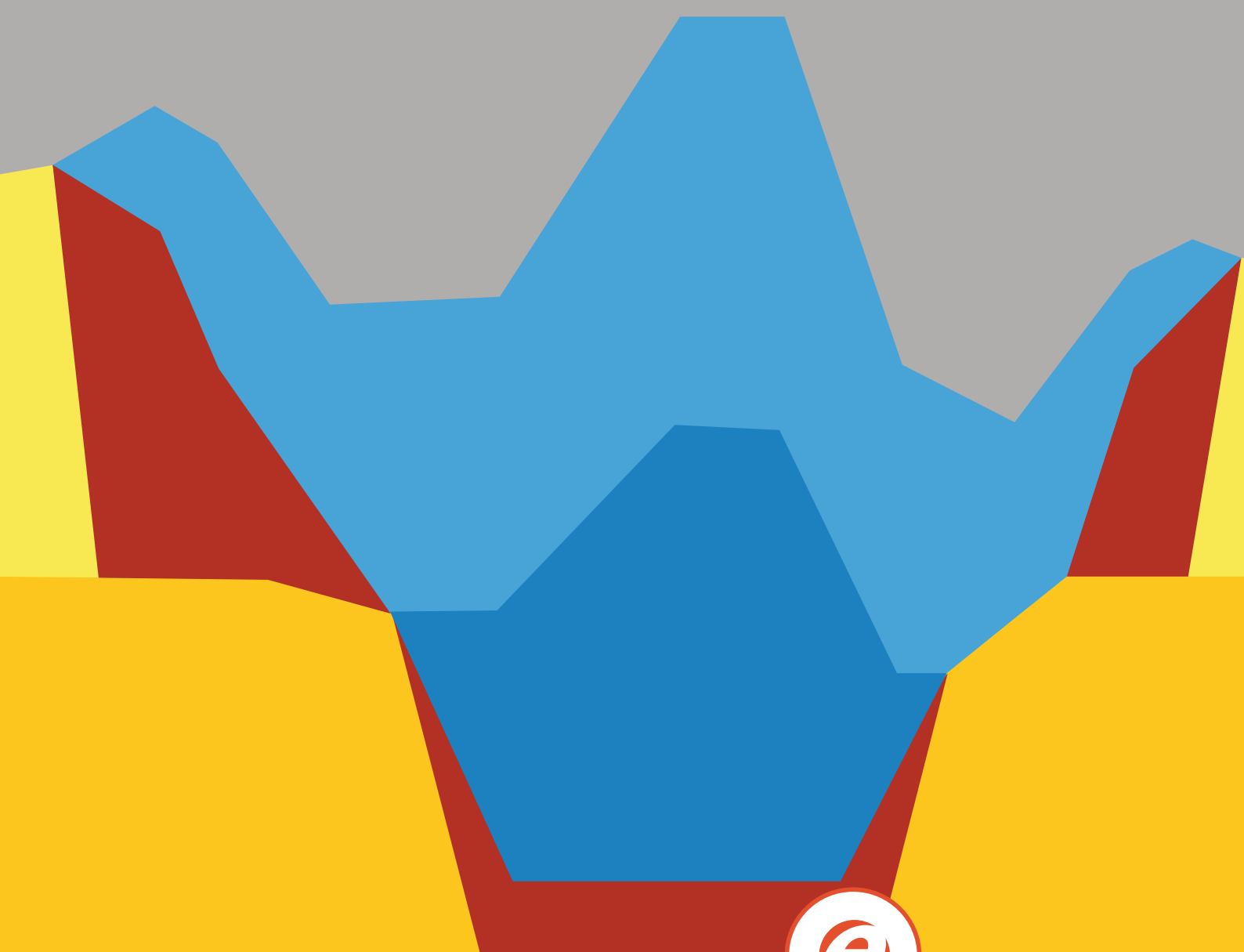


WÄRMEPUMPEN

PLANUNG | OPTIMIERUNG
| BETRIEB | WARTUNG



Mit Unterstützung von



**VSEI
USIE**



sia

schweizerischer ingenieur- und architektenverein
société suisse des ingénieurs et des architectes
società svizzera degli ingegneri e degli architetti
swiss society of engineers and architects



brenet

Building and Renewable Energies Network of Technology
Nationales Kompetenznetzwerk Gebäudetechnik und Erneuerbare Energien
Réseau national de compétence technique du bâtiment et des énergies renouvelables
Rete nazionale di competenza tecnica per gli edifici e



IMPRESSUM

Herausgeber: Bundesamt für Energie,
Dienst Aus- und Weiterbildung

Autoren: Ralf Dott (Gesamtkoordination), Andreas Genkinger,
Rita Kobler, Prof. Dr. Zoran Alimpic, Peter Hubacher,
Prof. Dr. Thomas Afjei

Basierend auf Ausgabe 2008

Lektorat: Othmar Humm, Faktor Verlag

Seitenherstellung: Christine Sidler, Faktor Verlag

Die Inhalte dieser Schrift sind auf der Website von
EnergieSchweiz ungekürzt verfügbar. www.energieschweiz.ch

Autorisierter Separatdruck des Faktor Verlags

5. vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage

Zürich 2018, ISBN: 978-3-905711-41-7

INHALTSVERZEICHNIS

1. GRUNDLAGEN	5	8. PROJEKTIERUNG	69
1.1. Kreisprozess	5	8.1. Gütesiegel FWS/EHPA	69
1.2. Systemgrenzen und Kennzahlen	8	8.2. Wärmepumpen-System-Modul	69
1.3. Normen	10	8.3. WPesti	70
2. KOMPONENTEN DER WÄRMEPUMPE	13	8.4. Projektierungshilfen	70
2.1. Verdichter	13	8.5. Elektrizitätsversorgung	70
2.2. Wärmeübertrager	15	8.6. Heizzentrale	71
2.3. Drosselorgan	16	8.7. Wirtschaftlichkeit	72
2.4. Sicherheitseinrichtungen	17	8.8. Erfolgskontrolle	73
2.5. Weitere Komponenten	18	9. INBETRIEBSETZUNG	75
2.6. Abtaueinrichtungen	19	9.1. Phase vor der Inbetriebsetzung	76
2.7. Bauarten von Wärmepumpen	19	9.2. Vorbereitung der Inbetriebsetzung	76
2.8. Alternative Prozesse	20	9.3. Wärmequelle und Wärmeabgabe	77
3. KÄLTEMITTEL	21	9.4. Inbetriebsetzung der Wärmepumpe	77
3.1. Eigenschaften	21	9.5. Inbetriebsetzungsprotokoll	77
3.2. Wahl des Kältemittels	22	9.6. Bedienungsanleitung	77
3.3. Treibhauseffekt und TEWI-Kennwert	24	9.7. Abnahmeprotokoll	78
3.4. Gesetzliche Rahmenbedingungen und Entwicklungen	24	9.8. Anlagendokumentation	80
4. WÄRMEQUELLEN	27	10. BETRIEB	81
4.1. Aussenluft	27	10.1. Betrieb und Erfolgskontrolle	81
4.2. Erdwärme	28	10.2. Betriebsüberwachung	81
4.3. Grundwasser	34	10.3. Instandhaltung	81
4.4. Abwärme	39	10.4. Betriebsoptimierung	82
4.5. Gebäudekühlung	40	10.5. Störungen und Störungsbehebung	85
5. WÄRMEABGABE	43	11. FALLBEISPIELE	87
5.1. Warmwasserheizung	44	11.1. Kleinanlagen	87
5.2. Raumlufttechnische Anlagen	47	11.2. Komplexere Anlagen	92
5.3. Trinkwarmwasser	47	12. ANHANG	99
5.4. Andere Systeme	50	12.1. Autoren	99
6. EINBINDUNG DER WÄRMEPUMPE IN DIE HAUSTECHNIK	53		
6.1. Grundsatz	53		
6.2. Betriebsarten	54		
6.3. Hydraulik	56		
6.4. Umwälzpumpen	61		
7. AKUSTIK UND SCHALLSCHUTZ	63		
7.1. Gesetzliche Grenzwerte	63		
7.2. Schallminderung	64		

EINE SCHLÜSSELTECHNOLOGIE

In den letzten Jahren haben Wärmepumpen zur Beheizung und Kühlung von Häusern sowie zur Wassererwärmung enorm an Akzeptanz gewonnen. Neue Bauten werden überwiegend mit diesen umweltfreundlichen Wärmeerzeugern ausgerüstet und bei bestehenden Häusern geht der Trend in die gleiche Richtung. Die grossen Potenziale von Abwärme, Umweltwärme und untiefer Erdwärme bieten ideale Voraussetzungen für den Einsatz von Wärmepumpen.

Doch die grosse Verbreitung bildet keine Garantie für den optimalen Einsatz dieser Schlüsseltechnologie. Umso wichtiger ist die fachgerechte Planung und Installation sowie ein bedarfsgerechter Betrieb von Wärmepumpen. In erster Linie sind die besseren Häuser zu erwähnen: Gut gedämmte Bauten mit Bodenheizungen eignen sich besonders gut für den Einsatz von Wärmepumpen. Diese Wärmeabgabe ermöglicht tiefere Vorlauftemperaturen – ein wichtiges Kriterium für eine hohe Effizienz. Doch auch für Gebäude mit Heizkörpern sind Wärmepumpen zuverlässige Wärmeerzeuger. Mit der sorgfältigen Planung ist, neben der haustechnischen Einbindung der Wärmeerzeugung, das Teillastverhalten im Winter- und im Sommerfall zu berücksichtigen, der Modus der Wassererwärmung zu definieren sowie die Effizienz der Wärmepumpe zu prüfen.

Basis von guten Lösungen bildet in der Regel eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der an der Planung und der Ausführung Beteiligten, insbesondere von Architekten, Technikern und Installationsfachleuten. Für Investoren, Hauseigentümerschaften und Verwaltungen von Liegenschaften bietet diese Teamarbeit die besten Argumente für das umweltfreundliche Heizen. Die an sich schon Ressourcen schonende Wirkungsweise der Wärmepumpe lässt sich toppen. Durch Verwendung von Strom aus erneuerbaren Quellen oder von zertifiziertem Ökostrom wird die Wärmepumpe dem Anspruch einer nachhaltigen Energieversorgung vollends gerecht.

Mit der überarbeiteten, deutlich erweiterten Schrift «Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung» steht der Branche das bewährte Standardwerk in aktueller Fassung zur Verfügung. Damit lässt sich Funktionsweise, Einsatzmöglichkeiten und Eigenschaften dieser umweltfreundlichen Wärmeerzeuger einem breiten Fachpublikum vermitteln.

Das Bundesamt für Energie als Herausgeber dankt allen Beteiligten.

Bundesamt für Energie, Dienst Aus- und Weiterbildung, Christoph Blaser

1. GRUNDLAGEN

1.1. KREISPROZESS

Das derzeit hauptsächlich angewendete Verfahren in der Wärmepumpentechnik ist das Kaldampf-Kompressionsverfahren. Ein Kältemittel verdampft dabei auf der kalten Seite unter Aufnahme von Verdampfungswärme (\dot{Q}_{KM}). Durch Verdichtung wird es auf der warmen Seite unter Abgabe der Kondensationswärme (\dot{Q}_{WP}) wieder verflüssigt. In einem Drosselorgan wird es anschliessend erneut auf den Verdampfungsdruck entspannt. Bei allen nach diesem Prinzip arbeitenden Anlagen wird die Abhängigkeit der Verdampfungs- respektive Verflüssigungstemperatur vom Druck des Kältemittels ausgenutzt. Vereinfacht kann eine solche Anlage wie in Abbildung 1.1 dargestellt werden. Arbeit und Wärme sind Prozessgrössen. Sie stellen mögliche Formen der Energie beim Transport über die Systemgrenzen dar. Energie E , Arbeit W und Wärme Q haben als Einheit Joule (J).

Innere Energie u : Die spezifische innere Energie stellt als kalorische Zustandsgrösse den Energievorrat eines thermodynamischen Systems dar (kJ/kg).

Enthalpie h : Die spezifische Enthalpie, als kalorische Zustandsgrösse, ist durch $h = u + p \cdot V$ definiert.

Exergie: Energie umfasst Exergie und Anergie. Exergie ist der Teil von Energie, der sich in einer vorgegebenen Umgebung in jede Energieform umwandeln lässt (z. B. Elektrizität für den Verdichter).

Anergie: Anergie ist der Teil von Energie, der sich in einer vorgegebenen Umgebung nicht in jede Energieform umwandeln lässt (z. B. Umgebungswärme als Wärmequelle).

Leistung P oder \dot{Q} ist der Quotient aus verrichteter Arbeit oder umgesetzter Wärme je Zeiteinheit, gemessen in Watt (W).

Entropie s : Die Entropie ist ein Mass für die Irreversibilität und damit für die Energieentwertung in einem Prozess.

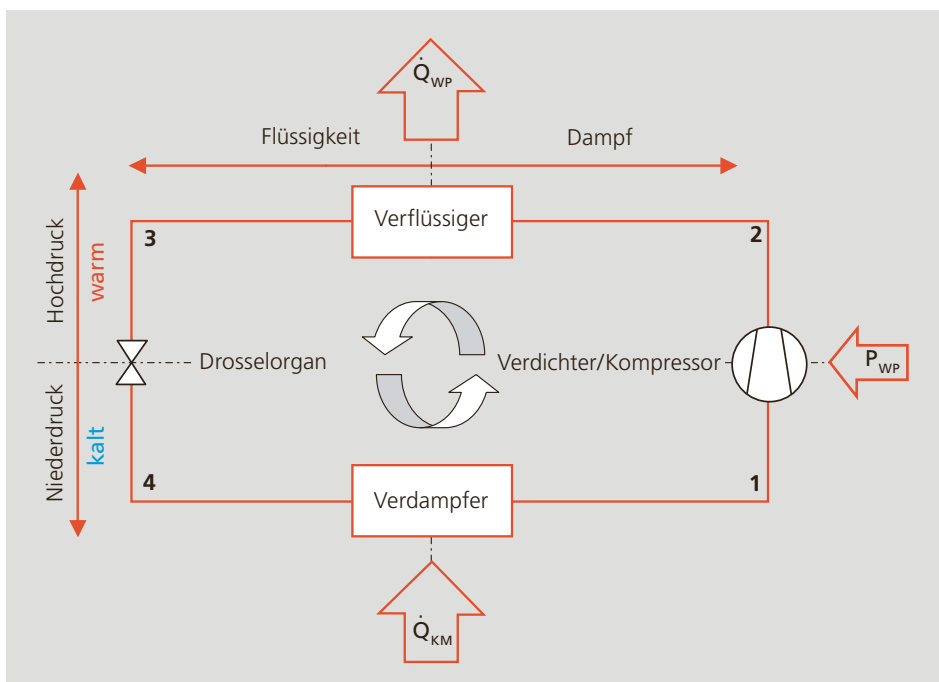


Abbildung 1.1:
Prinzip des Kaldampf-Kompressionsverfahrens.

CARNOT-KREISPROZESS

Der ideale Prozess (Carnot'scher Vergleichsprozess) beschreibt den verlustfreien idealen Kreisprozess. Für den Carnot-Prozess erhält man die Carnot'sche Leistungszahl $\epsilon_{C,WP}$ für den Heizfall (Wärmepumpe, Nutzen: Wärme) wie folgt:

$$\epsilon_{C,WP} = \frac{\dot{Q}_{WP}}{P} = \frac{T_C}{T_C - T_0}$$

Der Kühlfall (Kältemaschine, Nutzen: Kälte) ist stets ineffizienter, weil hier die Verdichterswärme nicht genutzt werden kann:

$$\epsilon_{C,KM} = \frac{\dot{Q}_{KM}}{P} = \frac{T_0}{T_C - T_0} = \epsilon_{C,WP} - 1$$

- \dot{Q}_{WP} Wärmeleistung in kW
- \dot{Q}_{KM} Kälteleistung in kW
- P zugeführte Leistung in kW
- T_0 Verdampfungstemperatur in K
- T_C Kondensationstemperatur in K

$\epsilon_{C,WP}$ ($\epsilon_{C,KM}$) ist eine physikalische Limite, reale Wärmepumpen (Kältemaschinen) können diesen Wert nie erreichen. Das Verhältnis zwischen der wirklichen Leistungszahl und der Carnot'schen Leistungszahl wird als Gütegrad η (exergetisch) bezeichnet:

$$\eta_{WP} = \frac{\epsilon_{WP}}{\epsilon_{C,WP}} \text{ resp. } \eta_{KM} = \frac{\epsilon_{KM}}{\epsilon_{C,KM}}$$

Der Gütegrad liegt typischerweise im Bereich von 0,4 bis 0,6.

LOG-p-h-DIAGRAMM

Ein Log-p-h-Diagramm stellt den Kreisprozess anschaulich dar und zeigt den Bezug zu den Zustandsgrößen des Kältemittels. Die Zustände des Kältemittels können beispielsweise der Dampftafel des entsprechenden Mittels entnommen werden. Den Verlauf der Zustandsgrößen bei speziellen Prozessen zeigt Abbildung 1.2. Abbildung 1.3 zeigt den verlustfreien Kreisprozess einer Wärmepumpe im Log-p-h-Diagramm, einen realen (verlustbehafteten) Prozess stellt Abbildung 1.4 dar.

Der Kreisprozess (blaue Linie) in Abbildung 1.3 respektive Abbildung 1.4 erfolgt grundsätzlich in vier Phasen:

- 1–2: Verdichtung (Kompression)
- 2–3: Verflüssigung (Kondensation)
- 3–4: Expansion
- 4–1: Verdampfung

$$\epsilon_{WP} = \frac{\dot{Q}_{WP}}{P} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

- \dot{Q}_{WP} Wärmeleistung in kW
- P zugeführte Leistung in kW
- h_1 Enthalpie des Kältemittels am Verdichter-Eintritt in kJ/kg
- h_2 Enthalpie des Kältemittels am Verdichter-Austritt in kJ/kg
- h_3 Enthalpie des Kältemittels am Verflüssiger-Austritt in kJ/kg

Abbildung 1.2: Verlauf der physikalischen Zustandsgrößen im Log-p-h-Diagramm.

Legende:
 log p: Druck in bar, logarithmischer Massstab
 s: spezifische Entropie in kWh/K/kg
 h: spezifische Enthalpie kWh/kg
 v: spezifisches Volumen in m³/kg
 t: Temperatur in °C
 x: Dampffanteil in %

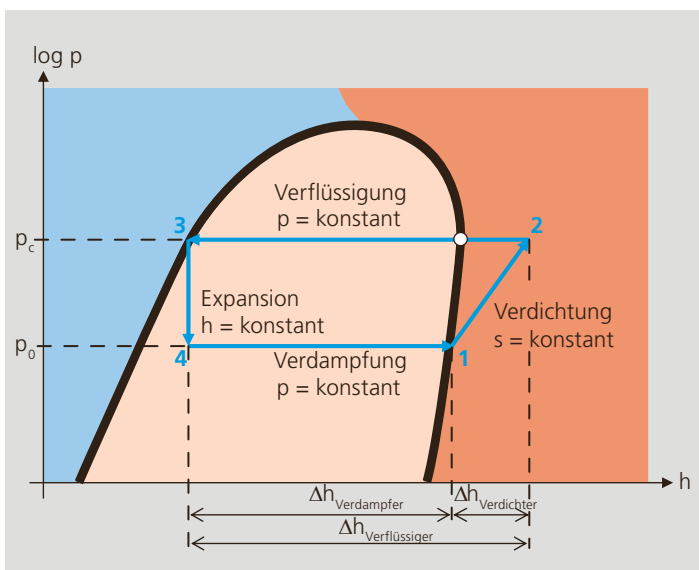
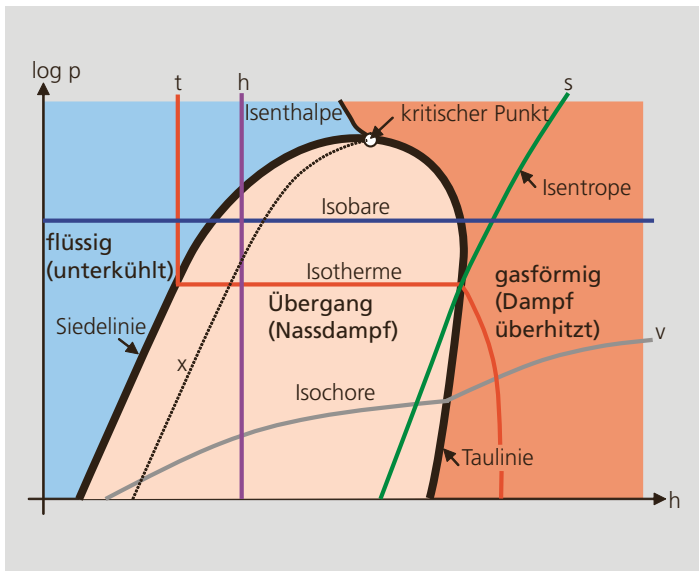


Abbildung 1.3: Der verlustfreie Kreisprozess im Log-p-h-Diagramm.

In Abbildung 1.4 des realen Prozesses sind einige Punkte bemerkenswert:

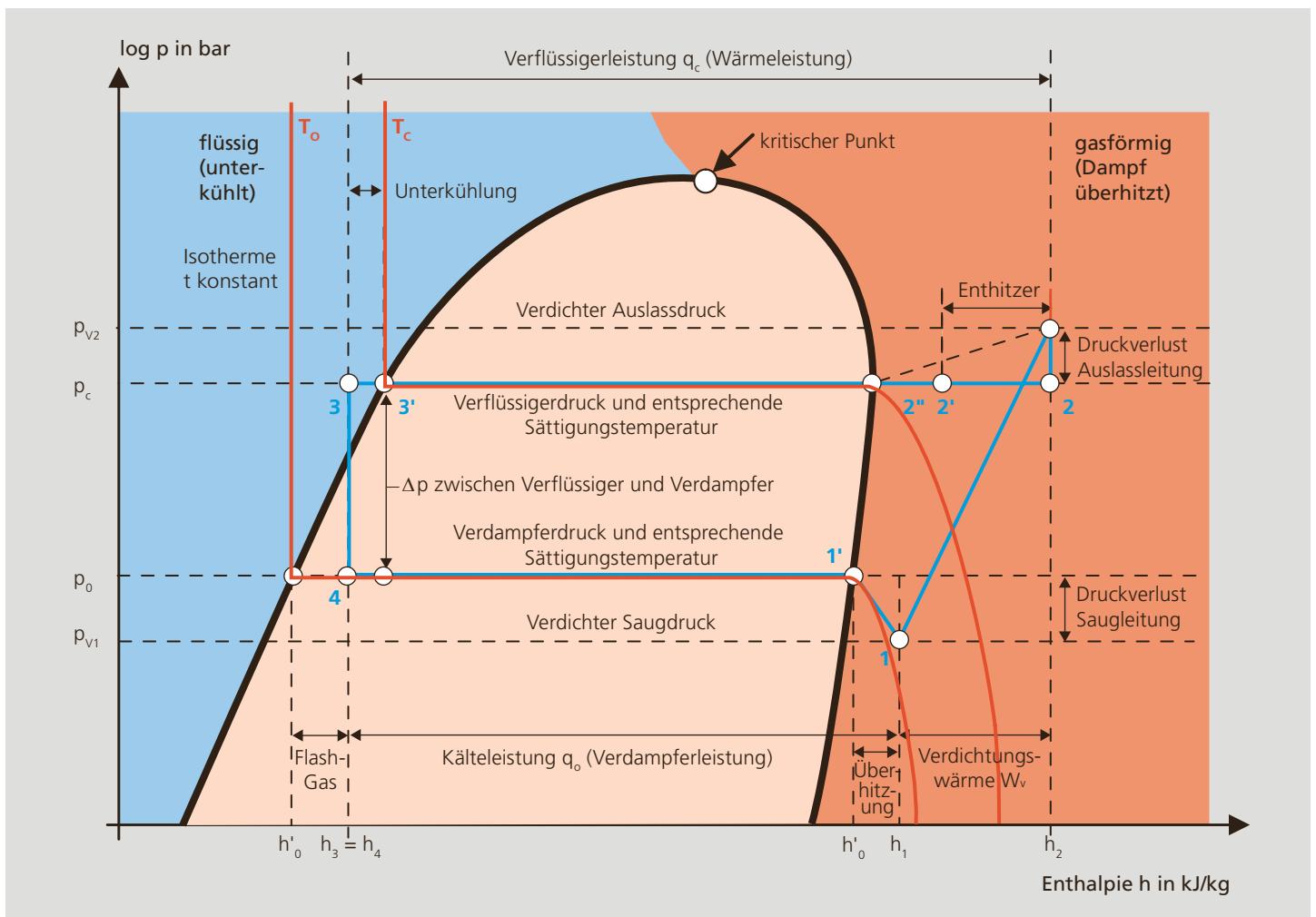
- Um zu verhindern, dass Kältemitteltröpfchen in den Verdichter gelangen und diesen beschädigen, ist eine Überhitzung des Sauggases bei gewissen Verdichtertypen notwendig (Punkte 1'-1).
- Ein Teil der Wärme kann auf einem höheren Temperaturniveau, also über der Verflüssigertemperatur, mittels einem sogenannten Heissgas-Enthitzer entnommen werden (Punkte 2-2').

Beispiel: Eine Wärmepumpe wird auf der Verflüssigerseite mit 45 °C betrieben. Es ist jedoch je nach Kältemittel und Laststufe möglich, ca. 5 % bis 15 % dieser Heizleistung mittels Enthitzer auf einem Temperaturniveau über 60 °C zu entnehmen. Damit kann das Brauchwarmwasser nachgewärmt werden.

Hinweis: Das Verfahren kommt nur bei grösseren Wärmepumpen zur Anwendung.

Die Temperaturverhältnisse der externen Medien (z. B. Heizwasser) bei einer Wärmepumpe zeigt Abbildung 1.5. Die mittleren Mediumtemperaturen am Verflüssiger/Verdampfer sind stets tiefer/höher als diejenigen des Kältemittels (T_c/T_o). Diese Temperaturdifferenzen (Grädigkeiten) sind abhängig von der Bauart der Wärmeübertrager und dem externen Medium. Speziell gekennzeichnet sind die Eintrittstemperatur am Verdampfer und die Austrittstemperatur am Verflüssiger: Diese Temperaturen werden in Datenblättern zusammen mit den Leistungskennzahlen an diesem Betriebspunkt angegeben.

Abbildung 1.4: Das Log-p-h-Diagramm für den realen Kreisprozess eines Kältemittels.



1.2. SYSTEMGRENZEN UND KENNZAHLEN

Die im Alltag gebräuchlichsten Effizienz-kennzahlen von Wärmepumpenanlagen sind der COP und die Jahresarbeitszahl. Der COP ist nach EN 14511 klar definiert, nämlich das Verhältnis von Leistungsabgabe zu Leistungsaufnahme in einem festen Betriebspunkt. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) entspricht eindeutig dem Nutzungsgrad (d. h. Verhältnis von Energieabgabe zu Energieverbrauch über ein Jahr), sie wird in der Praxis aber mit oft unklaren Systemgrenzen verwendet. Je nach Betrachtungsraum ergeben sich aber stark unterschiedliche Zahlen. Die in Abbildung 1.7 angegebenen, differenzier-

teren Begriffe haben sich bewährt. Unterschieden werden sollte zudem stets, ob sich die Werte auf den Heizbetrieb, den Warmwasserbetrieb oder den kombinierten Heiz-/ Warmwasserbetrieb beziehen. Gegebenenfalls (z. B. Schwimmbadbeheizung) sind auch weitere Verbraucher zu berücksichtigen.

