszuschlag).
- Wärmeleistung für die Speicheraufladung (Heizspeicher)
- Heizspeicher dienen dem zeitlichen Ausgleich zwischen Wärmeangebot und Wärmenachfrage (Über-

brückung von Sperrzeiten und Angebotslücken, Nutzung Niedertarif usw.).

- Wärmeleistung für die Wassererwärmung
- Der Wasserverbrauch sowie die Wahl des Systems bestimmen die erforderlichen Zuschläge. Für ein EFH mit 2 bis 4 Personen kann mit einem Zuschlag von 750 Watt zur Nenn-Heizleistung der Wärmepumpe gerechnet werden.
- Wärmeleistung für Lüftungstechnische Anlagen, Schwimmbäder oder für Prozesswärme

Die notwendige Heizleistung der Wärmepumpe bedarf einer sorgfältigen Berechnung, die durch die Lieferfirma der Anlagenteile anzugeben ist.

6. Kontrolle der Resultate

Zur Kontrolle der Resultate kann die spezifische Heizleistung herangezogen werden. Sie errechnet sich aus der Heizleistung dividiert durch die Energiebezugsfläche (beheizte Bruttogeschossfläche):

Gebäudetyp	W/m ²
Herkömmlich wärme-gedämmte Wohnhäuser	50 ... 70
Gut wärme-gedämmte bestehende Wohnhäuser	40 ... 50
Neubauten gemäss heutigen Vorschriften	30 ... 40
Herkömmliche Dienstleistungsbauten	60 ... 80

Hinweis: Die spezifische Heizleistung kann nur als grobes Kontrollinstrument eingesetzt werden. Die Dimensionierung sollte prinzipiell nach den vorgängig beschriebenen Methoden erfolgen.

7. Auswahl der Wärmepumpe, der Wärmequellenanlage und des Wärmeabgabesystems

Die Wärmepumpe kann grundsätzlich bei jedem Wärmeabgabesystem eingesetzt werden. Niedertemperaturheizungen (z.B. Fussbodenheizungen oder entsprechend gross dimensionierte Heizkörper) eignen sich besonders für Wärmepumpen. Je nach Systemtemperatur und Wärmequelle kann ein monovalenter Betrieb der Wärmepumpe in Frage kommen. Bei Anlagen mit höherer Systemtemperatur kann eine Zusatzheizung (z.B. bestehender Heizkessel) als bivalenter Betrieb sinnvoll sein. Da die Jahresarbeitszahl (JAZ) mit sinkender Vorlauftemperatur spürbar steigt, soll das Wärmeabgabesystem grundsätzlich auf eine tiefe Vorlauftemperatur ausgelegt werden. In Neubauten sollte daher die Vorlauftemperatur im Auslegungspunkt nicht

über 35 °C liegen. Beim Heizungsersatz durch eine Wärmepumpe sollte die tatsächlich auftretende Vorlauftemperatur des bestehenden Wärmeabgabesystems im Auslegepunkt (Massivbau, Mittelland, –8 °C) nicht über 50 °C liegen. Bei Vorlauftemperaturen über 50 °C sind zusätzliche Abklärungen notwendig.

Hinweis:

Eine um 5 °C tiefere Vorlauftemperatur bringt eine Verbesserung der JAZ in der Grössenordnung von 10%.

Nebst den technischen Voraussetzungen für den Einbau einer Wärmepumpe ist der elektrische Anschluss, der Platzbedarf und die Möglichkeit der Nutzung einer Wärmequelle abzuklären.

Auswahl der Wärmequelle

Ausser bei der Aussenluft bedarf die Nutzung sämtlicher natürlichen Wärmequellen einer Bewilligung durch das zuständige kantonale Amt (in der Regel *Amt für Energie- und Wasserwirtschaft*).

- Erdregister benötigen grosse Flächen (30 – 60 m²/kW_{th} Heizleistung)
- Erdwärmesonden (ca. 15 m/kW_{th}) können 100 – 300 m gebohrt werden
- Bei Grundwasser sind 150 – 200 Liter/h/kW_{th} erforderlich
- Oberflächenwasser werden pro kW_{th} 300 – 400 Liter/h benötigt

Für die Auswahl der Wärmepumpe und der Wärmequellenanlage sind die Herstellerangaben, die Merkblätter von AWP [4], FWS [5] und VDI [6], sowie die RAVEL Planungsunterlagen *Wärmepumpen-Planung, Bau und Betrieb von Elektrowärmepumpen-Anlagen* [7] und *Standardschaltungen* [8] zu konsultieren.

8. Weitere Hinweise

Die konsequente Dämmung der Wärmeverteilungen, unter Beachtung der kantonalen Vorschriften, ergibt eine zusätzliche Leistungsreserve.

Bei der Installation der Wärmepumpe sollte zugleich ein Passstück eingebaut werden, damit die Nachrüstung eines Wärmezählers mit geringem Aufwand möglich ist.

Mit dem Einbau eines separaten Elektrozählers und eines Wärmezählers lässt sich die Jahresarbeitszahl (Effizienz der Anlage) auf einfache Weise überprüfen.

Zum Thema Dimensionierung von Wärmeerzeugern sind weitere Merkblätter erhältlich [9].

9. Literatur

- [1] Weiersmüller R.: *Abbau der Energieverschwendung*. Anpassung der Kesselleistung mit der Bemessungsscheibe, Schweiz. Ingenieur und Architekt, 27–28/1980
- [2] *Dimensionieren und Auswählen von Heizkesseln*
Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1988.
Bezugsquelle: Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern
Bestell. Nr. 724.617 d, Fax 031 322 39 75
- [3] Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein:
 - Empfehlung 380/1 *Energie im Hochbau*, 1988
 - Norm 384/1 *Zentralheizungen*, 1991
 - Empfehlung 384/2 *Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden*, 1982Bezugsquelle: Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, Postfach, 8039 Zürich, Tel. 01 283 15 60
- [4] AWP Normen und Merkblätter
Bezugsquelle: AWP-Sekretariat, Postfach 7190, 8023 Zürich, Fax 01 271 92 92
- [5] FWS Wärmepumpen-Merkblätter und Checklisten
Bezugsquelle: Informationsstelle Wärmepumpen, Steinerstrasse 37, Postfach 298, 3000 Bern 16, Fax 031 352 42 06
- [6] VDI Richtlinie 4640: *Thermische Nutzung des Untergrundes*
Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH, D-10772 Berlin
- [7] Ravel Heft 3: *Planung, Bau und Betrieb von Elektrowärmepumpen-Anlagen*
Bezugsquelle: Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern
Bestell. Nr. 724.356 d, Fax 031 322 39 75
- [8] Ravel Heft 5: *Standardschaltungen für Wärmepumpen*
Bezugsquelle: Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern.
Bestell. Nr. 724.359 d, Fax 031 322 39 75
- [9] Bundesamt für Energie, Bern
Merkblätter:
 - Dimensionierung von Öl- und Gas-Heizkesseln*
Bestell. Nr. 805.161 d
 - Dimensionierung von Holz-Zentralheizungen*
Bestell. Nr. 805.161.2 d
 - Dimensionierung von Sonnenkollektoranlagen*
Bestell. Nr. 805.161.3 dBezugsquelle: Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern
Fax 031 322 39 75