JAHRESZEITBEDINGTE LEISTUNGSZAHL (SCOP) UND RAUMHEIZUNGSENERGIEEFFIZIENZ (η_s)

Mit der Einführung von Ökodesign-Anforderungen und der Energieetikette für Heizgeräte erlangte die Definition der sogenannten «Jahreszeitbedingten Leistungsanzahl» SCOP gemäss Norm EN 14825 eine wesentliche

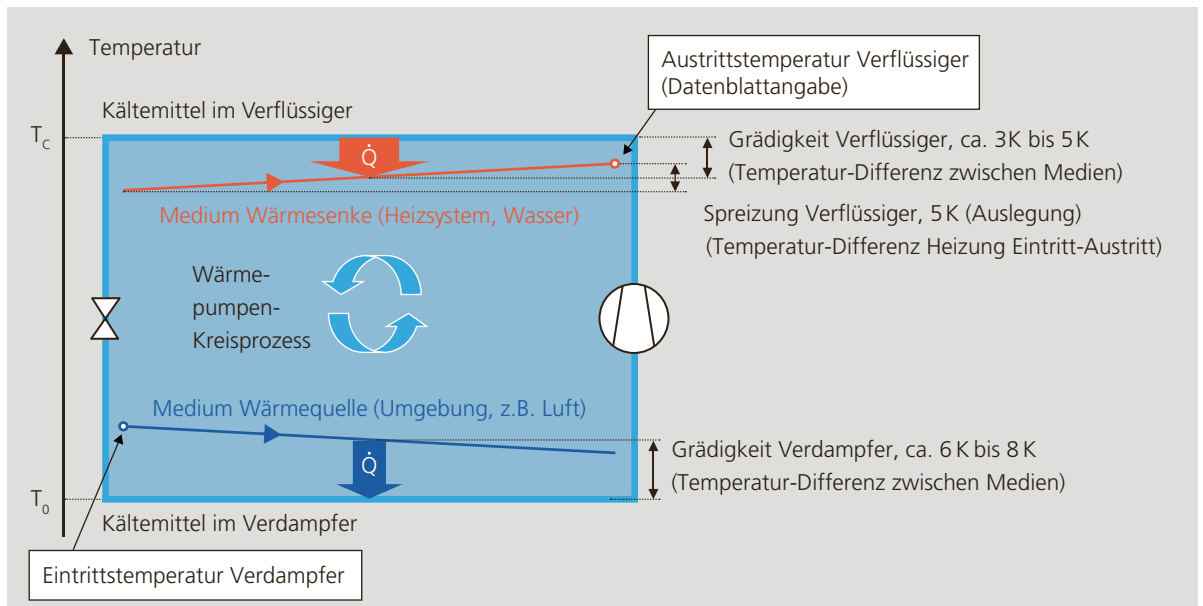


Abbildung 1.5: Temperaturen und Energieflüsse in einer Wärmepumpe (Quelle: FHNW IEBau).

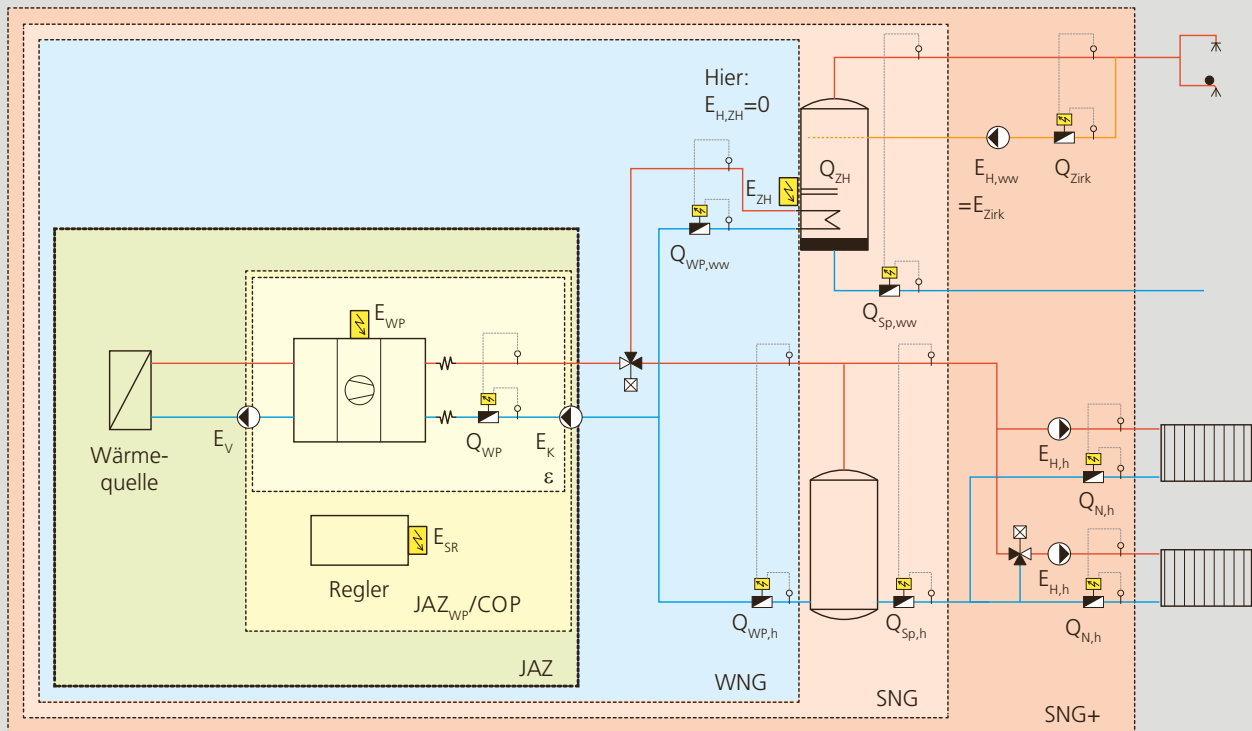
Leistungen (Momentanwerte oder Mittelwerte über kurze Zeitdauer)

- \dot{Q}_{WP} Heizleistung der Wärmepumpe
- P_{WP} Verdichter-Leistungsaufnahme der Wärmepumpe
- (P_V) Leistungsanteil zur Überwindung des Verdampferdruckabfalls
- (P_K) Leistungsanteil zur Überwindung des Kondensatordruckabfalls
- P_{SR} Leistungsaufnahme der Steuerung und Regelung innerhalb der Wärmepumpe
- P_A mittlere Leistungsaufnahme der Abtaueinrichtung

Energien (Jahreswerte)

- $Q_{WP} = Q_{WP,h} + Q_{WP,ww}$ von der Wärmepumpe produzierte Wärme
- Q_{ZH} von der Zusatzheizung produzierte Wärme
- $Q_{SP} = Q_{sp,h} + Q_{sp,ww}$ von den Speichern abgegebene Nutzwärme
- $Q_N = Q_{N,h} + Q_{N,ww}$ beim Nutzer verfügbare Wärme
- E_{WP} Verdichter-Energieverbrauch der Wärmepumpe
- (E_V) Energieverbrauch der Verdampferpumpe/Ventilator (Anteil WP-intern)
- (E_K) Energieverbrauch der Kondensatorpumpe (Anteil WP-intern)
- E_V Energieverbrauch der Verdampferpumpe/Ventilator (insgesamt)
- E_K Energieverbrauch der Kondensatorpumpe (insgesamt)
- E_{SR} Energieverbrauch der Steuerung und Regelung
- E_A Energieverbrauch der Abtaueinrichtung
- E_C Energieverbrauch der Carterheizung
- E_{ZH} Energieverbrauch der Zusatzheizung
- $E_{H,ZH}$ Hilfsenergieverbrauch der Zusatzheizung (z.B. Umwälzpumpen)
- $E_{H,h}$ Hilfsenergieverbrauch Wärmeverteilung Heizung (z.B. Umwälzpumpen)
- $E_{H,ww}$ Hilfsenergieverbrauch Wärmeverteilung Warmwasser (z.B. Zirkulation)

Abbildung 1.6: Symbolerläuterungen zu Abbildung 1.7 auf Seite 9.



Leistungs- bezogen	Leistungszahl (ϵ)	Coefficient of Performance (COP)
	$\epsilon = \frac{\dot{Q}_{WP}}{P_{WP}}$	$COP = \frac{\dot{Q}_{WP}}{P_{WP} + (P_V) + (P_K) + P_{SR} + P_A}$
Energiebezogen	Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe (JAZ_{WP})	
	$JAZ_{WP} = \frac{Q_{WP}}{E_{WP} + (E_V) + (E_K) + E_{SR} + E_A + E_C}$	
	Jahresarbeitszahl (JAZ)	
	$JAZ = \frac{Q_{WP}}{E_{WP} + E_V + (E_K) + E_{SR} + E_A + E_C}$	
	Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG)	
$WNG = \frac{Q_{WP} + [Q_{ZH}]}{E_{WP} + E_V + E_K + E_{SR} + E_A + E_C + [E_{ZH} + E_{H,ZH}]}$		
[...] : inkl. Zusatzheizung		
Systemnutzungsgrad (SNG)		
$SNG = \frac{Q_{Sp}}{E_{WP} + E_V + E_K + E_{SR} + E_A + E_C + E_{ZH} + E_{H,ZH}}$		
Systemnutzungsgrad Plus (SNG+)		
$SNG+ = \frac{Q_N}{E_{WP} + E_V + E_K + E_{SR} + E_A + E_C + E_{ZH} + E_{H,ZH} + E_{H,h} + E_{H,ww}}$		

Abbildung 1.7: Systemgrenzen und Kennzahlen in Wärmepumpenanlagen.

Bedeutung. Nebst gesetzlichen Anforderungen basieren mittlerweile auch diverse Qualitätslabel darauf. Der SCOP beschreibt die Effizienz eines Heizgerätes für eine bestimmte, fest vorgegebene theoretische Last (festgelegt als Heizkurve). Bewertet wird das Gerät nicht nur in einem bestimmten Betriebspunkt (COP). Vielmehr repräsentiert der «saisonale» COP (SCOP) eine Effizienz welche alle im Jahresverlauf vorkommenden (Teillast-)Betriebspunkte berücksichtigt und diese gewichtet. Als klimatische Grundlage dazu dient das Klima von Strassburg (F), welches ungefähr mit der Situation im schweizerischen Mittelland übereinstimmt. Alternativ kommen zwei weitere Klimasituationen («kälter»/Helsinki sowie «wärmer»/Athen) zur Anwendung. Anhand der oben festgelegten Systemgrenzen entspricht der SCOP am ehesten dem Wärmerezeugernutzungsgrad.

Auf dem SCOP basierend definiert die EN 14825 eine Primärenergieeffizienz η_s , welche einen Umwandlungsfaktor respektive Primärenergiefaktor für Strom von 2,5 annimmt (Stand 2018). Bei der Umrechnung vom SCOP zu η_s werden noch kleinere Korrekturen für Regelung und Umwälzpumpen berücksichtigt. Sowohl für den Warmwasser- als auch den Kühlbetrieb lassen sich vergleichbare Kennwerte festlegen. Auf eine weitere Ausführung wird hier verzichtet, Tabelle 1.1 fasst die Begriffe aber zusammen.

1.3. NORMEN

Produkteprüfungen und Anlagenprojektierungen basieren grösstenteils auf Normen, welche entweder weltweit (ISO), europäisch (EN) oder national (in Schweiz: SN respektive SIA) den aktuellen Stand der Technik repräsentieren. Normen liegen auch oft Qualitätsauszeichnungen und gesetzlichen Anforderungen zugrunde. Häufig genannte Normen im Wärmepumpenbereich sind in Tabelle 1.2 zusammengestellt.

Hinweis: Nebst den genannten Prüf- und Planungsnormen sind insbesondere auch Richtlinien und Merkblätter zur Gerätesicherheit zu beachten, u. a.

- Druckgeräterichtlinie (2014/68/EU, früher 97/23/EG)
- Maschinenrichtlinie (Richtlinie 2006/42/EG)
- Richtlinien der Eidgenössischen Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS): EKAS 1825 (Brennbare Flüssigkeiten), EKAS 6507 (Ammoniak), EKAS 6516 (Druckgeräte)
- ATEX, Explosionsschutz-Richtlinien
- SUVA Merkblatt 2153 «Explosionsschutz»

GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Bei der Planung, Installation und Inbetriebnahme von Wärmepumpenanlagen sind stets gesetzliche Anforderungen einzuhalten. Diese sind teilweise national, kantonal oder auf Gemeindeebene geregelt. Tabelle 1.3 gibt einen Überblick ohne Anspruch auf

Kennzahl	Beschreibung	Beschreibung	Festlegung
Heizbetrieb / Warmwasserbetrieb			
COP	Coefficient of Performance	Effizienz an bestimmtem Betriebspunkt	EN 14511 / EN 16417
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance	Saisonale Effizienz unter Berücksichtigung der ändernden Betriebsbedingungen	EN 14825 / EN 16147
η_s / η_{wh}	Primärenergieeffizienz	Primärenergieeffizienz, basierend auf SCOP	EN 14825 / EN 16417
Kühlbetrieb			
EER	Energy Efficiency Ratio	Analogon zum COP für den Kühlfall	EN 14511
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio	Analogon zum SCOP für den Kühlfall	EN 14825
ESEER	European Seasonal Energy Efficiency Ratio	Vergleichbar SEER, aber andere Lastverteilung und ohne Standby-Verluste. Kein Ecodesign-Begriff.	Eurovent / SIA 382/1

Tabelle 1.1: Effizienz-Bezeichnungen im Rahmen der Ecodesign-Anforderungen an Heiz-, Warmwasser- und Kühlgeräte.

Norm	Beschreibung	Anwendung
Prüfnormen		
SN EN 14511	Grundlegende Prüfnorm für Wärmepumpen	Qualitätslabels, Datenblattangaben
SN EN 14825	Prüfnorm für Wärmepumpen. Legt die Verfahren zur Berechnung von SCOP und SEER fest.	Energieetikette, Qualitätslabels, Datenblattangaben, Marktzulassung
SN EN 16147	Prüfnorm für Warmwasser-Wärmepumpen	Energieetikette, Qualitätslabels, Datenblattangaben, Marktzulassung
Planungsnormen		
SIA 181	Schallschutz im Hochbau	Grundlage für den Schallschutz bei Wärmepumpenanlagen
SN EN 378	Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen	Einsatz von Kältemitteln
SIA 382/1	Anforderungen an Kältemaschinen	–
SIA 384/1	Grundlagen von Heizungsanlagen. Beinhaltet auch Wärmepumpen.	Berechnung der Wärmeerzeugerleistung
SIA 384/3	Verfahren zur Bestimmung des Endenergiebedarfs von Heizungsanlagen. Beinhaltet auch Wärmepumpen.	Vereinfachte Abschätzung (Typologietool) und detaillierteres Rechenprogramme (WPesti)
SIA 384/6	Erdwärmesonden	Grundlage zu Planung, Ausführung und Betrieb von Erdwärmesonden.
SIA 384/7	Grundwasserwärmenutzung	Ergänzung zur Norm SIA 384/6
SIA 384.201	Berechnung der Norm-Heizlast von Räumen und Gebäuden	Zusammen mit SIA 384/1 Grundlage zur Dimensionierung der Wärmeerzeugerleistung.
SIA 385/2	Auslegung von Anlagen für Trinkwarmwasser	Zusammen mit SIA 384/1 Grundlage zur Dimensionierung der Wärmeerzeugerleistung.
SIA MB 2048	Energetische Betriebsoptimierung	–

Tabelle 1.2: Ausgewählte wichtige Normen im Zusammenhang mit Wärmepumpen. Relevant ist die jeweils aktuell gültige Fassung.

Grundlage	Inhalt	Bemerkung
Energieverordnung (EnV), Seit 2018: Energieeffizienzverordnung (EnEV)	Marktzulassung und Informationspflicht für das Inverkehrbringen von Wärmepumpen	Umfasst Deklarationspflicht von Produktdaten und Pflicht zur «Energieetikettierung»
Lärmschutzverordnung (LSV)	Anforderungen an Aussenlärmimissionen	–
Musterverordnung der Kantone im Energiebereich (MuKE)	Anforderungen an den Einsatz von Wärmepumpen, insbesondere zu zulässigen Vorlauftemperaturen Heizsystem, Dimensionierung (el. Heizeinsatz)	Die MuKE ist eine Vorlage, welche kantonal umgesetzt wird.
Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)	Umgang und Einsatz von Kältemitteln	u.a. Meldepflicht für Anlagen mit mehr als 3 kg in der Luft stabilen Kältemitteln
Gewässerschutz-Gesetz (GSchG), Gewässerschutzverordnung (GSchV)	z. B. für die Nutzung von Grundwasser oder Erdwärme	Kantonal geregelt
Baubewilligungsverfahren	z. B. für die Nutzung von Grundwasser oder Erdwärme	Kommunal/kantonal
Brandschutzrichtlinie (VFK 24-15)	Brandschutzanforderungen an wärmetechnische Anlagen	Kantonal

Tabelle 1.3: Ausgewählte Gesetze, Verordnungen und Richtlinien für Wärmepumpenanlagen.

Vollständigkeit. Ansprechpartner sind in jedem Fall die lokalen Behörden (Gemeinde und Kanton).

ECODESIGN UND ENERGIEETIKETTE

Seit 2015 bestehen in der Europäischen Union Anforderungen an die «umweltgerechte Gestaltung» von Heizgeräten. Gleichzeitig wurde die Pflicht zur Energieetikettierung dieser Gerätschaften mit einer Wärmeleistung bis 70 kW eingeführt. Die Schweiz hat diese ein Jahr später in der Energieverordnung (seit 2018 Energieeffizienzverordnung, EnEV) weitgehend übernommen. Beide Anforderungen basieren auf der Primärenergieeffizienz η_s . Mit der Energieetikette wurde zudem ein Instrument geschaffen, das den Vergleich verschiedener Technologien untereinander ermöglichen soll. So werden Kessel, WKK-Anlagen, direktelektrische Heizungen und Wärmepumpen mit ein und derselben Etikette bewertet (Abbildung 1.8). Die Wärmepumpen werden allerdings noch etwas feiner in «Wärmepumpen» (Auslegungs-Vorlauftemperatur 55 °C) und «Niedertemperatur-Wärmepumpen» (Aus-

legungs-Vorlauftemperatur 35 °C) unterteilt – an letztere werden wegen der physikalisch bedingten besseren Effizienz auch höhere energetische Anforderungen gestellt. Sie befinden sich aber stets in den höchsten Effizienzklassen. Die Bewertung ist aber stets an eine definierte Last gebunden, festgelegt in Form einer Heizkurve in einem durchschnittlichen Klima (Strasbourg/F; ungefähr vergleichbar mit dem Schweizer Mittelland). Die Energieetikette bewertet dadurch bewusst lediglich ein Gerät, nicht dessen effektive Nutzung respektive Einbindung in das Gesamtsystem.

Hinweis: Wie für alle Wärmeerzeuger müssen Inverkehrsbringer von Wärmepumpen mit einer Heizleistung bis 70 kW eine Energieetikette bereitstellen. Diese bewertet aber einzig das Gerät unter ganz bestimmten Rahmenbedingungen. Als alleiniges Auswahlkriterium ist die Energieetikette daher nur bedingt geeignet. Eine A++ bewertete Luft-Wasser-Wärmepumpe kann unter Umständen (z. B. Alpenraum) weniger geeignet sein, als ein A+ bewertetes Sole-Wasser-Gerät.

Tabelle 1.4: Klasseneinteilung und energetische Minimalanforderungen für Wärmepumpen (SCOP für Luft-Wasser-Geräte, Stand 2018) (Quelle: FHNW IE Bau).

	Auslegungs-Vorlauf-temperatur 55 °C		Auslegungs-Vorlauf-temperatur 35 °C	
	SCOP	η_s	SCOP	η_s
A+++	3.83	150%	4.45	175%
A++	3.20	125%	3.83	150%
A+	2.53	98%	3.15	123%
Anforderung Ecodesign	2.83	110%	3.20	125%

Abbildung 1.8: Klasseneinteilung und minimale Anforderungen an die Primärenergieeffizienz η_s von Heizwärmeerzeugern. Für Niedertemperaturwärmepumpen («WP 35 °C») wurde eine separate Klasseneinteilung geschaffen (Quelle: FHNW IE Bau, Andreas Genkinger).

Klasse	η_s für Klasse	Brenner			WKK	Elektrisch	WP		Klasse
		(B1) $\leq 10/30$ kW*	≤ 70 kW	70–400 kW			55 °C	35 °C	
A+++	$\geq 150\%$							$\geq 175\%$	A+++
A++	$\geq 125\%$							$\geq 150\%$	A++
A+	$\geq 98\%$							$\geq 123\%$	A+
A	$\geq 90\%$			P = 30%				$\geq 115\%$	A
B	$\geq 82\%$							$\geq 107\%$	B
C	$\geq 75\%$							$\geq 100\%$	C
D	$\geq 36\%$							$\geq 61\%$	D
E	$\geq 34\%$							$\geq 59\%$	E
F	$\geq 30\%$							$\geq 55\%$	F
G	$< 30\%$							$< 55\%$	G

*Typ B1 Boiler ≤ 10 kW / Typ B11 Kombiboiler ≤ 30 kW

Mindestanforderung seit 26.9.2017

2. KOMPONENTEN DER WÄRMEPUMPE

Die vier Hauptkomponenten, ohne die kein herkömmlicher Kaldampf-Kreisprozess (Verdichtungskältesystem) funktioniert, sind:

- Verdichter (Kompressor)
- Verflüssiger (Kondensator)
- Drosselorgan (Expansionsventil)
- Verdampfer

2.1. VERDICHTER

Der Verdichter (Kompressor) komprimiert das aus dem Verdampfer angesaugte Kältemittelgas auf den Druck, der zur Verflüssigung des Kältemittels notwendig ist. Es sind die unterschiedlichsten Verdichterkonstruktionen erhältlich, wobei je nach Anwendungsbereich und Nutzungsart jede Bauart Vor- und Nachteile aufweist.

BAUARTEN

Tabelle 2.1 beschränkt sich auf Verdichter, die in der Wärmepumpenbranche häufig eingesetzt werden. Nicht erwähnt sind unter anderem Flügelzellen-, Rollkolben- und Drehkolbenverdichter. Turbo-Verdichter sind im Markt auch unter der Bezeichnung «Turbocor» bekannt. Diese ölfreien, magnetisch gelagerten Turbocor-Verdichter kommen ab einer Heizleistung von etwa 320 kW

zum Einsatz, erreichen eine maximale Vorlauftemperatur von 48 °C (bei Volllast) und haben unter Teillast (10 % bis 70 %) sehr hohe Wirkungsgrade. Durch die Kombination mit einer Dralldrossel im Ansaug passt sich der Turbocor optimal an die unterschiedlichen Lastzustände an. Weitere Vorteile des Turbocors sind: geringer Anlaufstrom, vollständig integrierte Steuerelektronik mit integriertem Frequenzumformer (FU), geringes Gewicht, niedriger Schalleistungspegel, keine mechanischen Verschleissteile und somit eine höhere Betriebssicherheit durch Minimierung der beweglichen Bauteile.

BAUFORMEN

Je nach Anwendung und unter Berücksichtigung der Kosten unterscheidet man folgende drei Verdichterbauformen.

Offene Verdichter: Motor und Verdichter sind verschiedene Baugruppen. Die Antriebswelle des Verdichters wird gasdicht aus dem Gehäuse geführt, wo sie direkt gekuppelt oder über einen Keilriemen mit dem Antriebsmotor verbunden ist. Nebst Elektromotoren sind auch Verbrennungsmotoren für den Antrieb möglich.

Tabelle 2.1:
Bauarten von Verdichtern.

Verdichterbauart	Hubkolben	Spiralkolben (Scroll)	Schraube	Turbo
Arbeitsprinzip	Verdränger	Verdränger	Verdränger	Strömungsmaschine
Verdichtung	statisch	statisch	statisch	dynamisch
Hubvolumen	geometrisch	geometrisch	geometrisch	abhängig vom Gegendruck
Förderung	pulsierend	stetig	stetig	stetig
Volumenstrom (Bereich)	bis 1000 m ³ /h	bis 500 m ³ /h	100 bis 10 000 m ³ /h	250 bis 50 000 m ³ /h
Heizleistung (Bereich bei B0/W35)	bis 800 kW	bis 400 kW	80 bis 8000 kW	100 bis 40 000 kW
Druckverhältnis im Regelfall (einstufig)	bis 10	bis 10	bis 30	bis 5
Regelbarkeit bei konstanter Drehzahl	Stufen	schwierig	stufenlos	stufenlos
Drehzahlregelung	möglich	möglich	möglich	möglich
Empfindlichkeit gegen Flüssigkeitsschläge verursacht Erschütterungen	hoch	gering	gering	gering
	ja	nein	nein	nein

Abbildung 2.1:
Offener Hubkolben-
verdichter (Industrieausführung)
(Bild: Grasso).



Abbildung 2.2:
Halbhermetischer
Hubkolbenverdichter (Bild: Bitzer).

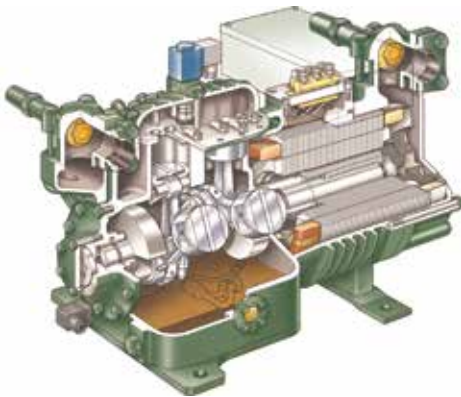


Abbildung 2.3:
Halbhermetischer
Schraubenverdichter
(Bild: Bitzer).

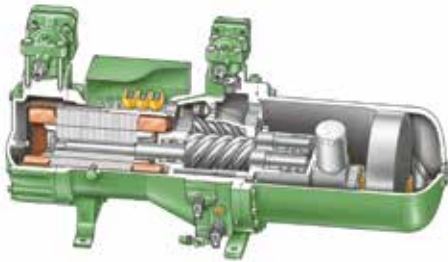


Abbildung 2.4:
Hermetischer
Spiralkolben-
verdichter (Scroll)
(Bild: Copeland).



Hermetische Verdichter: Motor und Verdichter bilden eine Einheit. Im Gegensatz zur halbhermetischen Ausführung sind hermetische Verdichter in einem vollverschweißten Gehäuse montiert. Die Motorkühlung erfolgt in der Regel über das angesaugte Kältemittelgas (Sauggaskühlung). Bei einem Defekt muss der komplette Verdichter ersetzt werden.

Halbhermetische Verdichter: Motor und Verdichter bilden eine Einheit. Die Antriebswelle ist komplett im Gehäuse mit dem Motor verbunden. Die Kühlung des Elektromotors erfolgt entweder durch das angesaugte Kältemittelgas (Sauggaskühlung) oder über das Gehäuse mit Luft oder Wasser. Zur Verminderung von Reibung und Verschleiß sowie zur Abdichtung von Leckagen im Verdichtungsraum werden Verdichter meist mit Öl geschmiert. Das Kältemittel vermischt sich dabei mit dem Öl, insbesondere in Stillstandszeiten des Verdichters kann es sich erheblich darin anreichern. Beim erneuten Verdichterstart schäumt das Öl-Kältemittel-Gemisch dann auf. Um dies zu verhindern kann das Ölvorratgefäß erwärmt werden, wodurch sich das darin gelöste Kältemittel genügend verflüchtigt (Carter-, Kurbelgehäuse- oder Ölsumpfheizung).

Ölfreie Verdichter: Mit ölfreien Verdichtern sind solche Verdichter gemeint, die dank spezieller Konstruktion und Herstellung ohne Ölschmierung auskommen. Der wesentliche Vorteil dieser Verdichter liegt darin, dass kein Öl im Kältekreislauf mitzirkuliert und somit die Problematik der Ölrückführung aus dem System entfällt. Dies ergibt vor allem bei überfluteten Verdampfern und bei Verbundsystemen (mehrere Verdichter je Kältekreislauf) wesentliche Vorteile.



Abbildung 2.5:
Halbhermetischer
Turboverdichter, öl-
frei (Bild: Turbocor).

2.2. WÄRMEÜBERTRAGER

VERDAMPFER

Im Verdampfer wird der Umgebung (Luft, Wasser, Sole etc.) Wärme entzogen. Das Kältemittel nimmt diese Wärme auf und verdampft. Die Wärme wird vom Medium (Wärmequelle) an das Kältemittel übertragen. Es ist grundsätzlich zwischen trockener und überfluteter Verdampfung zu unterscheiden, wobei es auch Kombinationen der beiden Varianten gibt.

Trockene Verdampfung: Das Kältemittel wird über ein Expansionsventil dem Verdampfer zugeführt. Die Kältemittelmenge wird anhand der Differenz zwischen der Gas- und Sättigungstemperatur (Sauggasüberhitzung) geregelt. Am Verdampferaustritt ist das Kältemittelgas überhitzt und somit «trocken».

Überflutete Verdampfung: Das Kältemittel wird über eine Hoch- oder Niederdruck-Schwimmerregulierung in den Verdampfer geführt. Die Kältemittelmenge wird anhand des Flüssigkeitsspiegels auf der Hoch- oder Niederdruckseite geregelt. Am Verdampferaustritt ist das Kältemittelgas kaum überhitzt und somit «nass». In den meisten Fällen ist deshalb ein Flüssigkeitsabscheider vorzusehen, der den Verdichter vor Flüssigkeitsschlägen schützt. Der wesentliche Vorteil der überfluteten Verdampfer liegt darin, dass keine minimalen Temperaturdifferenzen zwischen Kältemittel- und Mediumseite notwendig sind, d. h. die Verdampfungstemperatur kann höher ausgelegt werden respektive steigt im Teil-

lastbereich stärker an. Die Folge ist ein besserer Wirkungsgrad des Gesamtsystems.

VERFLÜSSIGER

Im Verflüssiger (Kondensator) wird unter Wärmeabgabe an Anlagen zur Wärmenutzung (Senke) das vom Verdichter kommende Kältemittelgas enthitzt, verflüssigt und unterkühlt. Die Wärmeabgabe kann auch über mehrere Wärmeübertrager und damit auf unterschiedlichen Temperaturniveaus erfolgen. Diese Anwendung mit Enthitzer, Verflüssiger und Unterkühler wird aus betriebswirtschaftlichen Gründen bei grösseren Anlagen sowie bei Systemen mit grossen Temperaturunterschieden zwischen Medium-eintritt und -austritt interessant, z. B. Fernwärmeversorgung, Wassererwärmung und industrielle Anwendungen.

BAUARTEN

Plattenwärmeübertrager: kompakte Konstruktion in gelöteter, geschweisster oder gedichteter Ausführung zur Wärmeübertragung von flüssigen und – in Spezialanwendungen – gasförmigen Medien. Plattenapparate haben den Vorteil von kleinen Inhalten, grossen Übertragungsflächen auf kleinstem Raum und einer hohen Modularität in der Herstellung. Sie sind für trockene und überflutete Verdampfung geeignet. Bei Wärmepumpen bis ca. 200 kW kommt vorwiegend diese Bauart zum Einsatz.

Rohrbündelwärmeübertrager sind die klassische Konstruktion aus Rohrregister und Kesselmantel zur Wärmeübertragung von flüssigen und vereinzelt auch gasförmigen

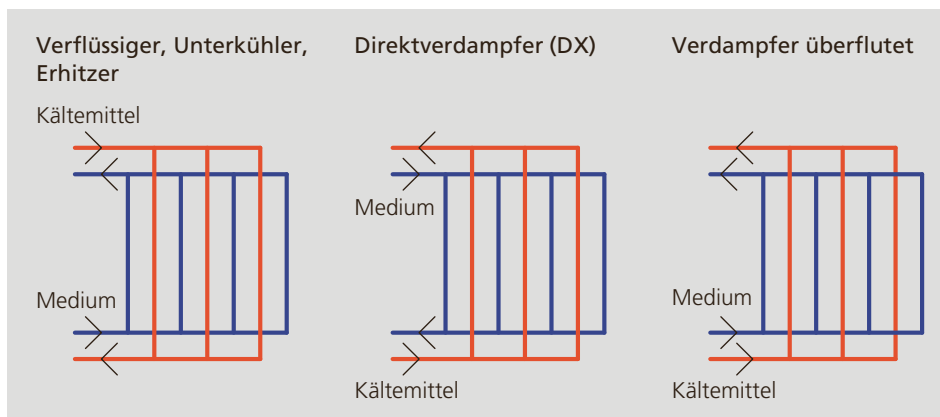


Abbildung 2.6:
Schema Platten-
wärmeübertrager.

Medien. Rohrbündelapparate zeichnen sich durch eine hohe Materialvielfalt, eine geringere Schmutz- und Frostanfälligkeit sowie ein träges Regelverhalten aus. Sie sind für trockene und überflutete Verdampfung geeignet, wobei bei der überfluteten Variante eine mehrfach grössere Kältemittelmenge benötigt wird.



Abbildung 2.7:
Plattenwärmeübertrager (Bild: BMS).



Abbildung 2.8:
Rohrbündelwärmeübertrager (Bild: Bitzer).



Abbildung 2.9
Koaxialwärmeübertrager (Bild: Wieland).

Bei **Koaxialwärmeübertragern** erfolgt die Wärmeübertragung in einem wendelförmig gebogenen Doppelrohr, meist aus Kupfer oder Edelstahl gefertigt. Einsatz mehrheitlich bei kleinsten Anlagen oder aus konstruktionstechnischen Gründen.

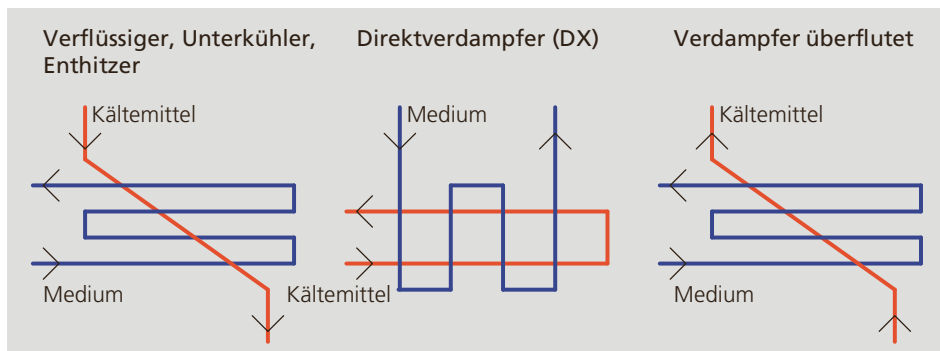
Registerwärmeübertrager bestehen aus Rohrschlangen oder Plattenpaketen in verschiedenen Materialqualitäten, die in offenen und geschlossenen Behältern sowie in festen Umgebungen eingebaut werden. Einsatz vor allem bei stark verschmutzten Medien, wie z. B. Abwasser und im Erdreich.

Lamellenwärmeübertrager bestehen in der Hauptsache aus einzelnen oder mehreren parallelen Rohren mit aufgedrückten Lamellen. Sie sind zur Wärmeübertragung von gasförmigen Medien (z. B. Luft) geeignet. Es sind verschiedene Materialkombinationen und Schaltungen möglich. Speziell zu beachten ist ein für den Betrieb optimaler Lamellenabstand, da Verschmutzung, Vereisung etc. zu deutlichen Leistungseinbußen führen können. Beim Einsatz unter ca. 5 °C Lufttemperatur setzt der Wärmetauscher Reif und Eis an, deren Abtauung den effizienten Betrieb stark beeinträchtigt (siehe Kapitel 2.6).

2.3. DROSSELORGAN

Das Drosselorgan entspannt (expandiert) das verflüssigte Kältemittel von der Hochdruck- zur Niederdruckseite des Kältekreislaufs. Weiter regelt das Drosselorgan den Kältemittelfluss zum Verdampfer. Ein korrekt ausgelegtes Drosselorgan, insbesondere ein elektronisches Expansionsventil, hat grossen Einfluss auf die Effizienz eines Wärmepumpen-Prozesses.

Abbildung 2.10:
Schema Rohrbündelwärmeübertrager.



BAUARTEN

Expansionsventile regeln den Kältemittelfluss zum Verdampfer anhand der Sauggasüberhitzung am Verdampferaustritt und werden ausschliesslich in Systemen mit trockener Verdampfung eingesetzt. Es sind **thermostatische** Expansionsventile mit innerem und äusserem Druckausgleich sowie **elektronische** Expansionsventile zu unterscheiden. Wesentlicher Vorteil der elektronischen Variante ist die geringere Sauggasüberhitzung und der grössere Leistungsbereich eines Ventils. Dies bringt Vorteile bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen und im Teillastverhalten.

Hochdruckschwimmerregler leiten den Kältemittelfluss in Abhängigkeit des Flüssigkeitsniveaus auf der Hochdruckseite des Schwimmerreglers dem Verdampfer zu. Die Hochdruckschwimmerregler müssen nicht einreguliert werden und funktionieren im gesamten Leistungsbereich der Anlage sehr stabil.

Niederdruckschwimmerregler arbeiten ähnlich wie ihre Verwandten auf der Hochdruckseite. Der Kältemittelfluss wird jedoch in Abhängigkeit des Flüssigkeitsniveaus im Verdampfer geregelt. Elektronische Varianten von Schwimmerregulierungen sind ebenfalls verfügbar.



Abbildung 2.11:
Registerwärmeübertrager (Plattenpaket)
(Bild: Omega).

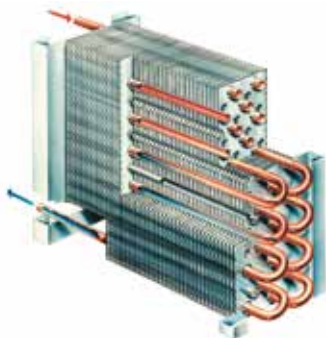


Abbildung 2.12:
Lammellenwärmeübertrager (Batterie ohne Ventilator, Gehäuse, etc.)
(Bild: Günter).

2.4. SICHERHEITSEINRICHTUNGEN

Damit Apparate, Komponenten, Leitungen und Betriebsstoffe des Kältemittelkreislaufs nicht unzulässigen Belastungen ausgesetzt werden, sind Sicherheitseinrichtungen notwendig. Die Art und Form der Absicherung gibt der Gesetzgeber vor, bezogen auf Anlagengrösse, Kältemittel und Standort.

Nachfolgend eine Auswahl der häufigsten Sicherheitsgeräte und Sicherheitsarmaturen:

Sicherheitsdruckbegrenzer respektive **Hochdruckpressostat** (Abschaltung bei steigendem Druck) zum Schutz des Verdichters und aller Komponenten auf der Hochdruckseite. Dieser Apparat muss ab einer bestimmten Verdichter- respektive Anlagengrösse zwingend mechanisch arbeiten und direkt den Strom zum Hauptschutz des Verdichters unterbrechen.

Niederdruck: Abschaltung bei sinkendem Druck zum Schutz des Verdichters und aller Komponenten auf der Niederdruckseite.

Öldifferenzdruck: Abschaltung bei sinkendem Differenzdruck zur Überwachung der Verdichterschmierung.

Druckgasüberhitzung: Abschaltung bei steigender Temperatur zur Überwachung der Heissgastemperatur.



Abbildung 2.13:
Thermostatisches Expansionsventil
(Bild: Danfoss).

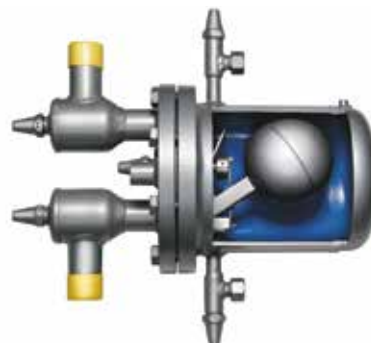


Abbildung 2.14:
Hochdruckschwimmerregler
(Bild: TH-Witt).

Frostschutz: Abschaltung bei sinkender Temperatur zum Schutz des Verdampfers vor dem Einfrieren.

Strömung: Abschaltung bei sinkender Sekundärströmung zum Schutz des Verdampfers vor Verschmutzung respektive Vereisung und des Verflüssigers und Enthitzers vor Überhitzung.

Wicklungsschutz, Klixon, Wärmepaket und Motorschutz zum Schutz der Elektromotoren (Verdichter, Ventilatoren, Pumpen etc.).

Sicherheitsventile, Berstscheiben, Sollbruchstellen etc. zum Schutz vor zu großen Systemdrücken im Betrieb und Stillstand, z. B. aufgrund von Feuer.

Niveau-, Kältemittelüberwachung etc. zur Überwachung des Kältemittelinhalts (Überfüllung, Leckagen, Verlagerungen etc.).

2.5. WEITERE KOMPONENTEN

Zur Anlagenfunktion notwendige oder zumindest vorteilhafte Einbauten sind unter anderem folgende Komponenten und Apparate:

Filtertrockner zur Aufnahme von Restfeuchte im Kältesystem. Diese Feuchte kann

zur Vereisung des Expansionsventils, zu Veränderungen der Betriebsstoffqualität und zu Wicklungsschäden führen.

Schauglas mit Feuchtigkeitsindikator zur visuellen Kontrolle der Systemfeuchtigkeit und Flashgasbildung (Gasbläschen) als Indiz für Kältemittelmangel, verschmutzten Filtertrockner etc.

Saugfilter zum mechanischen Schutz des Verdichters.

Magnetventil zur automatischen Ab- und Umschaltung respektive Absaugung einzelner Wärmetauscher.

Druckregler zur Druckkonstant-, Druckhoch- und Drucktiefhaltung einzelner Systembereiche.

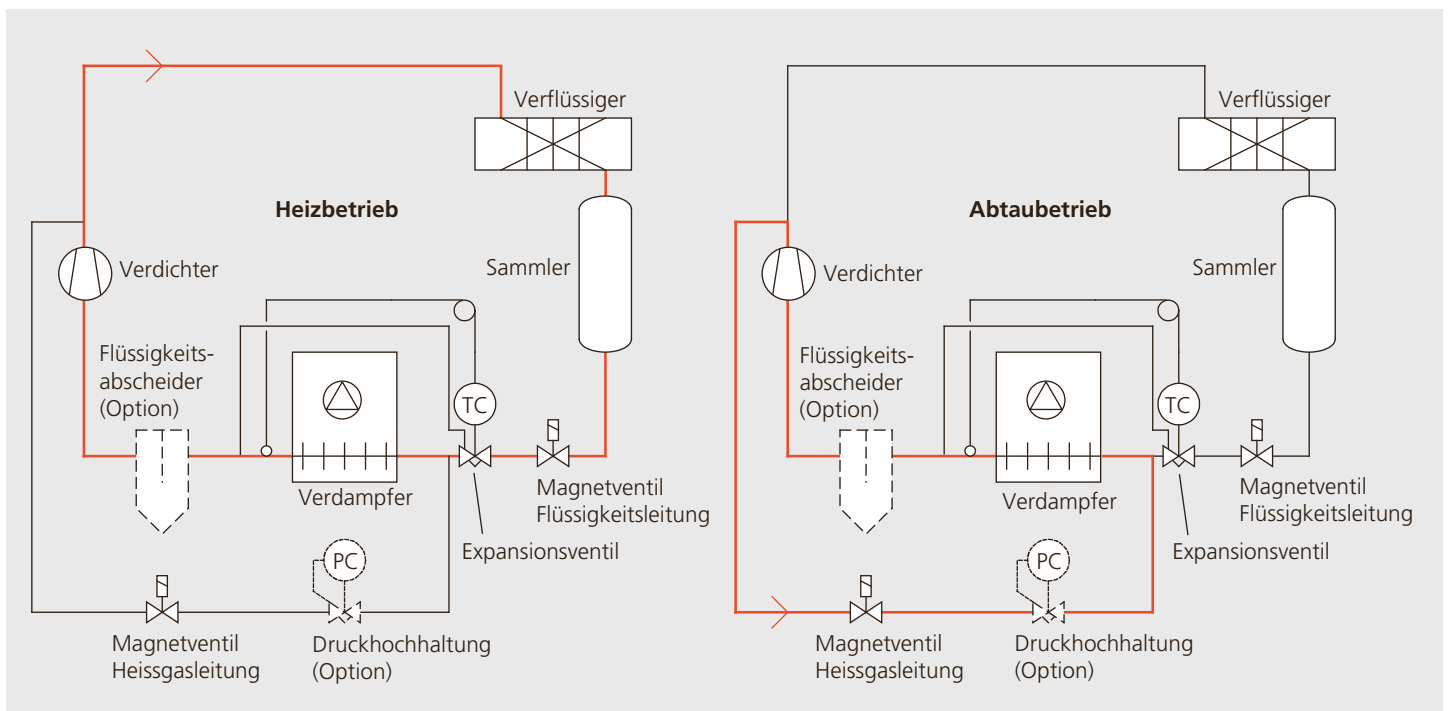
Vibrationsabsorber zur Entkopplung schwingender Anlagenteile, z. B. Verdichter.

Druckgasschalldämpfer (Heissgasmuffler) zur Dämpfung der Gaspulsationen von Kolbenverdichtern.

Kältemittelsammler zur Kältemittelaufnahme bei unterschiedlichen Betriebszuständen oder im Absaugbetrieb.

Ölabscheider zur Verhinderung von grossen Överlagerungen im System und Verölung des Verdampfers. Einsatz bei allen Schraubenverdichtern, Mehrverdichteranlagen und überfluteten Verdampfern.

Abbildung 2.15:
Prinzipschema
Heissgas-Bypass-
Abtaugung.



Absperrventile und Messarmaturen zur einfachen Wartung und Kontrolle der Anlagen (Schraderventile).

Carter- oder Ölsumpfheizung zum Verhindern, dass sich während der Stillstandszeiten Kältemittel im Schmieröl löst.

2.6. ABTAUEINRICHTUNGEN

Lamellenwärmeübertrager – beispielsweise als Verdampfer von Luft-Wasser-Wärmepumpen – können bei tiefen Lufttemperaturen Reif und Eis ansetzen. Die Wärmeübertragung wird dadurch immer schlechter. Die Oberfläche muss deshalb bei Bedarf abgetaut werden. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen haben sich die beiden folgenden Abtausysteme durchgesetzt.

HEISSGAS-BYPASS (ABBILDUNG 2.15)

Während des Abtauvorganges wird der Verflüssiger mit einem Bypassventil umgangen und das Druckgas vom Verdichter direkt dem Verdampfer zugeführt. Wichtig dabei ist, dass der Druck nach dem Verdichter hochgehalten wird. Die Abtauleistung entspricht knapp der durch den Verdichter aufgenommenen elektrischen Leistung.

PROZESSUMKEHR (ABBILDUNG 2.16)

Mittels 4-Weg-Magnetventil respektive Ventilkombinationen wird der Prozess umgekehrt. Der Verflüssiger dient als Verdampfer und der Verdampfer als Verflüssiger. Zu beachten gilt, dass während des Abtauprozesses genügend Energie auf der Wärmenutzungsseite verfügbar ist, da während der Abtauerung Wärme entzogen wird. Die Abtauleistung entspricht ca. dem 2- bis 3-fachen der elektrischen Leistungsaufnahme des Verdichters.

NATURABTAUUNG

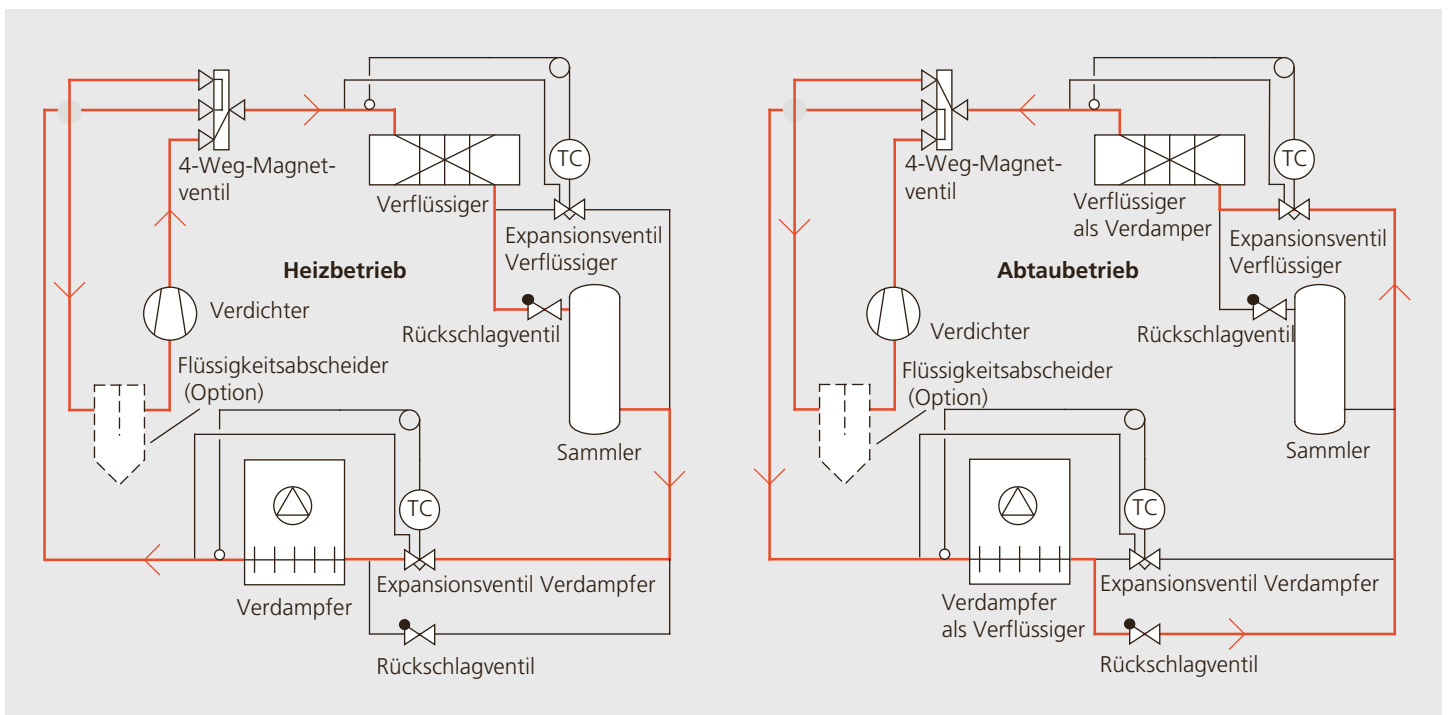
Die Abtauerung mit dem Ventilator alleine ist über ca. 2 °C bis 3 °C die schnellste und effizienteste Möglichkeit für das Abtauen des Verdampfers. Diese Art Abtauerung lässt sich problemlos mit anderen Systemen kombinieren.

2.7. BAUARTEN VON WÄRMEPUMPEN

In der Wärmepumpenbranche wird zwischen folgenden Bauarten unterschieden.

Kompakt: Alle Anlagenteile sind werkseitig oder vor Ort kompakt in einem Gehäuse, in einem Maschinenraum oder auf einem Chassis aufgebaut.

Abbildung 2.16: Prinzipschema Prozessumkehr.



Split: Wesentliche Teile der Wärmepumpe befinden sich ausserhalb der eigentlichen Energiezentrale, z. B. der Verdampfer einer Luft-Wasser-Wärmepumpe befindet sich im Freien und die Verdichter-Verflüssiger-Gruppe im Inneren des Gebäudes.

2.8. ALTERNATIVE PROZESSE

Neben dem Kaltdampf-Kreisprozess (Verdichtungskältesystem) gibt es noch weitere Prozesse, die als Wärmepumpen genutzt werden können, z. B. Absorptionsanlagen, thermoelektrische Kühlung (Peltier-Effekt), Stirling-Kreisprozess, Kaltdampfinjektions- und Kaltgasmaschinen.

Im kommerziellen Bereich der Wärmezeugung hat sich aber nur noch die Absorptionstechnik durchgesetzt. Die Heizzahl dieser Anlagen liegt unter jener der Verdichtungskältesysteme. Dieser Prozess kommt vor allem dort zur Anwendung, wo nutzbare Wärme (Abwärme usw.) möglichst kostenlos und stetig zur Verfügung steht.

3. KÄLTEMITTEL

3.1. EIGENSCHAFTEN

Als Kältemittel wird das Arbeitsmittel einer Kältdampfmaschine bezeichnet. Häufig wendet man diesen Begriff generell auf alle Kältemaschinen oder beliebige Prozesse der Kälterzeugung an, wie z. B. Wärmepumpen. Jedes Kältemittel sollte nach Möglichkeit die folgenden Eigenschaften haben:

- gute thermodynamische Eigenschaften
- hohe volumetrische Kälteleistung (→ kleiner Verdichter. Typische Werte in Abbildung 3.1)
- für Anwendungsbereich geeignetes Druckniveau (→ kritische Temperatur genügend hoch und Erstarrungstemperatur ausreichend tief)
- niedrige Druckverluste bei der Strömung
- chemisch und thermisch stabil
- nicht toxisch
- nicht brennbar, nicht explosiv
- gute Mischbarkeit mit Schmiermitteln
- kein Ozonabbau Potenzial (Ozone depletion potential ODP = 0)
- kein Treibhauspotential (Global warming potential GWP = 0)
- kostengünstig

Es wird zwischen fünf Kältemittel-Gruppen unterschieden (Abbildung 3.2), Eigenschaften der synthetischen Kältemittel sind exemplarisch für die Derivate von Methan/Ethan in Abbildung 3.3 dargestellt:

- FCKW (vollhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe) sind stark Ozonschicht abbauend und klimaaktiv.
- HFCKW (teilhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe) sind Ozonschicht abbauend und klimaaktiv.
- FKW/HFKW (teilhalogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe) sind chlorfrei und damit unschädlich für die Ozonschicht, aber klimaaktiv.
- HFO (Hydro-Fluor-Olefine). Ungesättigte HFKW, d. h. solche mit mindestens einer Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen (C=C). Solche Stoffe werden auch als Olefine bezeichnet. HFO wurden als Alternative zu den stabilen klimaaktiven Substanzen entwickelt, die Doppelbindung macht das Molekül instabil, es zersetzt sich vergleichsweise rasch in der Atmosphäre. Wegen des geringen Treibhauspotenzials auch als Low-GWP-Kältemittel bezeichnet.

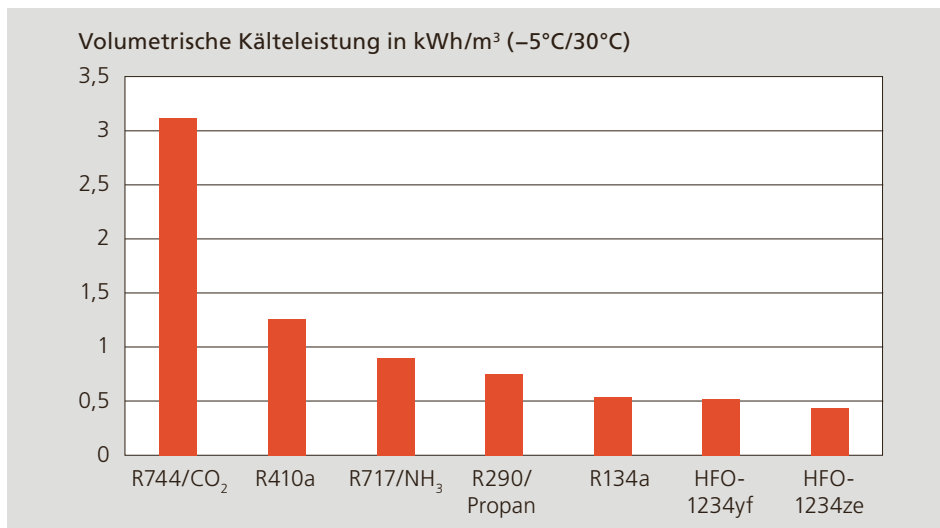


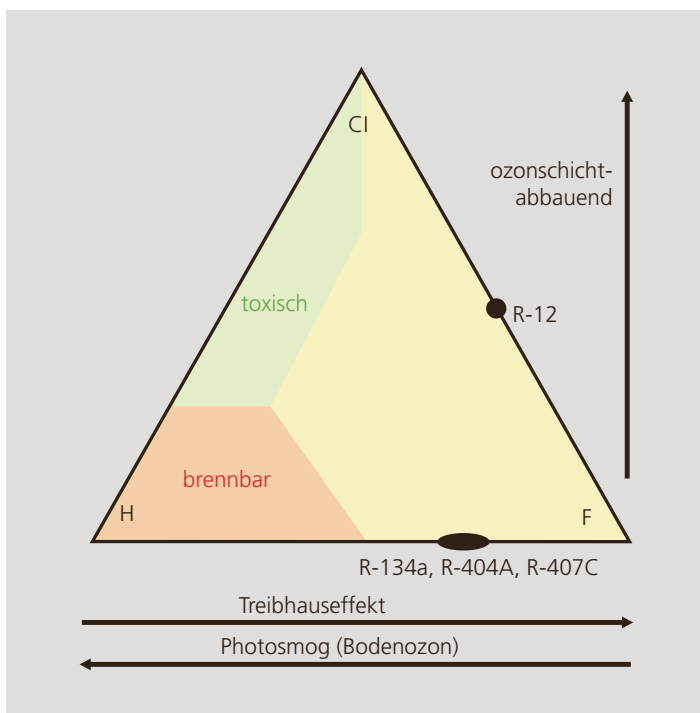
Abbildung 3.1: Volumetrische Kälteleistung in kWh/m³.

Weitere Verbreitung dieser Kältemittelgruppe ist unter anderem wegen der fehlenden Langzeiterfahrung noch offen.

- Natürliche Kältemittel sind weder Ozonschicht abbauend noch klimaaktiv. Teilweise sind die Stoffe jedoch toxisch (Ammoniak), brennbar (Propan) oder erfordern hohe Betriebsdrücke (CO₂). Diesen Nachteilen kann konstruktiv begegnet werden (z. B. Einhausung der Wärmepumpe). Der Einsatz natürlicher Kältemittel ist aus ökologischen Überlegungen anzustreben.

Tabelle 3.1 gibt einen Überblick zu Kältemitteln. Die Benennung beginnt stets mit einem «R» für «Refrigerant».

Abbildung 3.2: Eigenschaften synthetischer Kältemittel (Halogen-Derivate von Methan respektive Ethan).



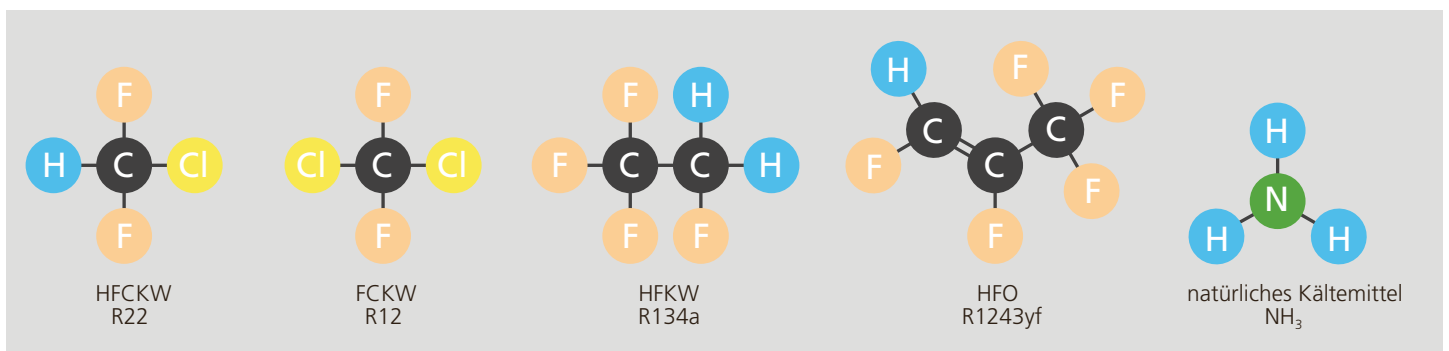
3.2. WAHL DES KÄLTEMITTELS

Aus Sicherheits- und Umweltschutzgründen ist es prinzipiell wichtig, die Kältemittelmengen zu minimieren. Die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Verwendung der verschiedenen Kältemittel sind in der SN EN 378 geregelt. Ozonschicht abbauende Kältemittel (HFCKW und FCKW) sind in Wärmepumpen und Kälteanlagen von Gesetzes wegen nicht mehr zulässig. Wenn Leistung und Effizienz vergleichbar sind, dann sollte ein Kältemittel mit geringem Treibhauspotenzial (GWP) verwendet werden.

Die zulässige Verwendung von Kältemitteln ist in der Chemikalien-Risikoreduktion-Verordnung (ChemRRV) geregelt. Mit deren Umsetzung soll der Einsatz von natürlichen Kältemitteln mit tiefem Treibhauspotenzial gestärkt werden.

In wenigen Sonderfällen kann beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine Ausnahmegenehmigung beantragt werden. Ein Gesuchsformular für Ausnahmegenehmigungen für Kälteanlagen sowie weiterführende Informationen finden sich beim Bundesamt für Umwelt BAFU: www.bafu.admin.ch/chemikalien.

Abbildung 3.3: Chemische Struktur von Kältemitteln (Beispiele). Die Eigenschaften synthetischer Kältemittel hängt insbesondere von den Chlor- (Cl) und Fluoratomen (F) ab (Quelle: Andreas Genkinger, FHNW IEBau).



Rechtlicher Status der Kältemittel gemäss Anhang 2.10 ChemRRV	Kategorie	Kältemittel	GWP	Bemerkungen		
Ozonschicht-abbauende, verbotene Kältemittel	FCKW (chlorhaltig, perhalogeniert)	R11	4750	Verbot für Neuanlagen, Weiterverkauf, Erweiterungen und Umbauten. Bestehende Anlagen dürfen weiter betrieben, aber nicht mehr nachgefüllt werden. Für bestehende Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Meldepflicht (www.smkw.ch), Wartungsheft und Dichtigkeitsprüfung erforderlich.		
		R12	10900			
		R502 (Gemisch)	4657			
		R13B1	7140			
	HFCKW (chlorhaltig, teilweise halogeniert)	Einstoff-Kältemittel	R22		1810	
			Gemische (Blends), überwiegend R22-haltig		R401A (MP39)	1182
R402A (HP80)	2788					
R402B (HP81)	2416					
R408A (FX-10)	3152					
		R409A (FX-56)	1585			
In der Luft stabile Kältemittel, begrenzt anwendbar in neuen Anlagen und Geräten	FKW / HFKW (chlorfrei)	Einstoff-Kältemittel	R23	14800	Neuerstellungen, Erweiterungen und Umbauten von Anlagen mit in der Luft stabilen Kältemitteln über bestimmten Kälteleistungen sind seit 1.12.2013 verboten. Voraussetzung für eine Ausnahmegewilligung: nach dem Stand der Technik sind die Sicherheitsanforderungen gemäss SN EN 378-1, -2 und -3 ohne in der Luft stabile Kältemittel nicht erfüllbar. Für Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Meldepflicht (www.smkw.ch), Wartungsheft und Dichtigkeitsprüfung erforderlich.	
			R32	675		
			R134a	1430		
			R125	3500		
		R143a	4470			
		Gemische (Blends)	R404A	3920		
			R407C	1770		
			R407F	1825		
			R410A	2090		
			R413A	2050		
			R417A	2350		
			R422A	3140		
		R422D	2730			
R437A	1685					
R507A	3980					
Gemische mit HFO (Blends)	R448A	1386				
	R449A	1397				
	R450A	601				
	R513A	631				
Zulässige Kältemittel unter Vorbehalt der Einhaltung der Sicherheitsanforderungen	HFO (teilhalogenierte Fluor-Olefine)	Einstoff-Kältemittel	R1234yf	4	Zulässige Kältemittel. Für Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Wartungsheft erforderlich.	
			R1234ze	7		
	Natürliche Kältemittel	Einstoff-Kältemittel	R170 (Ethan)	6		Natürliche Kältemittel sind für Neuanlagen, Erweiterungen und Umbauten anzustreben. Für Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Wartungsheft erforderlich.
			R290 (Propan)	3		
			R717 (NH ₃)	0		
			R718 (H ₂ O)	0		
			R744 (CO ₂)	1		
			R600a (Isobutan)	3		
			R1270 (Propen)	2		
			Gemische (Blends)	R290/R600a		
R290/R170	3					
R723 (DME/NH ₃)	8					

Tabelle 3.1: Übersicht über die wichtigsten Kältemittel (Liste nicht abschliessend), Stand am 20. Juni 2017. Die zulässige Verwendung ist gemäss Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) geregelt (Quelle: BAFU).

stark eingeschränkt. Die oben genannte schweizerische Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) zielt in dieselbe Richtung. Ozon abbauende Kältemittel sind in der Schweiz seit einigen Jahren komplett verboten, auch zum allfälligen Nachfüllen bei Leckagen.

Für Anlagen ab einer Kältemittel-Füllmenge von 3 kg ist in jedem Fall ein Wartungsheft zu führen. In diesem müssen durch die ausführende Fachperson alle Eingriffe und Wartungen (z. B. Nachfüllen von Kältemittel) vermerkt werden. Kommen ozonschichtabbauende oder in der Luft stabile Kältemittel zum Einsatz, so muss die Anlage zusätzlich bei den zuständigen Behörden angemeldet und regelmässig auf Dichtigkeit hin geprüft werden (Tabelle 3.1). Mit der Anmeldung erhält die Anlage eine Vignette, anhand derer sie identifiziert werden kann (an Anlage anbringen). Als Anlaufstelle für weitere Informationen und Vorlagen für ein Wartungsheft sei hier auf die «Schweizerische Meldestelle für Kälteanlagen und Wärmepumpen» verwiesen (www.smkw.ch).

Die Verwendung von Treibhauseffekt verursachenden Kältemitteln ist nur noch eingeschränkt möglich, Wärmepumpen für den Komfortbereich mit dem ehemals stark verbreiteten R134a (ein HFKW) und einer Verdampferleistung über 600 kW dürfen beispielsweise nicht mehr in Verkehr gebracht werden. Zurzeit (Stand 2018) findet daher eine Umstellung auf Stoffe mit einem geringen GWP statt. Ausgehend von Automobil-Klimaanlagen wurden verschiedene Alternativen genauer untersucht, woraus das HFO Kältemittel R1234yf und daraus abgeleitete Gemische entstanden sind.

Die geringere Stabilität von R1234yf führte aber zu kontroversen Ansichten bezüglich der Verwendbarkeit, auch fehlen noch Langzeiterfahrungen zu diesen Stoffen. Als interessante Option bieten sich auch die natürlichen Kältemittel Ammoniak, Kohlenstoff-Dioxid und Propan an. Diese sind seit langem bekannt und haben sich in gewissen Anwendungsgebieten gut etabliert. Einer allgemeinen Anwendung standen bisher aber spezifische Stoffeigenschaften sowie

Sicherheitsauflagen im Weg. Welche Kältemittel sich mittel- bis langfristig etablieren, ist aber noch offen.

4. WÄRMEQUELLEN

Folgende Wärmequellenarten können mit Wärmepumpen genutzt werden:

- Aussenluft
- Erdwärme
- Grund- und Oberflächenwasser
- Abwärme
- Gebäudekühlung

Grundsätzlich gilt, je tiefer das Temperaturniveau der Wärmequelle, desto schlechter ist die Effizienz (COP) der Wärmepumpe und umgekehrt.

4.1. AUSSENLUFT

Die Aussenluft steht uns in unbeschränkter Menge als Wärmequelle zur Verfügung. Die geringe Wärmekapazität von Luft – im Vergleich zu Sole oder Wasser – ist aber nachteilig: Sie erfordert vergleichsweise hohe Volumenströme am Verdampfer. Auch kann sich am Verdampfer (bei kühler feuchter Aussenluft) gefrierendes Kondensat anlagern, das regelmässig abgetaut werden muss. Zu beachten ist auch, dass die Wärmequellentemperatur gegenläufig zur benötigten Heizsystemtemperatur ist. Bei steigenden Aussentemperaturen nimmt die Heizleistung des Geräts zu. Diesem Effekt kann durch Kaskadierung oder Drehzahlregelung von Verdichtern entgegengewirkt werden (Abbildung 4.1). Der Lufttransport durch den Ventilator kann störende Schallemissionen verursachen. Aus diesem Grund verlangen die kommunalen Baubewilligungsbehörden in der Regel einen Lärmschutznachweis (Kapitel 7).

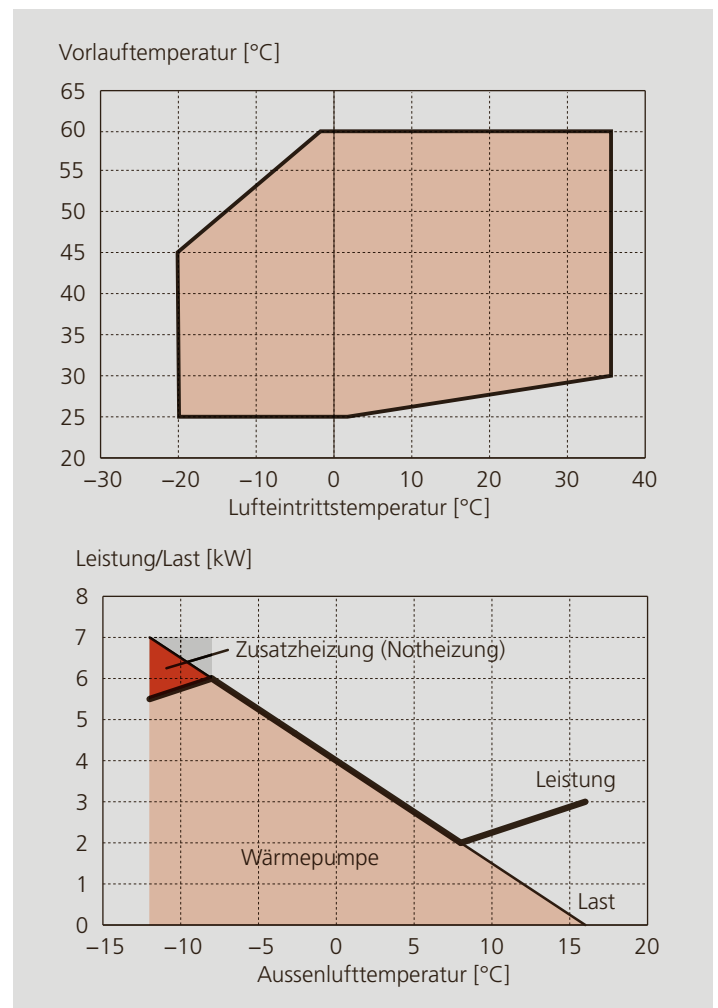
Systeme

Man unterscheidet folgende Bauarten:

- **Kompakt-Anlage für Innenaufstellung:** Diese Bauart wird in der Regel für kleinere und mittlere Anlagen eingesetzt (Heizleistung: 5 kW bis 50 kW).

- **Kompakt-Anlage für Aussenaufstellung:** Diese Bauart kommt zum Einsatz, wenn im Gebäude kein Platz vorhanden ist (oder dies von der Bauherrschaft gewünscht wird).
- **Split-Anlage:** Kommt dort zum Einsatz, wo die Aussenluft aufgrund der erforderlichen Luftvolumenstrommenge nicht direkt dem im Gebäude platzierten Aggregat zugeführt werden kann. Der Verdampferteil wird im Freien aufgestellt, der Verflüssiger im Gebäude. Der Verdichter kann sich in der Aussen- oder der Inneneinheit befinden.

Abbildung 4.1: Beispiel Einsatzgrenzen einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (oben). Bei tiefen Lufteintrittstemperaturen sind nur noch reduzierte Vorlauftemperaturen erreichbar. Unten: Gebäudelast und Heizleistung (leistungsgeregelte WP). Bei tiefen Aussenlufttemperaturen muss deshalb eine Zusatzheizung die Last abdecken. Achtung: Von Gesetzes wegen muss die Wärmepumpe bis zur Auslegungstemperatur den Bedarf alleine abdecken können.



Planungshinweise

Die Nutzung von Aussenluft als Wärmequelle ist grundsätzlich nicht bewilligungspflichtig, der Elektroanschluss ist jedoch durch das zuständige Elektrizitätswerk zu bewilligen. Ebenso sind die jeweiligen Anforderungen der kantonalen und kommunalen Baubewilligungsverfahren, insbesondere betreffend Lärmschutz zu berücksichtigen.

- Die Heizsystemtemperatur kann aufgrund der zeitweise tiefen Quellentemperatur eingeschränkt sein (Abbildung 4.1).
- Wärmepumpen müssen von Gesetzes wegen (MuKE) so dimensioniert sein, dass sie im Auslegungsfall den gesamten Leistungsbedarf abdecken.



Abbildung 4.2:
Kompakt-Anlage
für Innenaufstellung
(Bild: BKW AG).



Abbildung 4.3:
Kompakt-
Anlage für Aussen-
aufstellung
(Bild: BKW AG).



Abbildung 4.4:
Erdwärmesonde
(Bild: BKW AG).

- Bei Aussen Temperaturen unter rund $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und entsprechender Luftfeuchtigkeit kann der Verdampfer vereisen. Es ist eine automatische Abtauung notwendig. Die gerätespezifischen Anforderungen sind zu berücksichtigen.
- Durch die Abkühlung unter den Taupunkt der Luft entsteht Kondenswasser. Dieses muss gesammelt und in einer frostsicheren Leitung abgeführt werden. Dies gilt auch für die Verrohrung des Verdampfers.
- Es ist zu beachten, dass die abgekühlte Luft der Wärmepumpe nicht vom Aussenluftstrom erfasst wird (Kurzschluss). Es besteht zudem die Gefahr, dass sich ein «Kaltluftsee» bildet.
- Mit dem Einsatz von Erdluftwärmetauschern oder durch Luftfassung an «warmen» Standorten (Autoeinstellhalle, Gebäudeabluftanlage, Technikzentralen etc.) kann die Energieeffizienz der Wärmepumpe gesteigert werden.
- Die Wärmepumpe ist vor Beschädigung und Funktionsbeeinträchtigungen durch Personen sowie Schnee, Laub, Staubpartikeln und Kleintieren zu schützen. Umgekehrt sind Personen vor beweglichen Teilen (Ventilatoren, Verdichtern und Pumpen) zu schützen (inklusive Elektroanschlüsse).
- Eine feste Installation von Aussengeräten bedingt eine Baubewilligung.
- Bei der Planung einer Split-Anlage sind die kältetechnischen Grundregeln besonders zu beachten.
- Grosse Beachtung ist dem Thema Schallemissionen zu widmen (Kapitel 7).

4.2. ERDWÄRME

Das Erdreich ist ein idealer Wärmelieferant. Bereits etwa 10 m unter der Erdoberfläche weist das Erdreich eine über das ganze Jahr annähernd konstante Temperatur auf. Mit zunehmender Tiefe erhöht sich die Temperatur im Untergrund um ca. 3 K pro 100 m. Die jahreszeitliche Konstanz bildet eine ideale Voraussetzung zur Nutzung von Erdwärme zu Heizzwecken. Erdwärmesonden werden normalerweise zwischen 50 m bis zu 350 m tief gebohrt. Die Nutzung von Erdwärme ist bewilligungspflichtig. Als Grundlagen zur

Auslegung und zum Einbau dient die Norm SIA 384/6 «Erdwärmesonden».

ERDWÄRMESONDEN (EWS)

Zur Wärmegewinnung aus dem Erdreich sowie zur passiven oder aktiven Kühlung werden heute in der Regel mit Wasser oder einem Wasser-Glykol-Gemisch gefüllte EWS oder EWS-Felder eingesetzt.

Systeme

Es handelt sich praktisch durchwegs um PE-Kunststoffrohre, die in verschiedenen Anordnungen eingesetzt werden können.

Diese kommen als einfaches (Simplex-EWS), doppeltes U-Rohr (Duplex-EWS) oder als Koaxialausführung vor. Aufgrund ihrer Effizienz (grosse Wärmeübertragungsfläche) und einfachen Handhabung hat sich vor allem die Anordnung mit zwei Doppel-U-Rohren durchgesetzt. In der Mitte ist ein zusätzliches Rohr angeordnet, durch welches das Bohrloch mit einem Bentonit-Zement-Wasser-Gemisch von unten ausgefüllt wird und welches sicherstellt, dass die wasserführenden Rohre nicht von der Bohrwand wegrutschen.

EWS-Anlagen sind unter folgenden energie-relevanten Aspekten auszulegen:

- Übertragungsleistung der Sonde (Entzug oder Einspeisung)
- Energiebedarf: Umfang und Dauer des Wärmeentzug und der allfälligen Rückspeisung (Regeneration, Kühlung) im Jahresverlauf
- Geologie des Untergrunds: Temperatur, Wärmeleitfähigkeit, Dichte, Wärmekapazität, Grundwasser-Vorkommen etc.
- Anzahl Sonden mit Wärmeleitfähigkeit der Hinterfüllung
- Sondenlänge respektive Sondentiefe
- Sondenabstand
- Bohr- und Rohrdurchmesser
- Wasser- oder Frostschutzfüllung, ohne Eisbildung
- Druckverlust des Systems



Abbildung 4.5:
Bohrpfahl (Bild:
enercret Röthis).



Abbildung 4.6:
Rammpfahl (Bild:
enercret Röthis).



Abbildung 4.7:
Pfahlarmierungs-
korb mit befestigten
Sonden (Quelle:
HakaGerodur).

Planungshinweise

- Wo Erdwärme genutzt werden darf, ist aus den Geoinformationsportalen (Erdwärmennutzungskarten) der Kantone ersichtlich
- EWS-Anlagen werden durch zertifizierte Bohrfirmen ausgeführt und sind in jedem Fall bewilligungspflichtig (Zuständigkeit: Kantone). Die FWS vergibt ein Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen, deren Berücksichtigung wird empfohlen. Für das Wärmepumpen-System-Modul (Kapitel 8.2) ist dies Pflicht.
- Die Auslegung muss nach Norm SIA 384/6 erfolgen, für einfache Anlagen bis vier Sonden beschreibt diese ein vereinfachtes Verfahren. Grundsatz: Je grösser das Erdsondenfeld, desto geringer ist der mögliche langfristige Wärmeentzug je Laufmeter Sonde. Zu berücksichtigen sind auch nicht vollständig regenerierte Nachbarsonden.
- Wird die EWS-Anlage auch als «Kältequelle» für Kühlzwecke (Free-Cooling) eingesetzt, kann das Erdreich durch den Wärmeeintrag teilweise «regeneriert» werden. Die Auswirkungen der Regeneration auf die EWS-Dimensionierung sind durch einen ausgewiesenen Spezialisten abzuklären respektive mit einem geeigneten Softwaretool zu simulieren.
- EWS-Anlagen dürfen nicht zur Bauaustrocknung eingesetzt werden, da die erwähnten Rahmenbedingungen in der Regel überschritten werden.
- Die Zufahrt zur Bohrstelle mit dem Bohrgeschäft ist sicherzustellen.
- Hinweise zur Erdsondengeometrie sind in Tabelle 4.1 aufgeführt.
- Die Erdwärmesonden-Anschlussleitungen werden in einem Verteiler zusammengefasst. Dieser kann sich ausserhalb oder

Tabelle 4.1: Länge und Inhalt von Sonden sowie Bohrlochdurchmesser. Annahme: Doppel-U-Rohr.

EWS-Rohrdurchmesser	Inhalt pro Meter	Bohrlochdurchmesser*	Maximale Länge
32 mm	2,12 Liter	112 bis 115 mm	ca. 150 m
40 mm	3,34 Liter	127 bis 135 mm	ca. 300 m**
50 mm	5,18 Liter	152 mm	über 300 m**

* Spülbohrungen in grundbruchgefährdetem Untergrund (Silt-sande etc.) erfordern grössere Durchmesser (4 3/4" bis 7 5/8"), je nach EWS-Durchmesser und Bodenverhältnissen.

** Ab ca. 250 m sind EWS mit höherer Druckbeständigkeit zu verwenden.

innerhalb des Gebäudes befinden (Frostschutz beachten: Wärmedämmung oder Leitungsfüllung mit Frostschutz). Abbildung 4.8 zeigt einen externen, begehbaren Verteiler.

- Der Verteiler muss über die gesamte Lebensdauer zugänglich sein. Klare Kennzeichnung, welche EWS wo am Verteiler angeschlossen sind. Bei Anlagen mit zwei oder mehr Sonden Volumenstrom-Regelventile einbauen und einregulieren.
- EWS auf lange Lebensdauer auslegen und nicht zu knapp dimensionieren (Reserve bei WP-Ersatz mit besserer Effizienz).

ERDWÄRMESONDE MIT KOHLENSTOFF-DIOXID-TECHNIK

Als Alternative zur Erdwärmesonde mit einer Wasser- oder Wasser-Glykol-Füllung kann die Sonde mit CO₂ betrieben werden. Die CO₂-Sonde funktioniert nach dem Prinzip des Wärmerohres (heat pipe). Ungiftiges CO₂ (Kohlendioxid) zirkuliert in der Erdwärmesonde. Das CO₂ wird in flüssigem Zustand unter Druck in die Erdwärmesonde gefüllt. Es sinkt ab und erwärmt sich mit der steigenden Temperatur im Erdreich. Dabei verdampft die Flüssigkeit und kondensiert wieder an der kältesten Stelle, das heisst im Verdampfer der Wärmepumpe, und überträgt so die Erdwärme zur Wärmepumpe. Das CO₂ zirkuliert im Gegensatz zum Wärmeträger einer herkömmlichen Erdwärmesonde ohne Hilfsenergie, wodurch sich

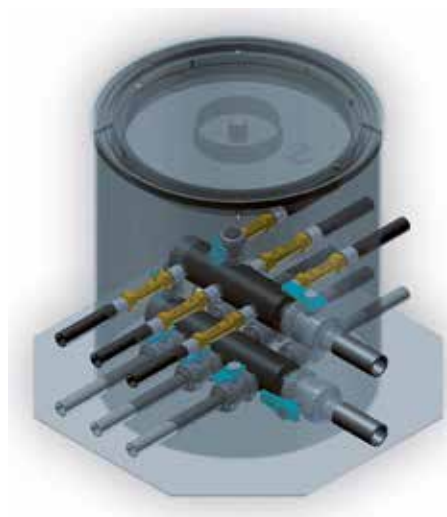


Abbildung 4.8: Externer begehbare Verteiler (Quelle: Jansen AG).

Energieeinsparungen ergeben. Allerdings können diese Sonden im Sommer durch Wärmeeintrag einer Wärmepumpe nicht regeneriert werden. Eine Gebäudekühlung ist mit dieser Sonde auch nicht möglich.

ERDWÄRMEREGISTER

Anstelle von EWS werden auch Erdwärmeregister verwendet. Diese bestehen aus horizontal verlegten Rohrschlangen im Erdreich, 1,2 bis 1,5 Meter unter der Terrainoberfläche (Abbildung 4.10). Die Erdwärmeregister entziehen dem Erdreich mehrheitlich jene Wärme, welche durch Sonneneinstrahlung und Regen eingetragen wird. In der Regel wird

ein Frostschutz-Gemisch als Wärmeträger verwendet.

Systeme

Erdwärmeregister bestehen in der Regel aus Kunststoffen oder kunststoffummantelten Kupferrohren. Diese werden im Gebäude oder in einem Schacht ausserhalb des Gebäudes auf einem Verteiler respektive Sammler zusammengefasst.

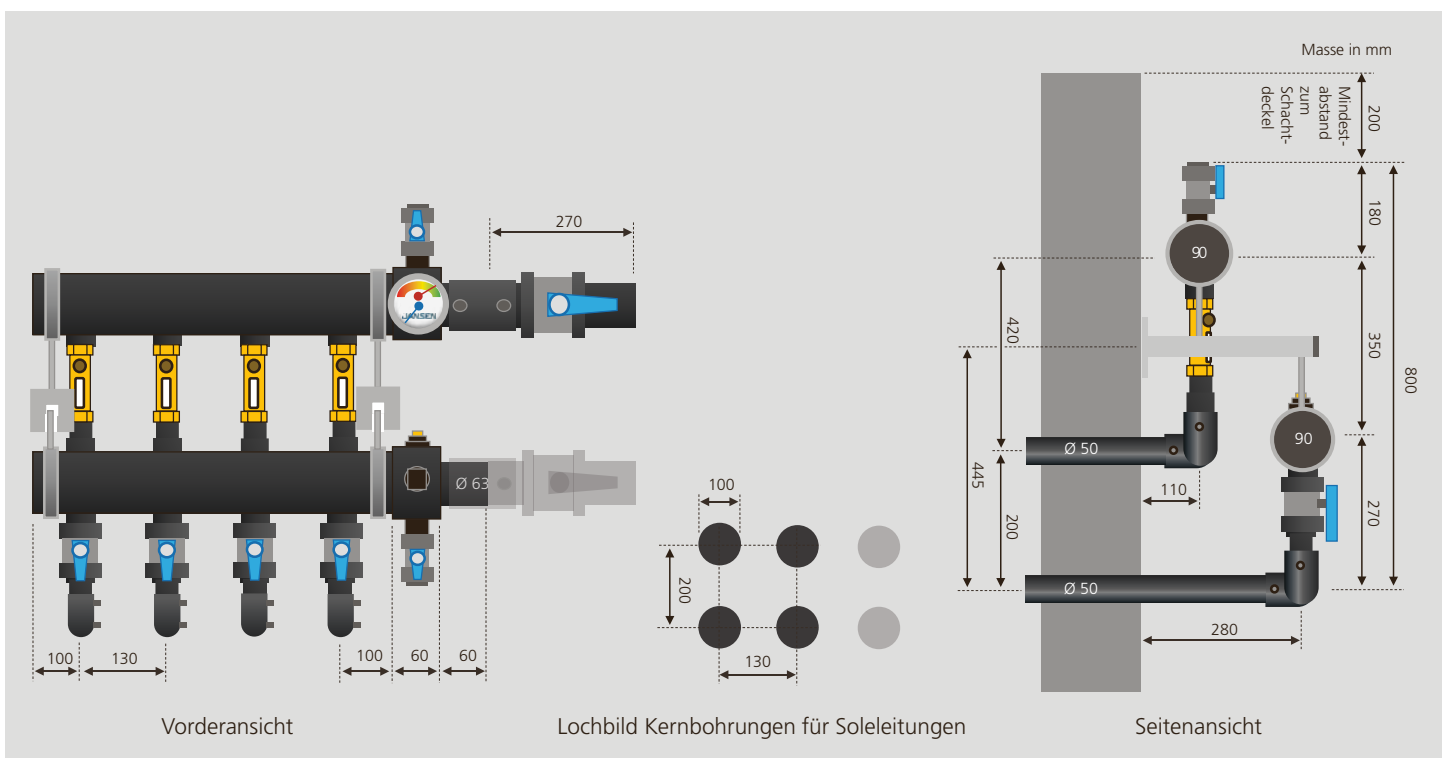
Planungshinweise

- Erdwärmeregister können bewilligungspflichtig sein (Zuständigkeit: Kantone).
- Die maximale Entzugsleistung (Kälteleistung) bei guten Bodenverhältnissen beträgt pro m² Erdregisterfläche ca. 25 W bis 30 W oder ca. 60 kWh während einer Heizperiode. Bei schlechtem Boden (trocken) liegen die Werte bei 10 W/m² bis 15 W/m².
- Bei Eindeckung des Erdwärmeregisters muss das System unter Druck sein, um allfällige Beschädigungen zu erkennen. (Steine, Bauschutt etc. sind für das Überdecken nicht geeignet.)
- Bei Erdwärmeregistern kann es jahreszeitlich zu Erdbewegungen kommen, wenn diese vereisen.

Abbildung 4.10: Neuanlage eines Erdwärmeregisters. Dieses wird anschliessend wieder mit Erdreich überdeckt (Quelle: HakaGerodur).



Abbildung 4.9: Beispiel eines Verteilers (Quelle: Jansen AG).





1 Dicht verschweisst: Alle Leitungen sind mit der Schachtwand dicht verschweisst und gewährleisten absolute Dichtigkeit.



2 Hochwertige Schachtabdeckung: UV-beständiger, tagwasserdichter PE-Kunststoffdeckel in stabiler Ausführung.



3 Robust und funktional: Aus bis zu 12 mm dicken PE-Platten gefertigt. Erfüllt hohe statische Anforderungen. Tragfähige Ösen für Sicherung, Transport und Einbau.



4 Absperrbare Hauptleitung: Je nach Schachttyp entweder mit Kugelhahn oder mit Absperrklappe; für korrekte Installation und optimalen Betrieb.



5 Soleleitungen und Durchflussanzeigen: Alle Soleleitungen sind absperrbar. Die Durchflussanzeigen sind mit 1/4"-Überwurfmuttern befestigt und können so bei Bedarf einfach gewartet werden.



6 Spülanschluss: Die 1"-Spülanschlüsse sind absperrbar und ermöglichen ein schnelles Spülen und Befüllen der Anlage.

Abbildung 4.11:
Kompletter Verteiler
(Quelle: Jansen AG).

ENERGIEPFÄHLE

Energiepfähle kommen in der Regel an Orten mit instabilem Baugrund als Fundationspfähle zum Einsatz. Der Energiepfahl wird also primär als statisches Element eingesetzt. Anordnung und Umfang richtet sich nach den Anforderungen, die an das Gebäude respektive den Baugrund gestellt werden. Der Energiegewinn ist demnach von den geologischen Verhältnissen und den statisch bedingten Massnahmen (Länge und Anordnung) abhängig. In der Regel wird ein Frostschutz-Gemisch als Wärmeträger verwendet.

Systeme

Man unterscheidet zwei Bauarten von Energiepfählen:

- Bohrpfähle bestehen aus Armierungskörben, an denen Rohre befestigt werden. Sie werden in ein Bohrloch versenkt, das anschliessend mit Beton aufgefüllt wird.
- Ramppfähle sind vorgefertigte Betonpfähle, in denen im Werk die Rohre verlegt und eingegossen werden. Beim Einrammen muss sichergestellt werden, dass die Leitungsanschlüsse am Pfahlende nicht beschädigt werden.

Planungshinweise

- Energiepfähle sind bewilligungspflichtig (Zuständigkeit: Kantone).
- Sie sind durch ausgewiesene Spezialisten zu berechnen.
- Die Zufahrt zur Bohr- respektive Rammstelle mit dem Arbeitsgerät ist sicherzustellen.
- Die Zuleitungen ab Energiepfahl zum Verteiler sind in genügender Tiefe zu verlegen und mit einer Wärmedämmung zu versehen.
- Je nach Untergrund und Auslegung ist der Betrieb nur mit Wasser als Wärmeträger möglich.

ERDWÄRMEKÖRBE

Erdwärmekörbe sind spiralförmig aufgerollte Kunststoffrohre, die in einer Tiefe von 1,5 m bis 3,5 m eingebracht werden (Abbildung 4.12). Sie werden wie Erdwärmeregister durch die Witterung an der Erdoberfläche beeinflusst.

ERDWÄRMEGRABEN

In 1 m bis 1,5 m tiefen Gräben werden Kunststoffrohre horizontal verlegt. Sie sind ebenfalls durch die Witterung an der Erdoberfläche beeinflusst.

SCHLITZWÄNDE

Schlitzwände werden je nach Boden oder Tiefe mit einem Greifer oder einer Fräse abgeteufelt. In das ausgehobene Schlitzsegment wird der Armierungskorb mit den befestigten Kunststoffrohren eingebracht und anschliessend mit Beton aufgefüllt.

ANBINDUNG DES ERDWÄRMENUTZUNGSSYSTEMS

Nebst der richtigen Auslegung der Quellenutzung sollte immer auch der Hydraulik des Primärkreises genügend Beachtung geschenkt werden.

WÄRMETRÄGER

Üblicherweise werden Erdwärmeentzugssysteme mit einem Frostschutz-Gemisch betrieben. Erdwärmeentzugssysteme können aber bei entsprechender Auslegung (z. B. durch Simulationsrechnung), mit Wasser ohne Zusätze betrieben werden. Dabei darf die Verdampfungstemperatur nur so tief gewählt werden, dass keine Eisbildung möglich ist.

Abbildung 4.12:
Erdwärmekörbe
(Bild: Calmotherm).



Die Konzentration des Frostschutz-Gemisches sollte den Vorschriften des Geräteherstellers respektive des Gerätelieferanten entsprechen (Korrosionsschutz). Die physikalischen Eigenschaften des Frostschutzgemischs ändern sich je nach Temperatur und Wärmekapazität.

UMWÄLZPUMPEN

Die Umwälzpumpe ist immer anlagenspezifisch auszulegen und zu berechnen. Je nach Länge und Anordnung der EWS ist der Druckverlust beträchtlich. Eine über- oder unterdimensionierte Umwälzpumpe kann den Wirkungsgrad der Gesamtanlage wesentlich verschlechtern. Generell ist ein möglichst hoher Wirkungsgrad der Umwälzpumpe anzustreben. Bei leistungsregulierten Wärmepumpen ist auch die Leistung der Umwälzpumpe im Sondenkreislauf dem Bedarf anzupassen. Der Schwitzwasserbildung ist Rechnung zu tragen.

SICHERHEITSEINRICHTUNGEN

- Die Drucküberwachung schaltet die Wärmepumpenanlage bei einem Druckabfall im Primärkreis aus.
- Das Expansionsgefäß kompensiert die Druckveränderungen im System, die sich durch Temperaturänderung und Veränderungen am Material (z. B. Kriechen der Kunststoffrohre) ergeben.
- Um die Anlage vor Überdruck zu schützen, ist ein Sicherheitsventil einzubauen. Der Überlauf ist in ein Auffanggefäß zu führen.

ROHRSYSTEME

- Es sind korrosionsbeständige Materialien wie Kunststoff, Chromstahl (V4A) oder gegen Korrosion behandelter Stahl zu verwenden. Es dürfen keine verzinkten Rohre oder Fittinge verwendet werden.
- Im Gebäude ist das Leitungsnetz inklusive Armaturen dampfdicht zu dämmen, um Schwitzwasser zu vermeiden.

HYDRAULISCHER ABGLEICH

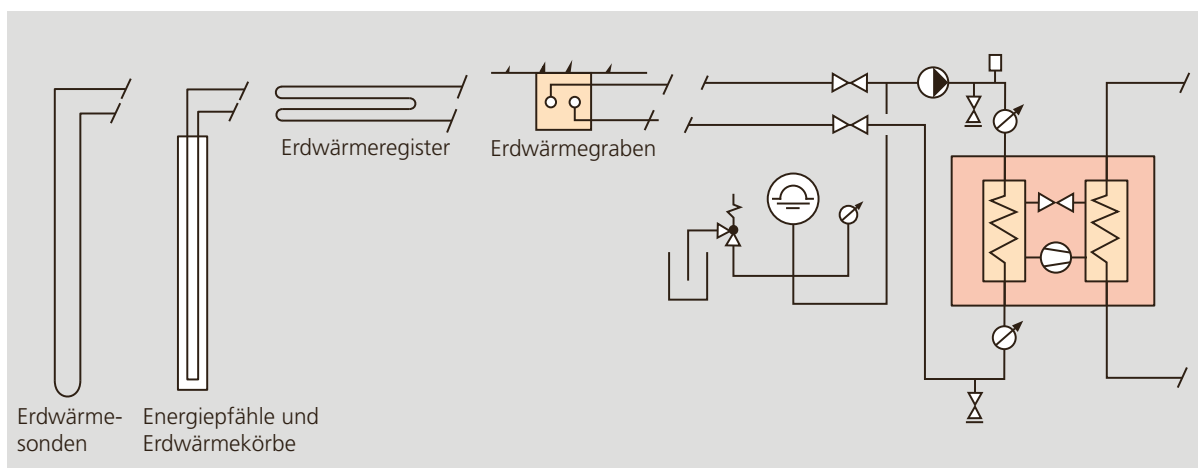
Die einzelnen EWS-Kreise sind untereinander hydraulisch abzugleichen. Am EWS-Verteiler sind entsprechende Regulierarmaturen einzubauen.

4.3. GRUNDWASSER

GRUNDWASSERVORKOMMEN

Wasser, welches im Untergrund Gesteinsporen, Risse oder Klüfte füllt, wird als Grundwasser bezeichnet. Es fließt unter Einwirkung der Schwerkraft vorwiegend entlang der durchlässigeren Zonen in Locker- und Festgesteinen (kies- und sandreiche Lagen, Sandstein, geklüfteter oder verkarsteter Fels). Oberflächennahes Grundwasser wird meist aus Tiefen von wenigen Metern bis mehreren 10 Metern vorwiegend aus kiesreichen Lockergesteinsvorkommen (Schotter) gefördert. Oberflächennahes Grundwasser wird teilweise auch als Trinkwasser verwendet, die Nutzung ist daher durch Grundwasserschutzgesetze geregelt und immer bewilligungs- respektive konzessionspflichtig.

Abbildung 4.13:
Anbindung an
Erdwärmennutzungs-
systeme.



Die mittlere Jahrestemperatur von oberflächennahem Grundwasser liegt in der Regel bei 9 °C bis 11 °C und damit über dem Mittelwert von Aussenluft. Die Temperatur kann durch zusickerndes Oberflächenwasser oder durch die Lufttemperatur beeinflusst werden. Ist der Einfluss durch Oberflächen-gewässer relativ gering und liegt die Fördertiefe mehrere Meter unter Terrain, sind die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen jedoch minimal. Mit zunehmender Tiefe verzögern sich die Maximal- und Minimalwerte stärker. Die maximale Temperaturschwankung liegt bei etwa 5 K (Abbildung 4.14). Aufgrund des relativ hohen und konstanten Temperaturniveaus ist Grundwasser eine ideale und zuverlässige Wärmequelle für Wärmepumpen. Es kann sowohl für Heiz- als auch für Kühlzwecke genutzt werden. Als Grundlagen zur Auslegung dient die Norm SIA 384/7:2010 «Grundwasserwärmenutzung».

GRUNDWASSERQUALITÄT

Die Qualität von Grundwasser kann durch Infiltration aus Oberflächengewässern entscheidend beeinflusst werden (Abbildung 4.15). Neben der thermischen Beeinflussung ist auch der Qualität des Grundwassers Be-

achtung zu schenken. Grundwasser ist in den meisten Fällen nicht aggressiv. Insbesondere der Eintrag von organischem Material oder Sauerstoff durch Zutritt von Oberflächenwasser kann zu unerwünschten Reaktionen führen. Aus diesen Gründen ist eine einfache Analyse der Grundwasserqualität empfehlenswert. Folgende Grenzwerte sollten eingehalten werden:

- pH-Wert: ≥ 7
- Eisen (gelöst): $\leq 0,15$ mg/l
- Mangan (gelöst): $\leq 0,1$ mg/l

Verunreinigungen durch Sand, welche in der Anlage mechanische Schäden verursachen können, sollten bei einer fachgerecht erstellten Anlage weder durch Oberflächenwassereinfluss noch durch die Förderung im Filterbrunnen auftreten. Um dies zu gewährleisten, soll sowohl der Entnahme- als auch der Rückgabebrunnen unter fachkundiger Aufsicht geplant und erstellt werden. Dabei spielt die fachgerechte Entsandung vor der Fertigstellung und Inbetriebnahme des Brunnens eine wichtige Rolle.

GRUNDWASSERFASSUNG UND RÜCKGABE

Die Dimensionierung des Entnahme- und Rückgabebrunnens (Abbildung 4.16) richtet sich vor allem nach den Eigenschaften des wasserführenden Gesteins sowie der von der Wärmepumpe benötigten Fördermenge. Die optimale Entnahmemenge aus einem Förderbrunnen liegt im Bereich der halben maximalen Entnahmemenge (Abbildung 4.17). Die benötigte Fördermenge pro kW Wärme-

Abbildung 4.14: Grundwasser-Temperaturen.

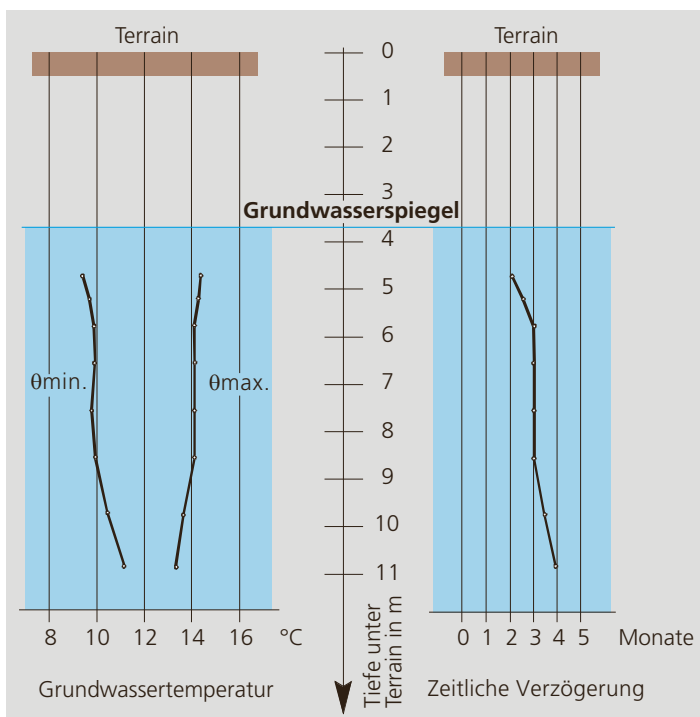
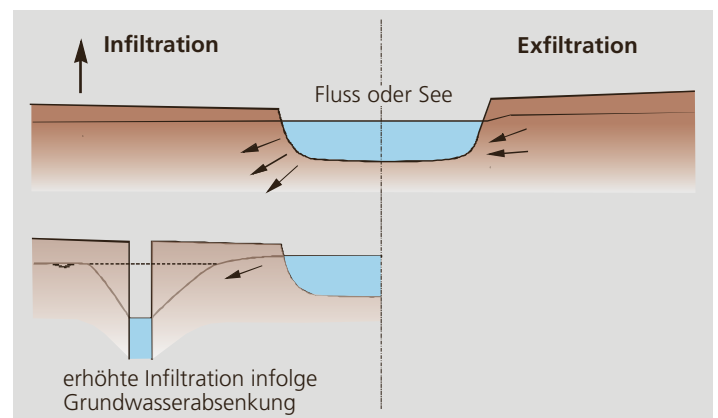


Abbildung 4.15: Infiltration von Oberflächenwasser.



bedarf liegt in der Regel zwischen 150 l/h und 200 l/h. Mit steigender Entnahmemenge sind in der Regel grössere Bohrdurchmesser notwendig. Die Dimensionierung der Bohrungen hängt aber stark von den lokalen Gegebenheiten ab und sollte durch eine Fachperson erfolgen. Die Rückgabe erfolgt oft auch über einen un tiefen Versickerungsschacht. Dazu muss die Sickerfähigkeit des Untergrundes abgeklärt werden. Fallweise kann die Rückgabe in ein nahe liegendes Oberflächengewässer erfolgen.

Hinweise zur Planung und Umsetzung

- Wo Grundwasser genutzt werden darf, ist aus den Geoinformationsportalen (Gewässerschutz- und Wärmenutzungskarten) der Kantone ersichtlich.
- Für eine Grundwassernutzung ist eine amtliche Bewilligung respektive Konzession notwendig. Dies betrifft auch Probebohrungen. Die Bewilligungspraxis ist kantonal unterschiedlich. Häufig werden Niveau- und Temperaturüberwachungen des Grundwassers im Brunnen verlangt. Beispielsweise müssen spezielle Druckfühler sowie Temperatursensoren mit der Grundwasserpumpe abgesenkt werden.
- Planung und Umsetzung sollten unter Einbezug eines beratenden Geologen oder Hydrogeologen erfolgen.
- Eine einfache Wasseranalyse ist empfehlenswert. Es ist allerdings zu beachten, dass die Wasserqualität saisonal schwanken kann. Auf die Materialisierung der Leitungen und Komponenten ist zu achten (Korrosion und Verschmutzung).
- Bei Fassungen in der Nähe von Oberflächengewässern ist eine mögliche Infiltration durch diese zu beachten.
- Bei der Lokalisierung von Entnahme und Rückgabestelle ist die Grundwasserströmung zu berücksichtigen (keine Rückgabe im Anströmbereich der Entnahme).
- Die Leistung der Förderpumpe sollte auf den niedrigsten zu erwartenden Grundwasserstand ausgelegt werden.
- Eine Temperatur- und Strömungsüberwachung bietet Schutz vor Abkühlung des genutzten Wassers unter den Gefrierpunkt sowie vor Übernutzung der Fassung.
- Bei Verunreinigungen des Grundwassers ist ein Zwischenkreis einzubauen, der den Wärmetauscher der Wärmepumpe schützt.

Abbildung 4.16: Entnahme- und Rückgabebrunnen (Bild: BKW AG).

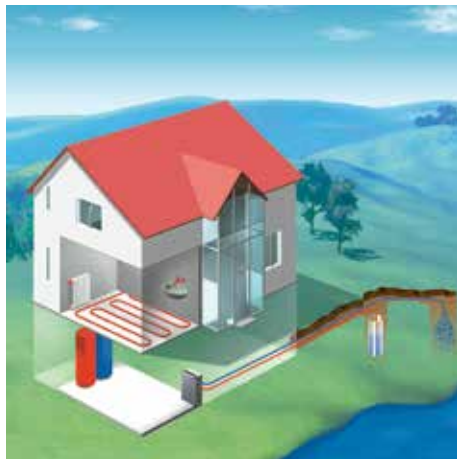
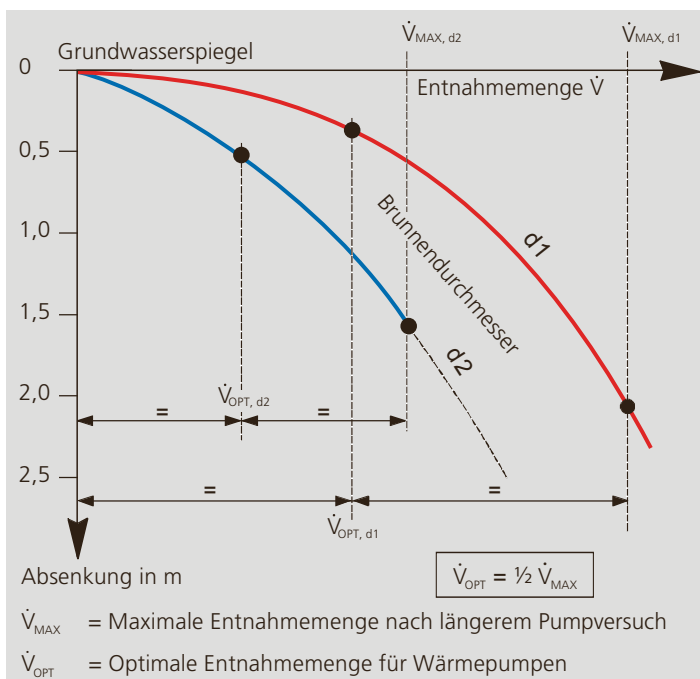


Abbildung 4.17: Zwei Beispiele für die Dimensionierung einer Grundwasserfassung.



Das komplette Anlagensystem muss nach Norm SIA 384/7 folgende Systemkomponenten umfassen (Abbildung 4.18):

- Entnahmebrunnen
- Fördersystem (Pumpe, Spülstutzen, Rohrleitungen und Wärmeübertrager), um das Grundwasser aus dem Entnahmebrunnen bis zur Rückgabe zu leiten.

- Sicherheitseinrichtungen zum Schutz der Förderpumpe (Trockenlauf)
- Einrichtungen zum Schutz des Wärmeübertragers (vor mechanischer oder chemischer Überbeanspruchung)
- Rückgabe (Brunnen oder Versickerung)
- Einrichtungen zur Überwachung des geförderten Grundwassers (Wassermenge, Wassertemperaturen von Entnahme und Rückgabe)
- Einrichtung zur Überwachung des Grundwassers (Wasserstand)

OBERFLÄCHENWASSER

Oberflächengewässer enthalten ein beachtliches Potenzial zum Heizen und Kühlen nahe gelegener Gebäude, wobei aber auch Rücksicht auf das Ökosystem genommen werden muss. Daher ist auch die Nutzung

von Oberflächenwasser bewilligungs- respektive konzessionspflichtig, Ansprechpartner sind die Kantone oder Gemeinden. Die relativ grossen Temperaturschwankungen von Oberflächengewässern (Fluss-, Bach- oder Seewasser) lassen einen monovalenten Betrieb mit Direktnutzung in der Regel nicht zu. Es findet deshalb meist eine indirekte Nutzung statt: Die Wärmequelle gibt ihre Wärme an einen Wärmetauscher ab, der durch einen Zwischenkreislauf mit der Wärmepumpe verbunden ist. Der Zwischenkreislauf enthält ein Frostschutzgemisch, damit die Verdampfungstemperatur schadlos unter 0 °C sinken darf. Der oft auch behördlich geforderte Zwischenkreis schützt zudem das Gewässer vor Kältemittelkontamination im Schadenfall.

Abbildung 4.18: Überblick über die Systemkomponenten (Quelle: Norm SIA 384/7). Hinweis: Symbole nach SIA 410

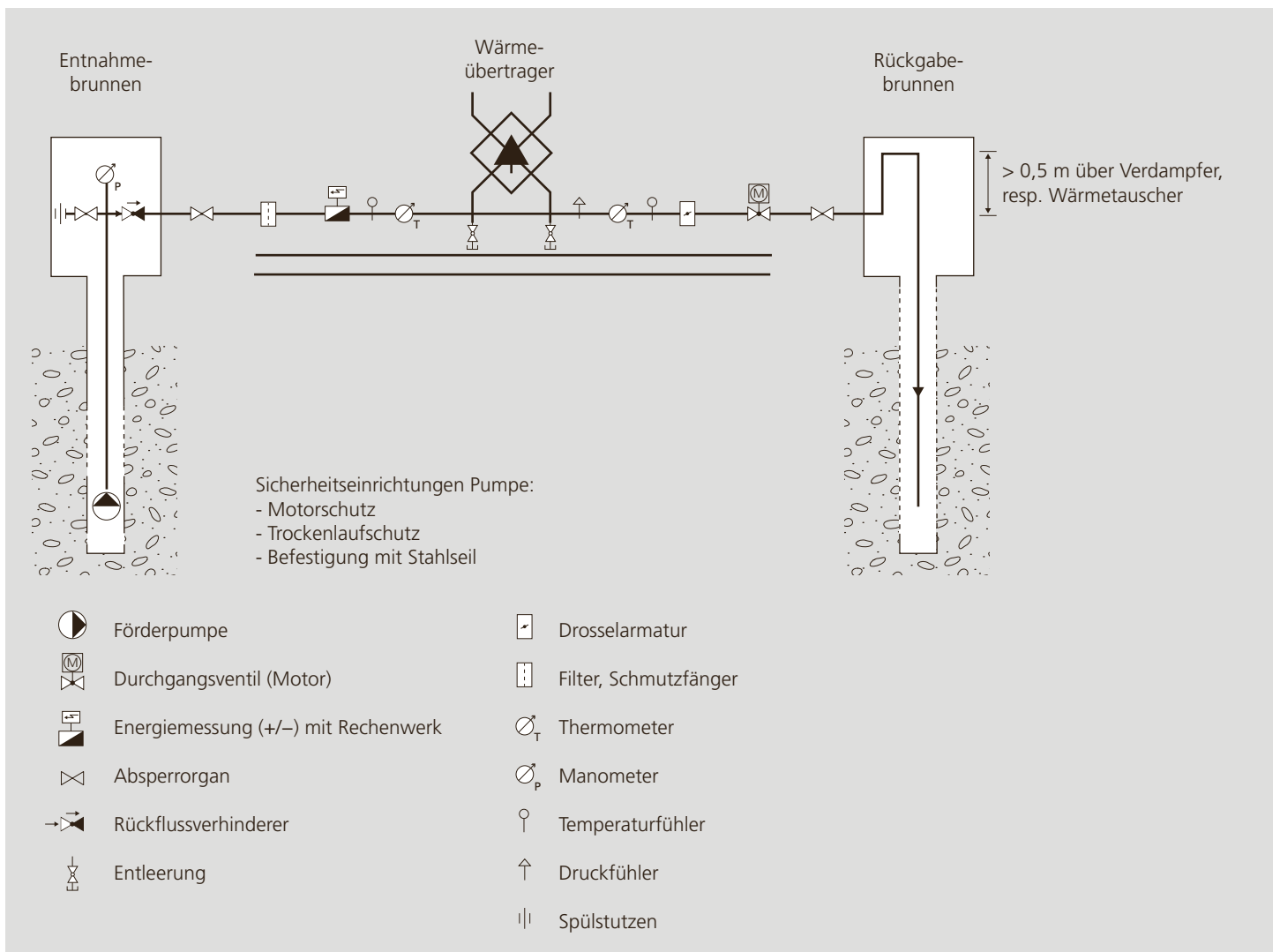
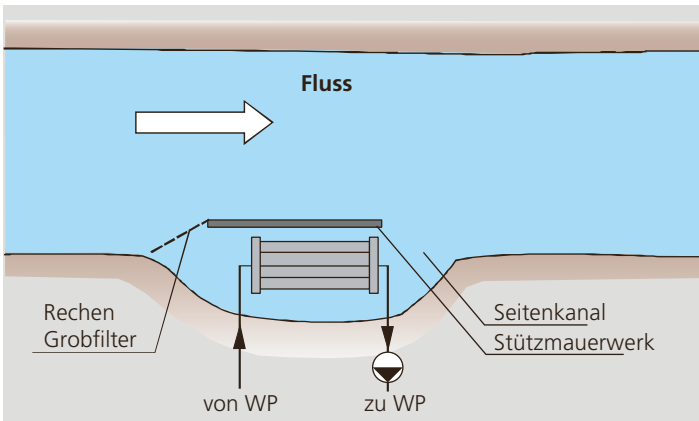


Abbildung 4.19:
Register im Fließgewässer.

Abbildung 4.20:
Definition mittlere
logarithmische Tem-
peraturdifferenz.

Der Wärmeentzug aus Oberflächengewässern ist grundsätzlich auf zwei Arten möglich:

- **Register im Fließgewässer** (Abbildung 4.19): Es fließt eine sehr grosse Wassermenge durch das Register, die Abkühlung ist entsprechend klein (Abbildung 4.20).



- **Filterbrunnenlösung** (Abbildung 4.22): Das Wasser wird in einem Filterbrunnen direkt neben dem Oberflächengewässer gesammelt und von hier aus zu einem Wärmetauscher gepumpt.

Für die Registerlösung ist es empfehlenswert, mit einer mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz (Abbildung 4.20) von maximal 5 K bis 6 K zu rechnen. Zur Dimensionierung der Wärmetauscherfläche kann man U-Werte von 200 bis 300 W/m² K annehmen (Strömungsgeschwindigkeit über 0,5 m/s). Es ist empfehlenswert, einen Sicherheitszuschlag von etwa 25 % für eine mögliche Verschmutzung des Registers zu machen. Die rasch nachfließende Wärmequelle (Bach- und Flusswasser) verhindert eine Eisbildung. Der Rohrabstand muss im Minimum 4 cm betragen. Zudem muss das

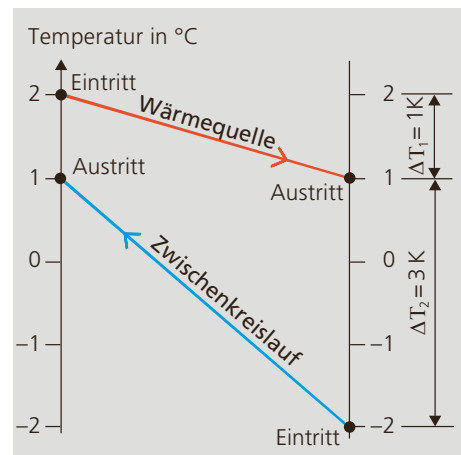
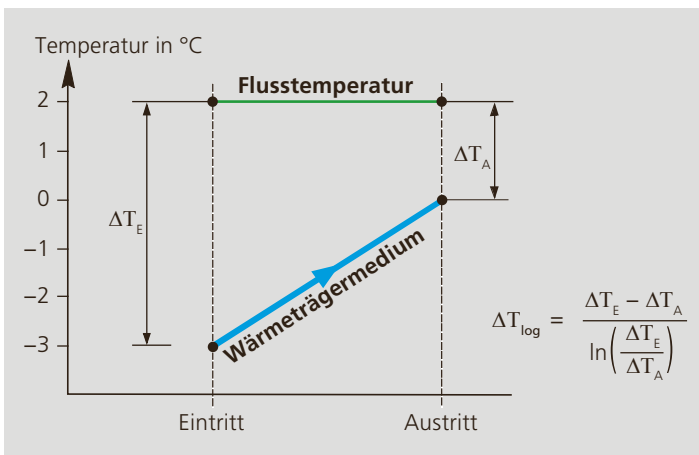


Abbildung 4.21:
Temperaturen
Wärmequellen und
Zwischenkreislauf.

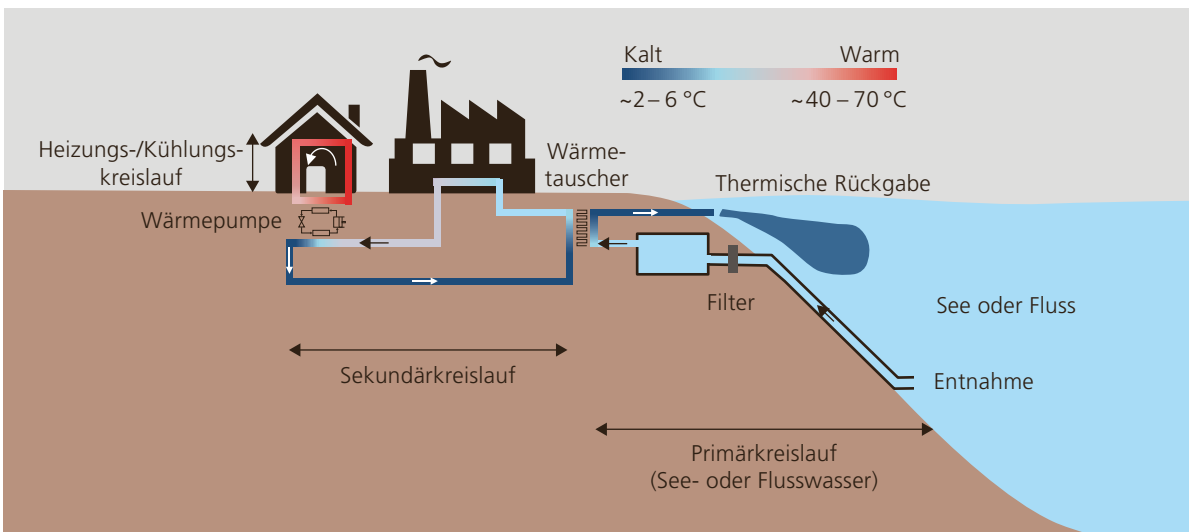


Abbildung 4.22:
Filterbrunnen bei
Seewassernutzung.
Im Beispiel wird der
Sekundärkreislauf zum
Kühlen (industrieller
Prozess) und Heizen
(Gebäude) genutzt,
das Rückgabewasser
ist kälter als das
Entnahmewasser
(Quelle: EAWAG 2018).

Register durch bauliche Massnahmen gegen Geröll geschützt werden und gut zu reinigen sein. Bei stehenden Gewässern ist diese Lösung nur bedingt brauchbar. Der Vorteil der Filterbrunnen-Lösung ist die praktisch verschmutzungsfreie Wasserentnahme. Ein monovalenter Betrieb ist häufig möglich. Bei der Nutzung von Seewasser ist dessen Temperaturschichtung zu beachten: die Entnahme sollte in mindestens 15 m Tiefe erfolgen, für Kältenutzung noch tiefer (Bereich 30 m – 70 m). Die Rückgabe sollte Oberflächenschichten nicht zusätzlich erwärmen.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

- Ein Zwischenkreislauf ergibt tiefere Verdampfungstemperaturen und damit schlechtere Leistungszahlen (Abbildung 4.21).
- Das Wasserangebot von Flüssen ist oft schwankend (insbesondere bei kleineren Fließgewässern).
- Bei Fließgewässern ist auch ober- und unterliegende (d. h. stromaufwärts respektive -abwärts) Nutzung zu berücksichtigen.
- Pro kW Wärmebedarf liegt der Wasserbedarf in der Regel bei ca. 300 l/h bis 400 l/h.
- Die Realisierung ist eher schwierig (insbesondere die Registerlösung, Seewasserfassungen sind relativ unproblematisch).
- Zur Nutzung von Oberflächengewässern ist eine amtliche Bewilligung notwendig. Das Bewilligungsverfahren und der Unterhalt können insbesondere bei der Registerlösung sehr aufwendig sein.
- Eine Wasseranalyse ist unbedingt empfehlenswert. Es ist allerdings zu beachten, dass die Wasserqualität saisonal schwanken kann. Auf die Materialisierung der Leitungen und Komponenten ist zu achten (Korrosion und Verschmutzung).
- Verschmutzungen oder Verstopfungen durch Wandermuscheln oder Biofilm beachten.
- Sommerlicher Wärmeeintrag ist aus ökologischer Sicht am heikelsten und wird daher kaum bewilligt.

4.4. ABWÄRME

Abwärme sollte, wenn immer möglich, direkt genutzt werden. Ist eine Direktnutzung aufgrund der geforderten Nutzungstemperaturen nicht möglich, so kann die vorhandene Abwärme mittels einer Wärmepumpe auf das notwendige Temperaturniveau angehoben werden.

ABWASSER

Abwasser ist in verschiedenen Formen vorhanden, z. B. ungereinigt in der Kanalisation, vorgereinigt in Industriebetrieben mit hohem Frischwasserbedarf oder gereinigt am Ende der Kläranlage. Die Wassertemperaturen bewegen sich zwischen 10 °C und 25 °C in der Kanalisation und in der Kläranlage sowie bis über 60 °C in Industriebetrieben.

Die Abkühlung des Abwassers ist bei richtig geplanten und entsprechend den Vorgaben der Kläranlagenbetreiber dimensionierten Anlagen kein Problem. Zudem ist eine solche Energienutzung weder für die Abwasserreinigung noch für Gewässer von Nachteil.

Systeme

Kanalwärmeübertrager: Die Energiegewinnung erfolgt über einen Wärmeübertrager, der in die Sohle des Abwasserkanals integriert wird. Bei neuen Abwasserkanälen werden auch direkt im Kanal einbetonierte Rohre zum Wärmeentzug eingesetzt.

Wärmeübertrager im Bypass: Der Einbau erfolgt parallel zum Abwasserkanal. Dies hat den Vorteil, dass während der Bauzeit fast keine Beeinträchtigung des Abwasserkanals stattfindet.

Energieentnahme ohne Kanalwärmetauscher: Dies ist bei grossen Anlagen, bei denen der Einsatz von Kanalwärmetauschern an technische Grenzen stösst, von Vorteil. Hier wird mit dem Abwasser mit oder ohne Zwischenkreislauf über den Verdampfer der Wärmepumpe gefahren. Damit der Verdampfer respektive der Wärmeübertrager nicht verschmutzt, ist entweder eine Vorreinigung des Abwassers nötig oder die Apparate sind konstruktiv auf die Abwasserqualität auszulegen.

Abwasser-Wärmepumpen: Der Energieentzug erfolgt direkt im oder neben dem Gebäude bevor das Abwasser der Kanalisation zugeleitet wird. Es sind verschiedene herstellereigenspezifische Systeme erhältlich.

Planungshinweise

- Diese Anlagen erfordern aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eine Mindestwassermenge.
- Beim Einsatz von Kanalwärmeübertragern kann mit einer spezifischen Entzugsleistung von ca. 1,5 kW/m² bis 2 kW/m² kalkuliert werden.
- Hohe Abwassertemperaturen erlauben eine grössere Abkühlung und damit einen grossen Energieentzug. Ideale Voraussetzungen sind bei Abwassertemperaturen gegeben, die im schlechtesten Fall über 10 °C liegen.
- Eine wichtige Voraussetzung ist ein kontinuierlicher Abwasseranfall. Auch nachts und an den Wochenenden sollten die betriebstechnisch notwendigen Mindestwassermengen eingehalten werden.
- Die Zugänglichkeit muss für den Einbau und die spätere Wartung gewährleistet sein.
- Die Wärmeübertrager im Bypass-Kanal müssen vor Verschmutzung und vor Fremdkörpern (Sand, Steine, Schlamm) freigehalten werden.
- Die Distanz zwischen der Wärmequelle und dem Standort der Wärmepumpe sollte möglichst kurz sein, da sonst für den Transport der gewonnenen Energie viel Transportenergie verbraucht wird, die sich auf die JAZ negativ auswirkt.
- Solche Anlagen sind von Spezialisten mit entsprechender Erfahrung zu planen.
- Das zuständige Amt für den Abwasserbereich von Anfang an miteinbeziehen.
- Nicht geeignet für Kleinanlagen.

Hinweis: Abwärmennutzung ist oft auch von Gesetzes wegen vorgeschrieben. Dabei ist nicht nur an Abwasser zu denken, Abwärmequelle kann z. B. auch die Rückkühlung von Kälteanlagen sein.

4.5. GEBÄUDEKÜHLUNG

Grössere, komplexe Dienstleistungsgebäude müssen heute aufgrund grösserer Internlasten (gemäss Norm SIA 2024:2015) und höherer Komfortansprüche der Nutzer gekühlt werden. Dabei ist es empfehlenswert, die Gebäude mittels Nutzung von Erdwärme, Grund- oder Oberflächenwasser direkt zu kühlen. In diesem Fall spricht man von freier Kühlung (Free-Cooling). Die nicht verwendbare Wärme wird der Luft, dem Grund-, Oberflächen- und Abwasser oder dem Erdreich zugeführt. Damit lässt sich das Erdsondenfeld in den Sommermonaten «regenerieren», mit der Folge einer höheren JAZ der Wärmepumpe. Ist eine freie Kühlung nicht möglich, so muss der Wärmeentzug im Verdichterbetrieb erfolgen (Aktiv-Kühlung).

Systeme

Prinzipiell unterscheidet man folgende Systeme:

- Kältegeführte Anlagen (Kältemaschine)
- Wärmegeführte Anlagen (Wärmepumpe)

Das heisst, die Führungsgrösse entscheidet, ob es sich um eine Kältemaschine oder eine Wärmepumpe respektive um eine kombinierte Anlage handelt. Die Energie kann grundsätzlich über dasselbe Verteilsystem dem Verbraucher zugeführt oder entzogen werden. Im Kühlbetrieb muss das System entweder gegen zu tiefe Betriebstemperaturen (Schwitzwasserbildung) geschützt werden oder ist entsprechend der Einsatzbedingungen zu dämmen und gegen Korrosion zu schützen. Eine kombinierte Nutzung der Wärmeübergabesysteme unterliegt gewissen Beschränkungen: Heizungen in üblicher Ausführung werden im Kühlfall mit einer Mediumtemperatur von minimalen 17 °C bis 20 °C betrieben, sodass sich (im Normalfall) kein Schwitzwasser bilden kann. Die Leistungsfähigkeit im Kühlbetrieb ist dadurch aber beschränkt.

Beispiele: Wird eine Niedertemperatur-Fussbodenheizung zur Gebäudekühlung (Changeover-Bodenkühlung) verwendet und wird die Wärme, z. B. mittels Wärmeübertrager, direkt der Erdsondenanlage zugeführt (Rückkühlung), handelt es sich um **freie Kühlung** (auch als «Natural Cooling» oder «Free Cooling» bezeichnet). Die Kühlung der Zuluft erfolgt mittels Verdichterbetrieb, entweder mit einer Kältemaschine oder einer auf Kältebetrieb umschaltbaren Wärmepumpe. Die Abwärme wird im Gebäude zumindest teilweise genutzt, die Restwärme wird über die Ausenluft mittels Rückkühler abgeführt. Hierbei handelt es sich um eine **Kältemaschine mit Abwärmenutzung**.

Planungshinweise

- Kantonale Energie- und Bauvorschriften beachten.
- Der Wärme- und Kältebedarf des Gebäudes mit den zugehörigen Medientemperaturen ist in einer frühen Phase zu definieren.
- Bei Erdwärmesondenanlagen ist bei der Wahl der Sondenlänge die primäre Nutzung zu berücksichtigen.
- Bei Grund-, Oberflächen- und Abwassernutzungen sind die maximalen Rückgabemperaturen mit den zuständigen Behörden unbedingt zu klären.
- Die Auslegung und die Definition der Einsatzgrenzen sowie die hydraulische und regeltechnische Schnittstelle sind zwingend mit dem Hersteller oder Lieferanten der Kälteanlage zu klären.
- Der Wärmedämmung (Schwitzwasser) des Rückkühlsystems ist ebenfalls Beachtung zu schenken, falls im Free-Cooling-Betrieb gefahren wird (kalte Leitungen der Rückkühlung im Warmbereich).
- Speziell zu beachten ist die richtige Wahl der regeltechnischen Schnittstellen zwischen Erzeugung, Verteilung und Verbraucher. Eine klare und zweckmässige Trennung erleichtert Planung Realisierung und Betrieb, vor allem bei komplexen Anlagen.
- Bei Fussbodenheizungen ist eine Vorlauftemperaturbegrenzung (mindestens 18 °C) vorzusehen (Vorbeugung von Kon-

densatbildung auf Bodenoberfläche respektive im Unterlagsboden).

LÜFTUNGS- UND KLIMAAANLAGEN

Systeme

Der Einsatz von Wärmepumpen ist auch bei Lüftungs- und Klimaanlage sinnvoll. Die Wärmepumpe stellt eine ideale Komponente für die Wärmerückgewinnung (WRG) oder Abwärmenutzung (AWN) dar. Damit ist es möglich, sowohl die sensible, wie auch die latente Wärme aus einem Abluftstrom zurückzugewinnen und diese Wärmeenergie samt dem dazu benötigten Kraftbedarf wieder in den Kreislauf zurückzubringen. Standardisierte Lösungen findet man z. B. bei Hallenbad-Lüftungsgeräten und bei Gebäuden mit kontrollierter Lüftung.

In Hallenbädern steht vor allem die Entfeuchtung der Raumluft im Vordergrund. Bei diesen Geräten wird der Luftstrom zuerst über den Verdampfer (Entfeuchtung) und anschliessend über den Verflüssiger (Wiedererwärmung des Luftstroms) geleitet. Die überschüssige Wärme wird oft zur Badwassererwärmung genutzt.

Eine weitere Anwendung ist bei dezentralen Lüftungsanlagen zu finden. Bei kleineren Anlagen mit einer Distanz zwischen Fort- und Zuluftanlagen von weniger als 25 m wird direkt der Verdampfer in den Fortluft- respektive der Verflüssiger in den Zuluft-Monobloc eingebaut. Bei grossen Anlagen oder grossen Distanzen ist ein Zwischenkreislauf empfehlenswert. Bei einem Wärmeüberschuss können die Anlagen zur Gebäudeheizung oder ausserhalb der Heizperiode zur Warmwasserbereitung genutzt werden.

Planungshinweise

- Die Wärmeübertrager in den Lüftungsanlagen müssen für eine regelmässige Reinigung gut zugänglich sein. Weiter ist eine geeignete Wärmedämmung vorzusehen (Schwitzwasser).
- Die beiden Energieströme (Quelle und Senke) sollten möglichst gleichzeitig verfügbar sein, da sonst eine Energiespeicherung benötigt wird, die sehr schnell hohe Kosten verursachen kann.

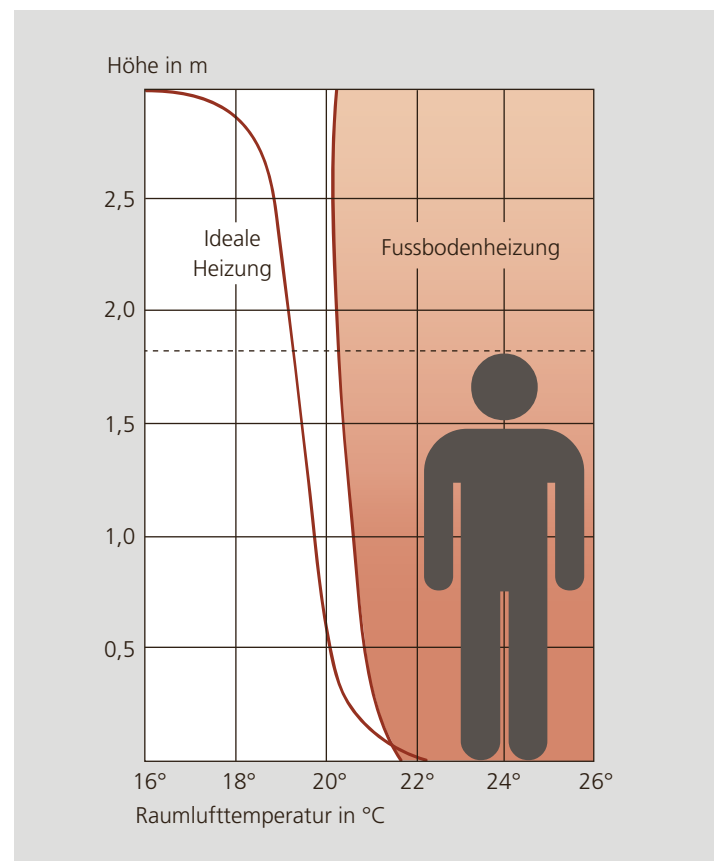
5. WÄRMEABGABE

Mit der Wärmeübergabe wird das System bezeichnet, mit dem die von der Wärmerepektive Kälteerzeugung bereitgestellte und vom Verteilsystem transportierte Wärme oder Kälte an den Raum übergeben wird. Im Folgenden wird auf den Heizfall fokussiert, dann wird üblicherweise vom Wärmeabgabesystem gesprochen. Die Temperaturen des Wärmeabgabesystems sind direkt von der Norm-Heizlast (Wärmeleistungsbedarf) des Gebäudes und damit von dessen energetischen Konstellation (Standort, Lage, Geometrie, Konstruktion, Wärmedämmung, Nutzung) und von den gesetzlichen Vorschriften abhängig. So hatte die Reduktion des Energiebedarfs durch die seit den 1980er-Jahren eingeführten Energiegesetze einen direkten Einfluss auf den Wärmeleistungsbedarf und die Auslegung von Raumheizungssystemen. Heute sind die maximal zulässigen Vorlauftemperaturen durch den Gesetzgeber vorgegeben. Ein wesentliches Kriterium bezüglich der notwendigen Temperaturen im Heizsystem betrifft die Ausführung. Insbesondere die Grösse der Wärmeübertragungsfläche ist relevant, welche beispielsweise Fussbodenheizungen von Radiatorheizungen deutlich unterscheiden.

Da Wärmepumpen bei kleineren Temperaturhüben zwischen Verdampfer und Verflüssiger die eingesetzte Verdichterenergie effizienter nutzen, ist eine möglichst tiefe Verflüssigungstemperatur und damit Vorlauftemperatur im Heizsystem anzustreben. Im Besonderen ist im Teillastfall eine gleitende Vorlauftemperatur der konstanten Betriebsweise vorzuziehen, wobei hiermit die Austrittstemperatur der Wärmepumpe und nicht nur des Wärmeabgabesystems als ausschlaggebende Grösse zu verstehen ist. Wärmepumpen mit unnötig hohen Aus-

trittstemperaturen verschwenden hochwertige elektrische Energie und belasten das Betriebsbudget des Betreibers. Zudem ist die technische Lebensdauer der Komponenten bei höheren Betriebsdrücken (im Kältekreis) kürzer. Energetisch bieten Niedrigstenergiehäuser mit Flächenabgabesystemen allerbeste Voraussetzungen für den Betrieb von Wärmepumpen. Diese unterliegen in ihrer Funktion jedoch auch thermodynamischen und konstruktiven Gesetzmässigkeiten. Dadurch sind einer Auslegung auch Grenzen gesetzt. Modernere Geräte ermöglichen teilweise zwar eine Leistungsmodulation, der Modulationsbereich bleibt aber stets mehr oder weniger beschränkt. Im Gegensatz zu einer Kesselanlage, bei der die Bren-

Abbildung 5.1: Verlauf der Temperatur in einem Raum mit Fussbodenheizung. Die Temperatur sinkt mit der Höhe leicht ab und wird als angenehm empfunden.



nerleistung und damit die Kesselleistung in begrenztem Rahmen angehoben werden kann, ist dies bei der Wärmepumpe nicht möglich. Daher sind Wärmepumpen beispielsweise schlecht geeignet, um mit einer erhöhten Vorlauftemperatur eine Bauaustrocknung zu bewältigen oder eine Nachtabsenkung energetisch auszugleichen.

5.1. WARMWASSERHEIZUNG

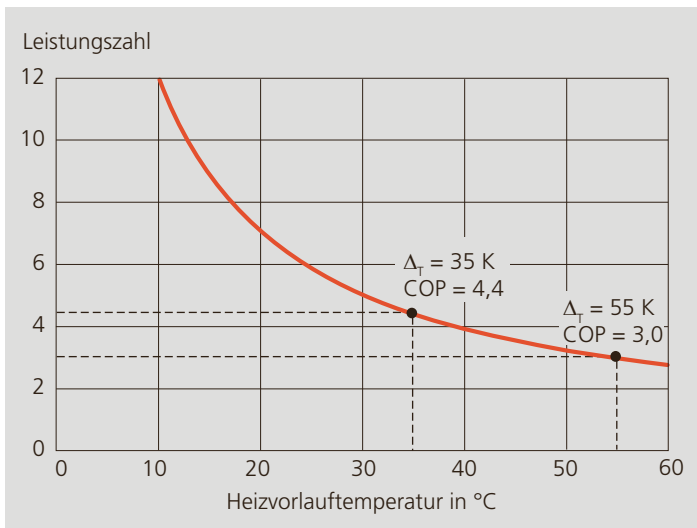
Systeme

Wärmeabgabesysteme bei Warmwasserheizungen beziehen sich vorwiegend auf Fussboden- und Heizkörperheizungen oder Kombinationen der beiden Systeme. In den vergangenen Jahren kommen, vor allem in Niedrigenergiebauten, auch thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) zum Einsatz.

Physikalisch basiert die Wärmeabgabe an den Raum beinahe ausschliesslich über Konvektion und Wärmestrahlung. Das Verhältnis von Konvektion zu Strahlung wird für jedes Wärmeabgabesystem durch den Heizkörper-Exponenten n in der Heizkörper-Auswahlliste angegeben und ist für weitere Berechnungen wichtig. Je kleiner der Heizkörper-Exponent ist, desto grösser ist der Strahlungsanteil. Der Heizkörper-Exponent beträgt etwa:

- Plattenheizkörper: $n = 1,2 - 1,3$
- Radiatoren: $n = 1,3$
- Fussbodenheizungen: $n = 1,1$

Abbildung 5.2: Verlauf der Leistungszahl in Abhängigkeit der Heizvorlauftemperatur ($^{\circ}\text{C}$) einer Wärmepumpe mit Erdkollektor (0°C) und Fussbodenheizung (Winter).



FUSSBODENHEIZUNG

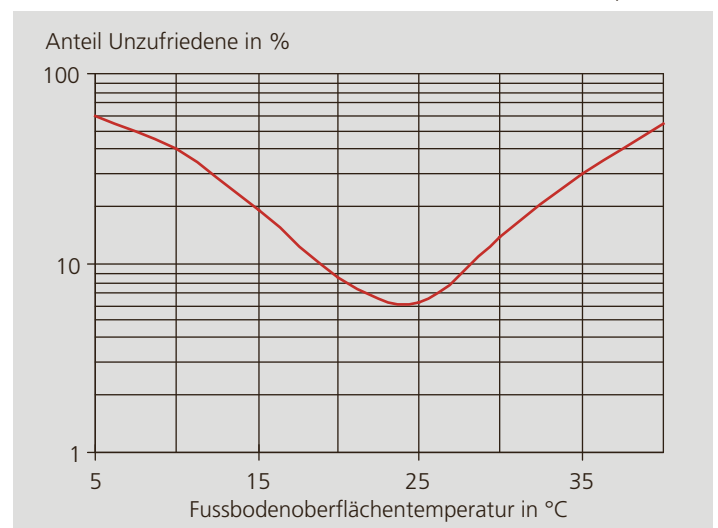
Vorteile

- Grosse Wärmeabgabe bei tiefen Vorlauftemperaturen aufgrund der Kompensation durch die grosse Fussbodenfläche.
- Selbstregeleffekt: Die Wärmeabgabe von Bodenheizungen regelt sich bis zu einem gewissen Grad selbst. Beispiel: Erwärmt sich die Raumluft durch Sonneneinstrahlung oder erhöhte Personenbelegung, vermindert sich automatisch die Wärmeabgabe der Fussbodenoberfläche. Dieser Selbstregeleffekt ist bei Fussbodenheizungen auf Grund der geringen Temperaturdifferenz zwischen Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der Heizfläche (in der Regel rund 2 K) besonders ausgeprägt. Gute Temperaturverteilung über die Raumhöhe (Abbildung 5.1).
- Unterlagsboden (Estrich) kann als Speicher benutzt werden.
- Bodenheizung kann im Sommer auch zur (sanften) Bodenkühlung genutzt werden (Change-over). Es muss lediglich ein zusätzlicher Wärmetauscher als Netztrennung zwischen heizen und kühlen installiert werden. Kondensatbildung vermeiden (Taupunktregelung)!

Nachteile

- Trägheit durch den Einbau im Unterlagsboden
- Wärmeabgabesystem ist nach der Erstellung nicht mehr zugänglich.

Abbildung 5.3: Prozentsatz unzufriedener Personen, die leichte Hausschuhe tragen, in Funktion der Fussbodenoberflächentemperatur.



Die Reduktion des Energiebedarfs durch die seit den 1980er-Jahren eingeführten Energiegesetze hat einen direkten Einfluss auf den Wärmeleistungsbedarf und die Auslegung von Raumheizungssystemen. In der Folge können die Vorlauftemperaturen zum Teil massiv gesenkt werden. Mit der tiefen Vorlauftemperatur erreichen wir bei der Wärmepumpe einen effizienteren Energieeinsatz.

Die gängige Vorstellung von «Fussbodenheizung gleich warmer Fussboden» entspricht nicht der Realität. Es ist die Pflicht der Planer und Installateure, Architekten und Bauherr-

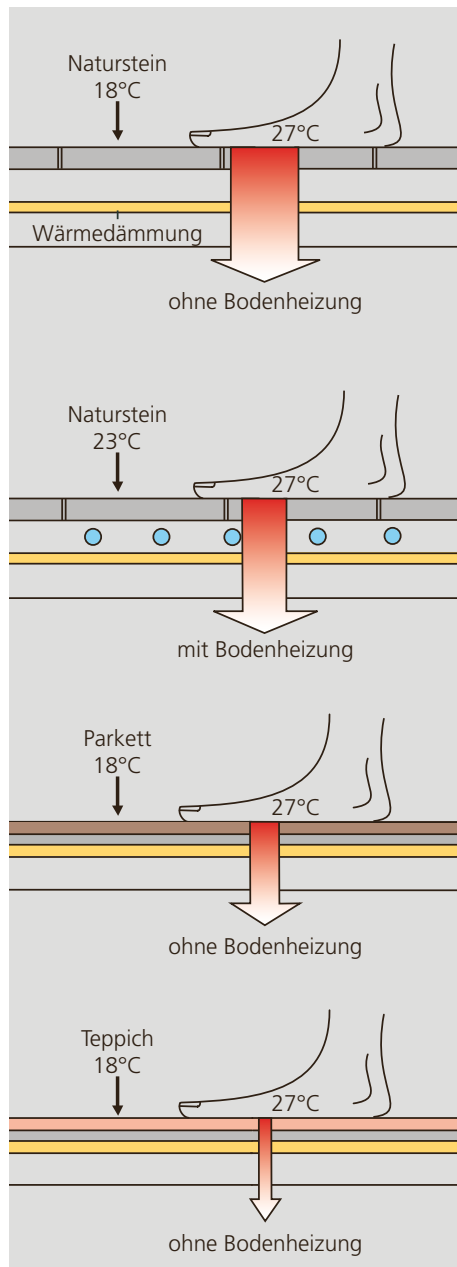


Abbildung 5.4: Wärmeabfluss vom Fuss bei unterschiedlichen Bodenbelägen.

schaften darüber zu informieren, dass die tiefen Vorlauftemperaturen für die Materialwahl des Fussbodenbelages eine nicht zu unterschätzende Bedeutung hat. Denn Fussbodenheizungen führen häufig aufgrund kalter Oberflächen zu Reklamationen (siehe Abbildung 5.3).

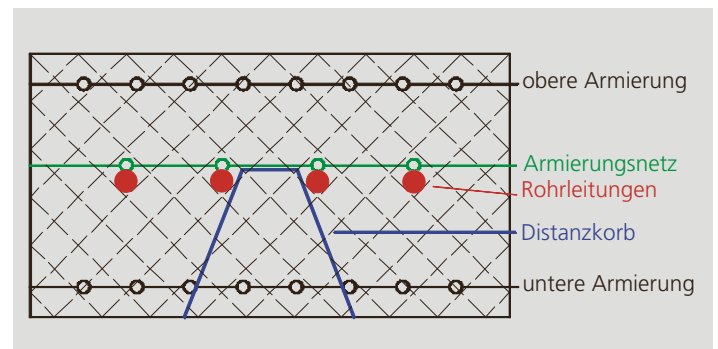
Abbildung 5.4 zeigt sehr eindrücklich den Wärmabfluss aus dem Fuss bei unterschiedlichen Materialien der Fussbodenoberfläche.

THERMOAKTIVE BAUTEILSYSTEME

Thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) sind Bauteile, die als Teil der Raumschliessungsflächen über ein integriertes Rohrsystem mit einem Heiz- oder Kühlmedium beaufschlagt werden können und so die Beheizung oder Kühlung des Raumes ermöglichen. Die Konstruktionsvielfalt reicht nach diesem Verständnis von Heiz- beziehungsweise Kühldecken über Geschosstrenndecken mit kernintegrierten Rohren bis hin zu Fussbodenheizungen. Die darin enthaltenen (extrem) trägen Systeme werden bewusst eingesetzt, um Energieangebot und Raumenergiebedarf unter dem Aspekt

Abbildung 5.5: Detailschnitt TABS.

Abbildung 5.6: Verwaltungsgebäude mit 6000 m² thermoaktiver Bauteile (Bild: Vescal).



der rationellen Energieanwendung zeitlich zu entkoppeln, z. B. aktive Bauteilkühlung in der Nacht, passive Raumkühlung über den kühlen Bauteil am Tage. Gebäude- und Anlagenkonzepte, die träge reagierende thermoaktive Bauteilsysteme vorsehen, setzen im kompetenten und verantwortungsvollen Planungsprozess den Einsatz von modernen Gebäudesimulationswerkzeugen voraus, um fundierte Aussagen über Behaglichkeit und Energiebedarf treffen zu können.

Entscheidend ist der Wärmeübergang: Für den Wärmeaustausch zwischen thermoaktiven Bauteilen und dem Raum kann mit einem kombinierten Wärmeübergangskoeffizienten (α) für Strahlung und Konvektion gerechnet werden. Bei horizontalen oder vertikal nach oben gerichteten Wärmeströmen beträgt dieser kombinierte Koeffizient ca. 7 bis 8 $W/m^2 K$ (durch Konvektion ca. 2 bis 3 $W/m^2 K$, jener durch Strahlung ca. 5 $W/m^2 K$). Beispielsweise ergibt dies bei einem typischen Temperaturunterschied zwischen Bauteiloberfläche und Raumluft von 6 K (Bauteiloberflächentemperatur von 19°C und Raumlufttemperatur von 25°C) einen Wärmeübergang von rund 50 W/m^2 . Wirkt eine Wärmeleistung von 50 W/m^2 während

24 Vollbetriebsstunden der Bauteilkonditionierung, so ergibt sich eine Wärmemenge von 1,2 kWh/m^2 , die pro Tag an den Raum abgegeben werden kann.

HEIZKÖRPERHEIZUNG

Vorteile

- Reagiert schnell auf Laständerungen.
- Wärmeabgabesystem ist jederzeit zugänglich.
- Kaltluftabfall an kalten Oberflächen kann je nach der Platzierung des Heizkörpers vermieden werden.
- Hohe Flexibilität bei Umbauten, da Heizkörper einfach demontiert und versetzt werden können.

Nachteile

- Kleinere Wärmeleistung bei tiefen Vorlauftemperaturen
- Schlechtere Temperaturverteilung über die Raumhöhe (Abbildung 5.7)
- Kalter Boden bei Steinplatten
- Benötigt relativ grosse Heizkörperflächen.
- Mit diesem System kann nicht gekühlt werden.

Abbildung 5.7: Temperaturverlauf mit Radiatorenheizung.

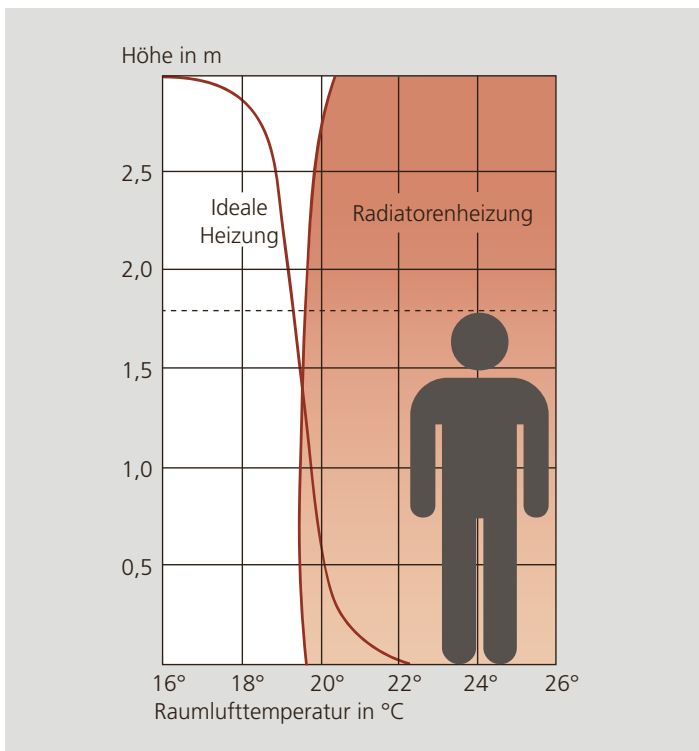
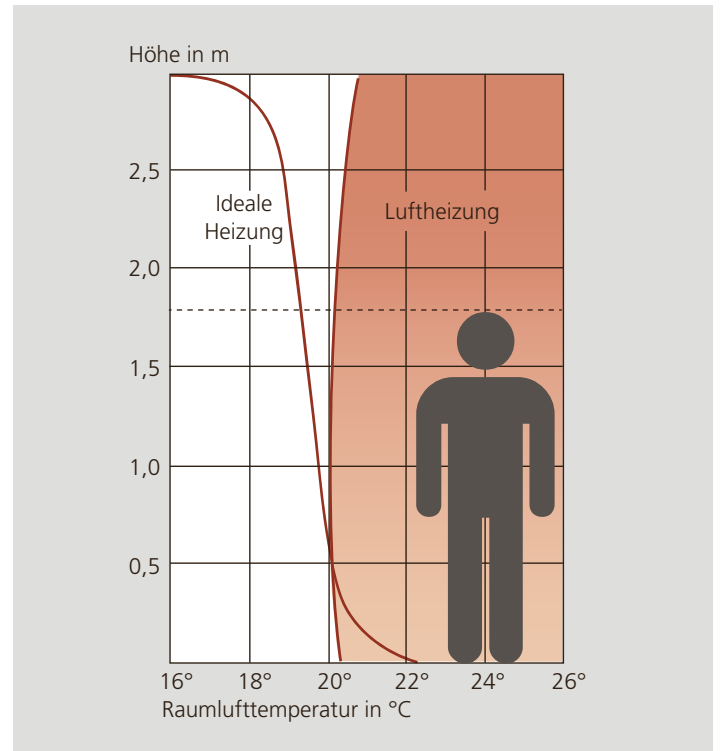


Abbildung 5.8: Temperaturverlauf mit Luftheizung.



Auch bei Heizkörperheizungen verändern sich die Heizflächen (Fläche, die aktiv zur Wärmeabgabe beiträgt) in Abhängigkeit der Systemtemperaturen und des Heizbedarfs, wobei hier Grenzen bezüglich Ansichtsfläche (Fläche, mit der die Heizfläche von vorne wahrgenommen wird) und Materialeinsatz gesetzt werden.

Planungshinweise

- Tiefstmögliche Vorlauftemperaturen wählen (Niedertemperatur-Heizkörper).
- Gesetzliche Rahmenbedingungen (maximale Vorlauftemperaturen) beachten.
- Bei der Kältemittelwahl muss die Temperaturdifferenz berücksichtigt werden (Temperaturgleit).
- Maximale Vorlauftemperatur der im Estrich oder im Unterlagsboden verlegten Leitungen beachten (SIA-Normen).

5.2. RAUMLUFTTECHNISCHE ANLAGEN

LUFTHEIZUNG

Systeme

Die Luftheizung als Zusatzfunktion einer Wohnungslüftung (oft auch Komfortlüftung genannt) ist für Minergie-P- und Passivhäuser eine mögliche Alternative zu den wasserführenden Wärmeabgabesystemen. Ihr Hauptvorteil liegt darin, dass auf ein separates, wasserführendes Heizsystem verzichtet werden kann. Voraussetzung ist eine äußerst sorgfältige Planung.

Vorteile

- Reagiert schnell auf Laständerungen
- Wärmeabgabesystem ist bei nicht einbetonierten Systemen jederzeit zugänglich.
- Kein zusätzliches Verteilsystem notwendig (Nutzung des Lüftungssystems zu Heizzwecken)

Nachteile

- Schlechtere Temperaturverteilung über die Raumhöhe
- Kalter Boden bei Steinplatten
- Möglicher Kaltluftabfall an den kalten Oberflächen

- Hygiene im Luftkanalnetz
- Höhere Verflüssigungstemperatur notwendig (schlechterer COP)
- Wasser hat eine um den Faktor 3200 höhere Wärmekapazität als Luft (Volumen bezogen), entsprechend sind Lüftungen weniger energieeffizient als wasserführende Systeme (hohe Luftvolumenströme notwendig).
- Gefahr trockener Luft

Planungshinweise

- Tiefstmögliche Zulufttemperaturen wählen. Jedoch muss sichergestellt sein, dass keine Zugserscheinungen auftreten.
- Bei der Kältemittelwahl muss die Temperaturdifferenz berücksichtigt werden (Temperaturgleit).
- Zuluftöffnung im Aufenthaltsbereich meiden

5.3. TRINKWARMWASSER

Systeme: Die Wassererwärmung mittels Wärmepumpe kann grundsätzlich in zwei Systeme unterteilt werden. Dabei muss stets mit einer Legionellen-Schaltung sichergestellt werden, dass die Wassertemperatur periodisch auf über 60°C erwärmt werden kann. Dies sowohl im Speicher als auch in den Verbindungsleitungen zu den Verbrauchern.

- **Indirekte Erwärmung:** Das Wasser wird indirekt durch einen oder mehrere Wärmeübertrager vom Heizsystem erwärmt.
- **Direkte Erwärmung:** Das Wasser wird direkt durch einen oder mehrere Wärmeübertrager vom Kältekreislauf erwärmt. Selbstverständlich sind auch beide Systeme kombinierbar (z. B. Warmwasser-Wärmepumpe, oft als Wärmepumpen-Boiler bezeichnet).

INDIREKTE ERWÄRMUNG

Vorteile

- Einfache Einbindung mit standardisierten hydraulischen Schaltungen
- Hohe Verfügbarkeit von Standardkomponenten

Nachteile

- (Gleichzeitiger) Parallelbetrieb Heizung und Wassererwärmung nur bei tieferem Gesamtwirkungsgrad der Anlage möglich.
- Tieferer Wirkungsgrad wegen zusätzlichem Wärmetauscher
- Tiefere Wassertemperaturen wegen zusätzlichem Wärmetauscher

Typische Beispiele für indirekte Nutzung:

- Speicher mit aussen liegendem Wärmeübertrager
- Register-Speicher
- Kombi- oder Spiro-Speicher

Hinweis: Eine Warmwasservorrangschaltung mit angepasstem Temperaturniveau (z. B. 55 °C für Warmwasserladung, 40 °C für Heizbetrieb) ist dem (gleichzeitigen) Parallelbetrieb von Heizung und Wassererwärmung vorzuziehen, damit die Wärmepumpe im je-

weils optimalen Betriebspunkt (tiefstmögliche Austrittstemperaturen; grösstmögliche Effizienz) arbeiten kann.

DIREKTE ERWÄRMUNG

Vorteile

- Höherer Wirkungsgrad
- Temperaturgerechte Wärmenutzung durch Enthitzen, Verflüssigen und Unterkühlen des Kältemittels

Nachteile

- Kältemittelseitig sind getrennte Wärmeübertrager für Heizung und Trinkwassererwärmung von Vorteil.
- Grössere Kältemittelinhalte
- Höhere Kalkausscheidung, dadurch häufigere Reinigung der Wärmeübertrager (Enthitzer, Verflüssiger)
- Öl-Kälte-Kreislauf muss lebensmittel-tauglich ausgeführt sein (doppelwandige Rohre mit Kältemittelfühler).

Abbildung 5.9:
Systeme mit
indirekter Wasser-
erwärmung.

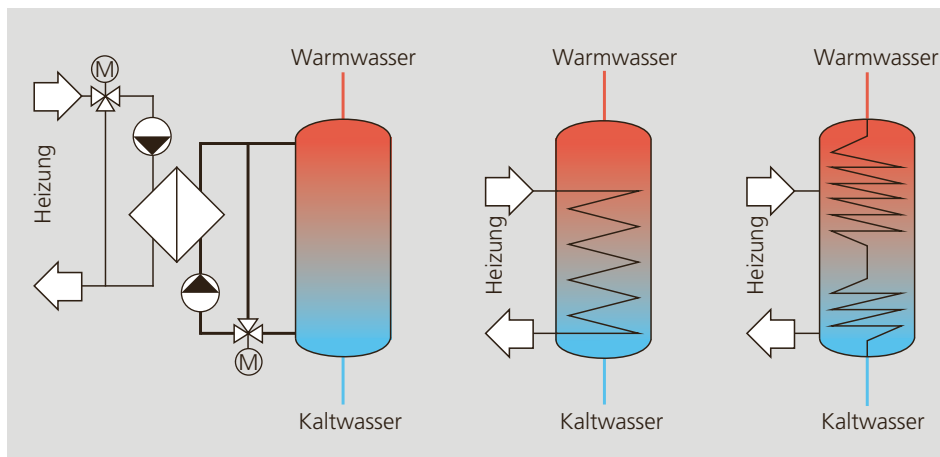
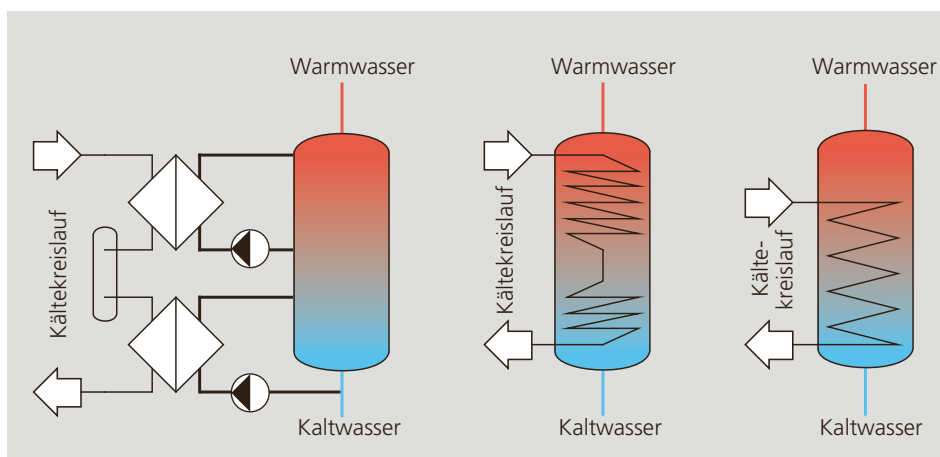


Abbildung 5.10:
Systeme mit
direkter Wasser-
erwärmung.



Temperaturgerechte Wärmeauskopplung: Der Temperaturhub bei der Wassererwärmung ist im Vergleich zur Heizwassererwärmung meistens wesentlich höher. Dieser Umstand kann insofern genutzt werden, als dass bei der Auslegung der Wärmepumpe und der hydraulischen Einbindung die Enthitzungs-, Verflüssigungs- und Unterkühlungswärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus entnommen werden. Diese Optimierung der Wärmeentnahme kann mit unterschiedlichen Systemen umgesetzt werden.

- Getrennte Wärmeübertrager (Enthitzer, Verflüssiger, Unterkühler).
- Konstruktive Massnahmen zur Nutzung der Unterkühlung und Enthitzung im Verflüssiger.

Typische Beispiele für indirekte Erwärmung sind:

- Speicher mit aussen liegendem Verflüssiger und Unterkühler
- Speicher mit getrennten Register-Zonen für Enthitzung, Verflüssigung und Unterkühlung
- Speicher mit einfachem Register

Planungshinweise

- Bei monovalenten Systemen ist der Einsatz einer elektrischen Notheizung zu prüfen (gesetzliche Vorgaben beachten).
- Zur Verhinderung von Legionellen sind im ganzen Warmwassernetz die notwendigen Vorkehrungen zu treffen.
- Die Wassererwärmung sollte ganzjährig über die Wärmepumpe erfolgen, nicht nur in der Heizsaison. Bei der Auslegung von Erdwärmesonden ist dies zu berücksichtigen.
- Zu hohe Temperaturen auf den Wärmeübertrager-Oberflächen fördern die Kalkausscheidung im zu erwärmenden Wasser.
- Dem Einfluss der Zirkulation ist Rechnung zu tragen.
- Die Schichtung im Warmwasserspeicher muss gewährleistet sein (bei bestehenden Speichern prüfen).
- Die Wärmetauscher im Warmwasserspeicher müssen auf die maximale Leistung der Wärmepumpe ausgelegt werden. (Luft-Was-

ser-Wärmepumpen haben im Sommer fast die doppelte Leistung.)

- Aufstellort möglichst nahe beim Hauptverbraucher, um Verteilverluste und Ausstosszeiten gering zu halten.

LEGIONELLEN

Bakterien der Klasse Legionellen kommen fast überall in der Natur vor, auch im Trinkwasser. Durch Einatmen von Legionellen entsteht ein Erkrankungsrisiko («Legionellose»), vor allem für Lungenentzündungen. Ideale Lebensbedingungen finden Legionellen in einem Temperaturbereich zwischen 25°C und 45°C vor, eine Abtötung findet erst ab 55°C statt. Die Norm SIA 385/1 (Ausgabe 2011) fordert deshalb Mindesttemperaturen von 60°C im Warmwasserspeicher (Boiler) respektive auf der warmen Seite der Wärmepumpe. Warm gehaltene Leitungen müssen auf mindestens 55°C gehalten werden, an der Zapfstelle darf die Temperatur nicht unter 50°C liegen. Kaltwasserleitungen sollten so installiert sein, dass sie sich nicht (z. B. durch parallel laufende Warmwasser- oder Heizungsleitungen) aufwärmen.

Wärmepumpen mit tiefen Vorlauftemperaturen müssen mit einer «Legionellen-Schaltung» ausgerüstet sein, mit der die Temperatur periodisch auf 60°C erhöht werden kann. Trinkwarmwasser, das innert 24 Stunden genutzt wird, hat kein Risiko für Legionellenbildung, weshalb Speicher nicht zu gross gewählt werden sollten (Dimensionierung nach Norm SIA 385/2). Weitere Massnahmen am Verteilnetz sind:

- Trennung nicht genutzter Leitungsteile vom Netz
- Kurze Leitungslängen
- Gute Durchspülung (kein stagnierendes Wasser)
- Selten benutzte Entnahmestellen sowie Duschschräuche, Bad- und Duscharmaturen regelmässig spülen und reinigen.

5.4. ANDERE SYSTEME

WÄRMEPUMPEN-WASSERERWÄRMER

Der Wärmepumpen-Wassererwärmer (Wärmepumpen-Boiler) ist eine kompakte Einheit, bestehend aus Luft-Wasser-Wärmepumpe und Speicher. Die benötigte Energie aus der Luft kann dem Aufstellungsraum, der Aussenluft, einem benachbarten Raum oder aus der Abluft des Gebäudes entzogen werden. Die Luft wird am Verdampfer abgekühlt und entfeuchtet, d. h. sie kann für Vorrats- oder Trocknungsräume genutzt werden. Richtige Dimensionierung, Siphonierung der Warmwasser-Anschlüsse (je nach Verteilsystem, z. B. bei Begleitheizungen nicht notwendig) und vollständige Wärmedämmung sorgen für hohe Energieeffizienz, wodurch sich die Geräte zum Ersatz von Elektroboilern anbieten. Nebst den Kompaktgeräten sind auch Split-Geräte zur einfachen Nutzung von Aussenluft als Wärmequelle erhältlich.

Planungshinweise

- Die Energiebilanz muss sehr gut abgeklärt werden, damit kein Wärmediebstahl aus beheizten Räumen entsteht.

- Sehr gute Wärmedämmung gegen beheizte Räume vorsehen.
- Zur Verhinderung von Legionellen sind im ganzen Trinkwassernetz die notwendigen Vorkehrungen zu treffen (vgl. Abschnitt 5.3, «Legionellen»).
- Für Notfälle ist ein zusätzlicher Elektroheizstab vorzusehen (auch für allfällige Legionellenschaltung zulässig).
- Kondensatablauf erforderlich.

SCHWIMMBADWASSER-WÄRMEPUMPE

Luft-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung von Aussenschwimmbädern in der warmen Jahreszeit.

Planungshinweise

- Kantonale Vorschriften betreffend Erstellung und Energie (z. B. Abdeckung der Wasseroberfläche) beachten.
- Materialwahl bei den Komponenten beachten.
- Aufstellungsort bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (Akustik, Verschmutzung, Grenzabstände) beachten.
- Vorschriften beachten (Bewilligungen).

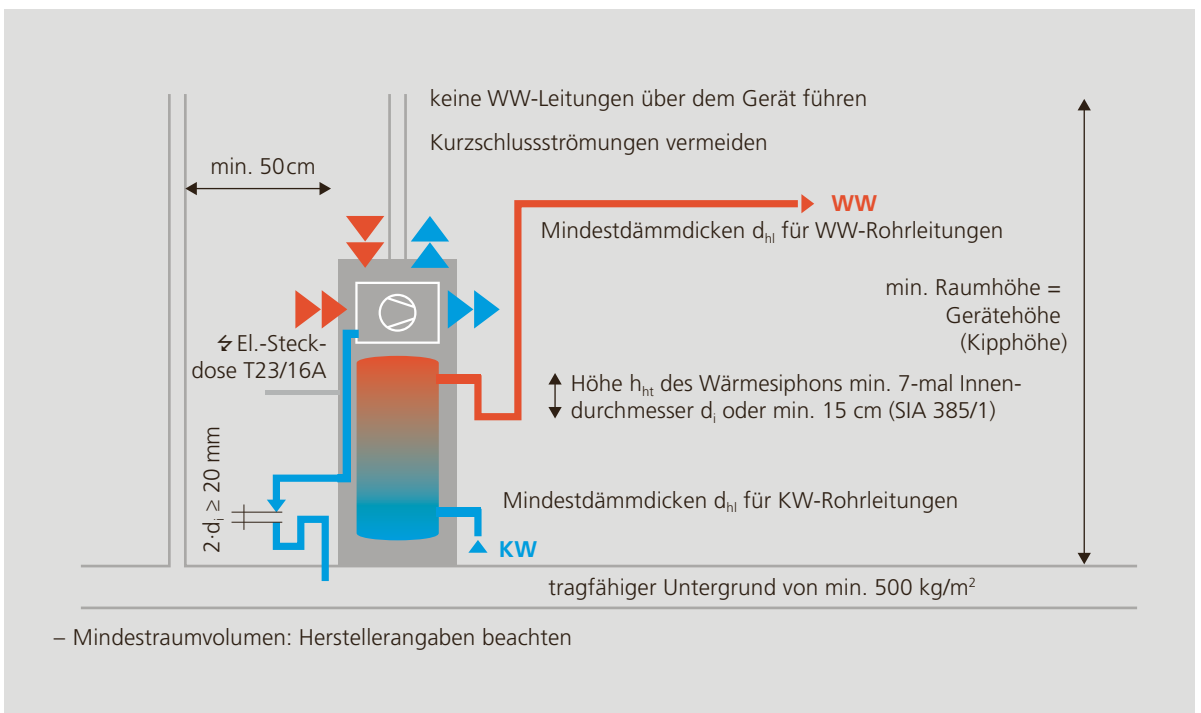


Abbildung 5.11:
Aufstellung von
Wärmepumpen-
Wassererwärmer
(Quelle: GKS Merk-
blatt «Warmwasser-
Wärmepumpen»).

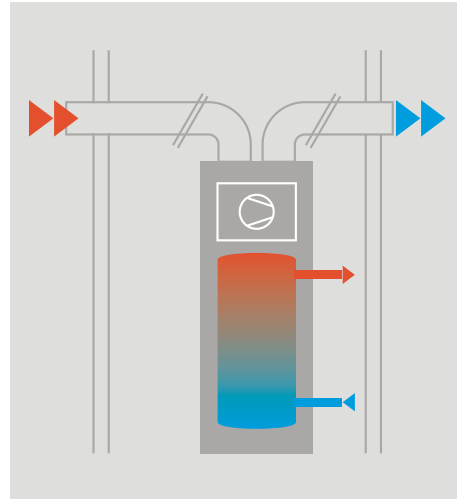


Abbildung 5.12: Wärmepumpen-Wassererwärmer mit Kanalsystem zur Nutzung von Aussenluft als Wärmequelle (Quelle: GKS-Merkblatt «Warmwasser-Wärmepumpen»).

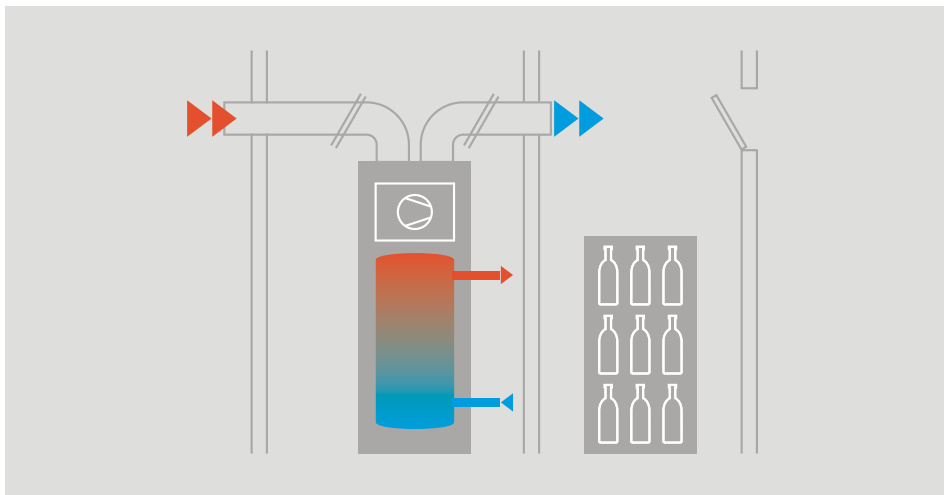


Abbildung 5.13: Aufstellung von Wärmepumpen-Wassererwärmer zur Raumkühlung.



Abbildung 5.14: Aufstellung von Wärmepumpen-Wassererwärmer zur Raumentfeuchtung.

6. EINBINDUNG DER WÄRMEPUMPE IN DIE HAUSTECHNIK

6.1. GRUNDSATZ

Die Wärmepumpe wird ins hydraulische System der Haustechnik eingebunden. Dabei soll die Schnittstelle so gestaltet werden, dass ein energieeffizienter, ökonomischer und störungsarmer Betrieb gewährleistet wird. Folgende Punkte sind dabei zu beachten:

- Korrekte hydraulische Einbindung, ohne Serieschaltung von Umwälzpumpen u. ä.
- Allfällige hydraulische Entkoppelung der Wärmeerzeugung von der Wärmeverteilung mittels Speicher oder eventuell mit einer hydraulischen Weiche (wenn nötig)
- Spülen der Anlage vor dem Anschluss der Wärmepumpe.
- Wärmeleistungsabgabe (allenfalls inklusive Verluste des Verflüssiger-Anschlusses)
- Deckungsgrad der Wärmepumpe (wenn möglich monovalent)
- Möglicher beziehungsweise notwendiger Luftvolumenstrom bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Abtauprozess bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Betriebstemperaturen Wärmeabgabesystem (insbesondere maximale Vorlauftemperatur)
- Einsatzgrenzen der Wärmepumpe
- Anpassung an die Teillastfälle
- Die verfügbare Leistung aus der Umwelt (allenfalls inklusive Verdampferanschluss)
- Die Vorschriften für die Belüftung der Heizzentrale sowie die räumliche Trennung von Kessel und Wärmepumpe ist abhängig von Art und Menge des Kältemittels sowie des Zusatzenergieträgers.
- Schallschutz (innen und aussen)
- Bei Betriebsoptimierungen siehe Merkblatt SIA 2048 (Checklisten)

Abbildung 6.1:
Monovalenter
Betrieb.

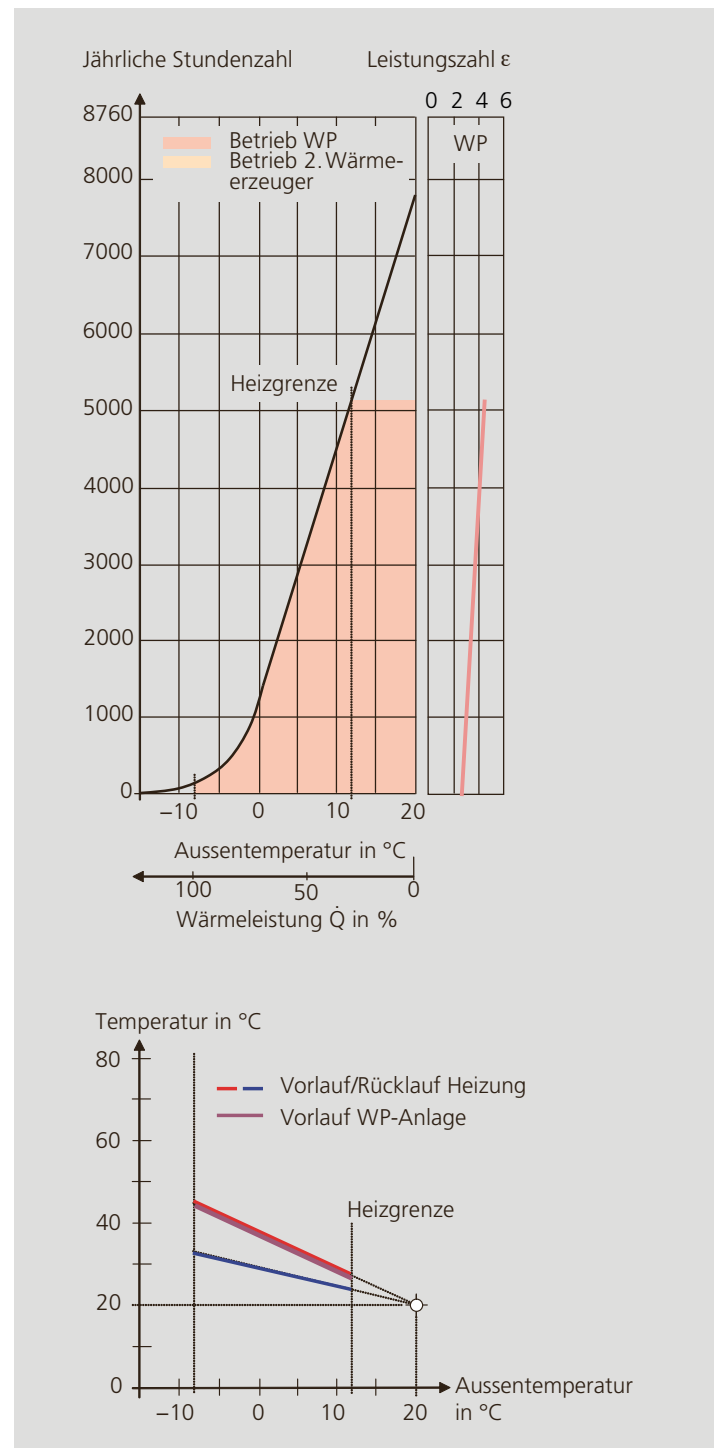
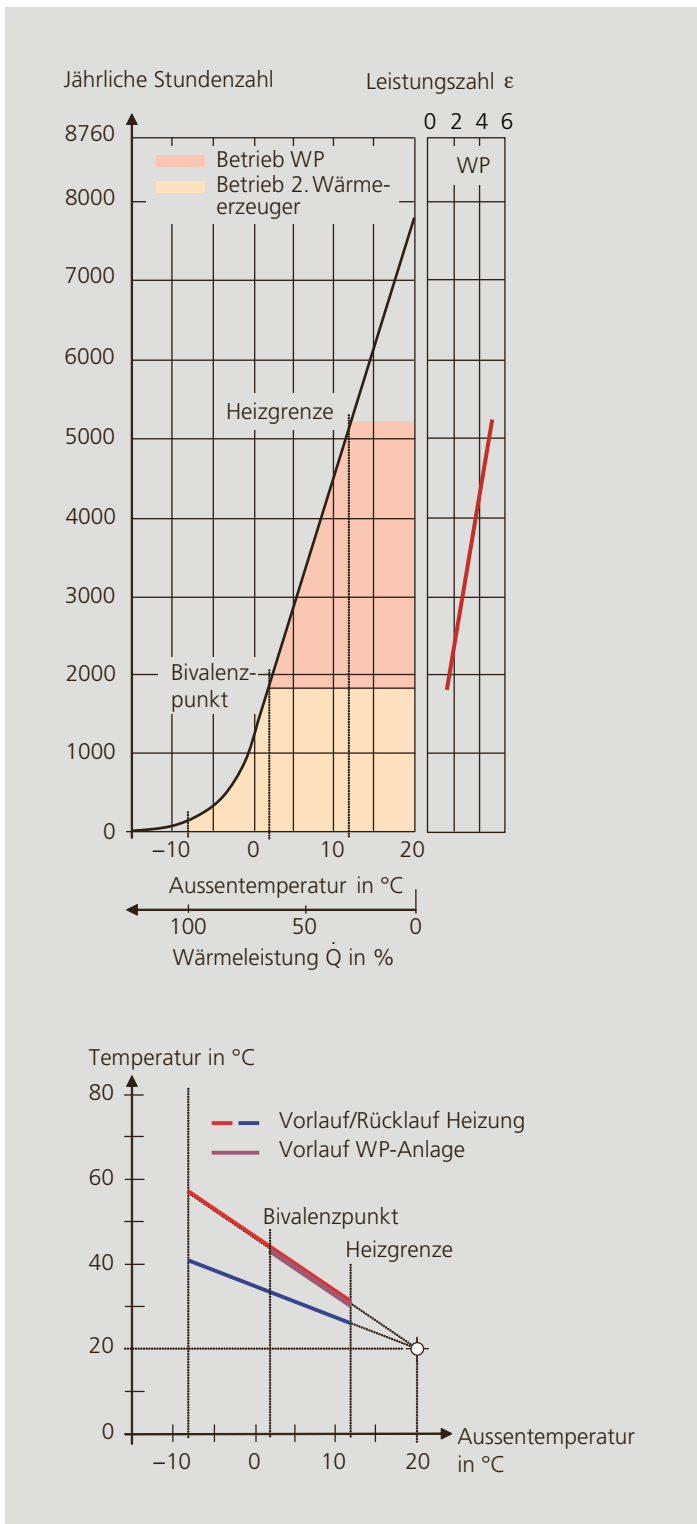


Abbildung 6.2:
Bivalent-alternativer
Betrieb.



6.2. BETRIEBSARTEN

MONOVALENTER BETRIEB

Beim monovalenten Betrieb stellt die Wärmepumpe in allen möglichen Betriebszuständen die erforderliche Heizleistung zur Verfügung. Die Wärmepumpe muss somit auf den maximalen Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes sowie für die maximal notwendige Vorlauftemperatur ausgelegt werden (Abbildung 6.1).

BIVALENTER BETRIEB

Kann oder soll die Wärmepumpe nicht die gesamte Heizleistung erbringen, so wird ein zweiter Wärmeerzeuger benötigt. In diesem Fall wird von einem bivalenten System respektive bivalentem Betrieb gesprochen. Der Bivalenzpunkt ist von verschiedenen Kriterien abhängig:

- Die erforderliche oder mögliche elektrische Anschlussleistung
- Maximale Vorlauftemperatur
- Platzbedarf zweiter Wärmeerzeuger
- Wärmequellentemperaturen

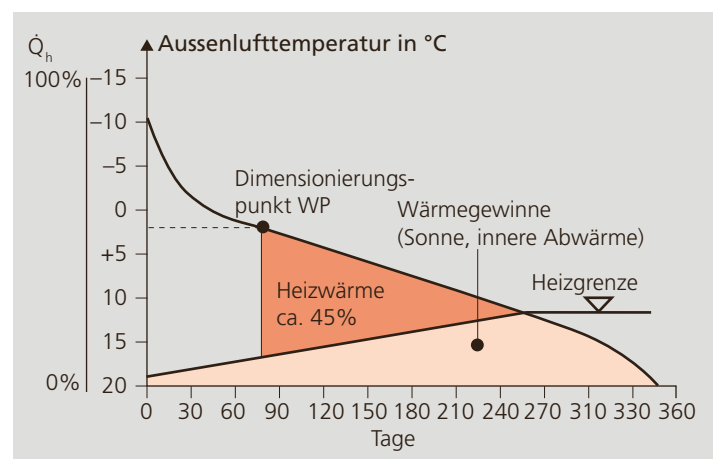
Bei grösseren Anlagen auch

- Wirtschaftlichkeit
- Redundanz

Hinweise

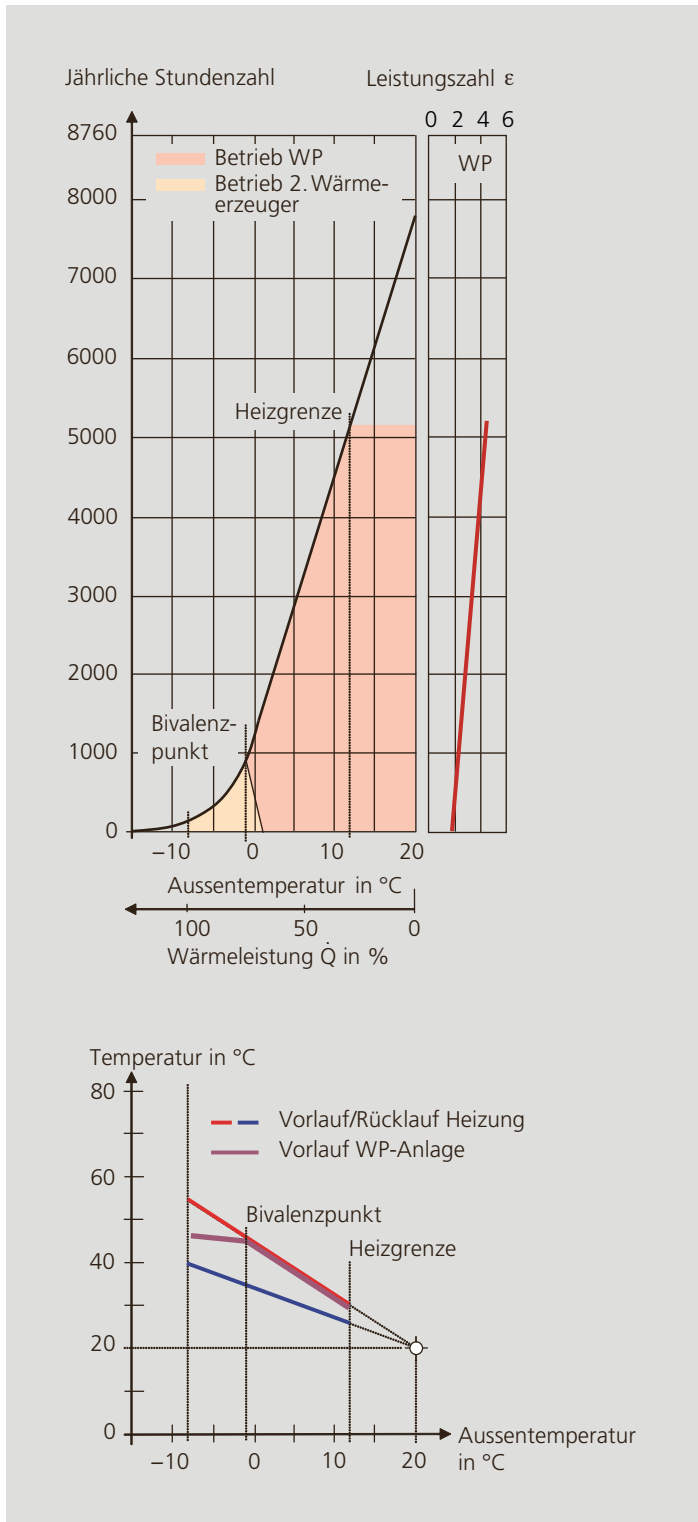
- Für den Öltank respektive Holzlagerraum, Heizkessel, Speicher und Kamin einer Zusatzheizung ist mehr Platz notwendig.
- Bivalente Wärmeerzeugersysteme sind bei Kleinanlagen (EFH, kleine MFH) mög-

Abbildung 6.3:
Bivalent-alternativer
Betrieb.



lichst zu vermeiden (zu hohe Komplexität). Der Betriebspunkt bis zu welchem die Wärmepumpe die Heizleistung alleine erbringt, ist abhängig von der Aussenlufttemperatur. Dieser wird Bivalenzpunkt, die zugehörige Temperatur «Bivalenztemperatur» genannt. Zu unterscheiden sind zwei Betriebsarten.

Abbildung 6.4: Bivalent-paralleler oder bivalent-teilparalleler Betrieb.



BIVALENT-ALTERNATIVER BETRIEB

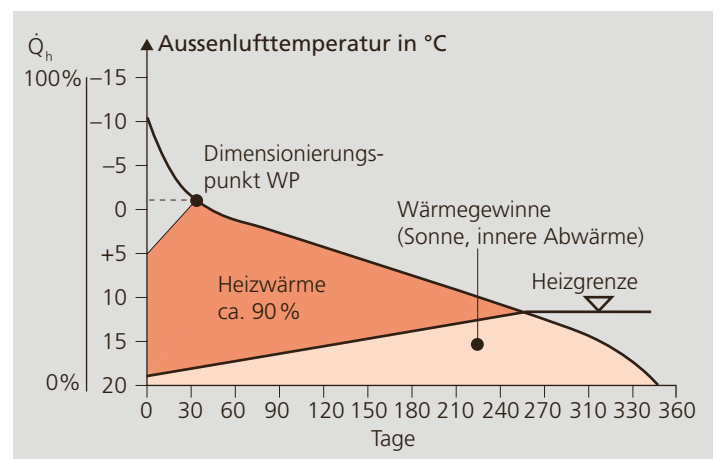
Die Wärmepumpe deckt den Wärmeleistungsbedarf bei höheren Aussenlufttemperaturen (über dem Bivalenzpunkt) ab. In der Zeit mit tiefen Aussenlufttemperaturen übernimmt ein alternativer Wärmeerzeuger (Holz-, Gas- oder Ölkessel) die Deckung des Wärmeleistungsbedarfs alleine. Die Wärmepumpe muss auf den Bivalenzpunkt, der zweite Wärmeerzeuger auf den maximalen Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes ausgelegt werden (Abbildung 6.2).

BIVALENT-PARALLELER ODER BIVALENT-TEILPARALLELER BETRIEB

Bei der bivalent-teilparallelen Betriebsweise arbeiten die Wärmeerzeuger zeitweise gemeinsam. Die Wärmepumpe deckt den Wärmeleistungsbedarf bei höheren Aussenlufttemperaturen (über dem Bivalenzpunkt) ab. Unterhalb des Bivalenzpunktes, das heisst bei tieferen Aussenlufttemperaturen, wird der zweite Wärmeerzeuger (Holz-, Gas- oder Ölkessel) zugeschaltet. In dieser Phase arbeiten die beiden Wärmeerzeuger im Parallelbetrieb (Abbildung 6.4).

Bei teilparallelem Betrieb wird die Wärmepumpe ab einer bestimmten Aussenlufttemperatur ganz abgestellt. Dieses gilt vor allem für Luft-Wasser-Wärmepumpen. Der zweite Wärmeerzeuger (Kessel) muss somit nur bei teilparallelem Betrieb auf die Auslegeleistung ausgelegt werden.

Abbildung 6.5: Bivalent-paralleler Betrieb.



6.3. HYDRAULIK

TEMPERATURDIFFERENZ UND VOLUMENSTROM ÜBER DEN WÄRMEÜBERTRAGERN

Die Wärmeleistung und die Temperaturdifferenz über den Wärmeübertragern bestimmt die Fördermenge, die Förderhöhe und den Stromverbrauch der zugeordneten Umwälzpumpen oder Ventilatoren. Wärmeabgabesysteme werden je nach erforderlicher Heizmitteltemperatur zwischen maximal 40 °C/30 °C bei Heizkörpern (bei Sanierungen maximal 50 °C möglich) und mindestens 26 °C/22 °C bei Flächenheizungen ausgelegt (maximal 35 °C). Selbstregelnde Bodenheizungen (maximal 30 °C Vorlauftemperatur) benötigen keine Einzelraumregulierung und daher auch keine hydraulische Entkopplung.

Hydraulische Entkopplung: Durch die Reduktion der Gebäudelast, zum Beispiel bei höheren Aussenlufttemperaturen, verringert sich der Verbrauchermassenstrom. Um dem veränderlichen Verbrauch gerecht zu werden, ist bei Wärmepumpen ohne modulierenden Betrieb eine hydraulische Entkopplung in Form eines Speichers oder eines Bypasses erforderlich (Abbildung 6.6). Wärmepumpen mit modulierendem Betrieb können beispielsweise nur mit einer hydraulischen Weiche betrieben werden.

Wärmespeicher: Mit einem Wärmespeicher können u. a. Sperrzeiten des Elektrizitätsversorgungsunternehmens überbrückt werden. Es ist zweckmässig, die Speicher wie folgt zu unterscheiden:

- **Technischer Speicher** zur hydraulischen Trennung und zur Gewährleistung einer maximal zulässigen Schalthäufigkeit.
- **Energie-Wärmespeicher** zur Speicherung von Wärmeenergie zur Spitzenabdeckung und Überbrückung von Sperrzeiten und damit minimalen Vergrößerung des Anlageinhaltes (Speichermasse).
- **Hydraulische Weiche** zur Abkopplung des Wärmeerzeuger-Heizkreises vom Verbraucherkreis, dadurch keine Serieschaltung von Umwälzpumpen.

LADESTRATEGIEN FÜR SPEICHER

Stufenladung: Bei einer Stufenladung des Wärmespeichers ist der Massenstrom über den Wärmeerzeuger konstant. Der Wärmeerzeuger kann die Rücklauftemperatur nur um eine bestimmte Temperaturdifferenz anheben. Damit wird die Speichertemperatur bei jedem Durchgang um diese Differenz angehoben. Dies führt vor allem im ersten Ladezyklus zu besseren Leistungszahlen als bei der Schichtladung. Die Speicherdtemperaturen schwanken aber deutlich, je nach Ausgangszustand vor der Speicherladung (Abbildung 6.7).

Schichtladung: Bei der Schichtladung des Wärmespeichers wird die Wärmeerzeugertemperatur (Speicher-Ladetemperatur), unabhängig von der Rücklauftemperatur des Verbrauchers, mit einer Laderegulierung auf einen bestimmten Sollwert geregelt. Die Sollwerttemperatur kann auf einen konstanten Wert eingestellt oder gleitend, z. B. nach Aussenlufttemperatur, geregelt werden. Die Schichtladung hat den Vorteil, dass der Speicher mit einer definierten Temperatur geladen wird und somit für den Verbraucher eine definierte Temperatur zur Verfügung steht (Abbildung 6.8).

Hinweis: Für Kleinanlagen hat sich die Stufenladung als betriebssichere und energieeffiziente Variante etabliert. Entsprechend sollte für solche Anlagen diese Variante realisiert werden.

Planungshinweise

- Um die Laufzeit der Wärmepumpe zu verlängern, ist eine genügende thermische Speichermasse erforderlich. Diese kann in der Baumasse (Bodenheizung, TABS) oder durch einen technischen Speicher (Heizungspuffer) verfügbar sein. Im ersten Fall ist also – auch bei Fussbodenheizungen – ein Heizungspuffer nicht zwingend notwendig. Die Mindestlaufzeit pro Verdichterstart sollte rund 20 bis 30 Minuten betragen.
- Bei selbstregulierenden Bodenheizungen ohne Thermostatventile ist ein präziser hydraulischer Abgleich besonders wichtig.

Ideal ist der hydraulische Abgleich aller Bodenheizkreise im Tichelmann-System.

- Ein technischer Speicher (kleiner Wassereinhalten) wird vor allem als hydraulische Weiche eingesetzt (Beispiel: mehrere Heizgruppen).
- Hydraulische Wärmespeicheranschlüsse sind mit einem Thermosiphon anzuschließen und zu dämmen (zur Reduzierung der Speicherverluste).

FRISCHWASSER-MODULE

Frischwasser-Module sind externe Plattenwärmetauscher (oder interne Spiralrohrwärmetauscher), die das Trinkwarmwasser im Durchlaufprinzip im Moment der Zapfung erwärmen. Die Energie dazu stammt aus einem Speicher (Abbildung 6.10). Der Vorteil dieser Lösung liegt im Wesentlichen in der Hygiene: Es wird – ausser in den Verteilungen – kaum Warmwasser gespeichert. Dadurch kann die Warmwassertemperatur tief gehalten werden, was der Effizienz der Wärmepumpe zu Gute kommt.

VORTEILE

- Tiefe Warmwassertemperaturen möglich
- Kein stehendes Trinkwarmwasser

NACHTEILE

- Kein Warmwasser bei Stromausfall
- Evt. etwas höhere Kosten
- Verkalkung beachten
- Planungshinweise
- Sorgfältige Auslegung auf tatsächlichen Bedarf notwendig
- Legionellenschutz (thermisch, UV-Bestrahlung) bei warm gehaltenen Leitungen

Planungshinweise

- Eindeutige Trennung der Zonen für Warmwasser, Heizwasser und solare Vorwärmung mit Umschaltventilen in Vor- und Rücklauf
- Anschlüsse siphonieren
- Maximale Volumenströme und Strömungsgeschwindigkeiten bei Speicheranschlüssen einhalten
- Zeitfenster für Warmwasserladung (2-mal 2 Stunden pro Tag) empfohlen
- Positionierung der Fühler beachten

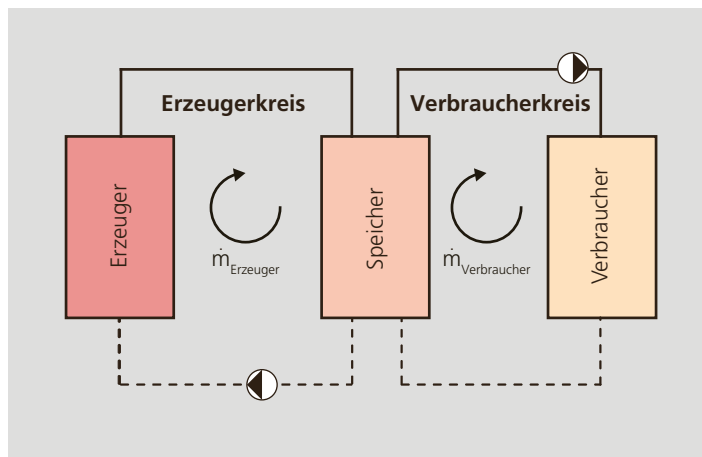


Abbildung 6.6: Der Massenstrom über dem Erzeugerkreis muss immer grösser dimensioniert sein als der Massenstrom über den Verbrauchern: $m_{\text{Erzeuger}} > m_{\text{Verbraucher}}$

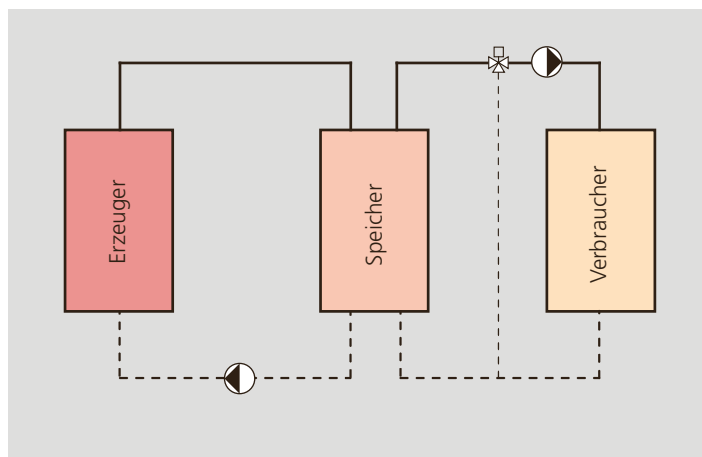


Abbildung 6.7: Hydraulische Schaltung für Stufenladung.

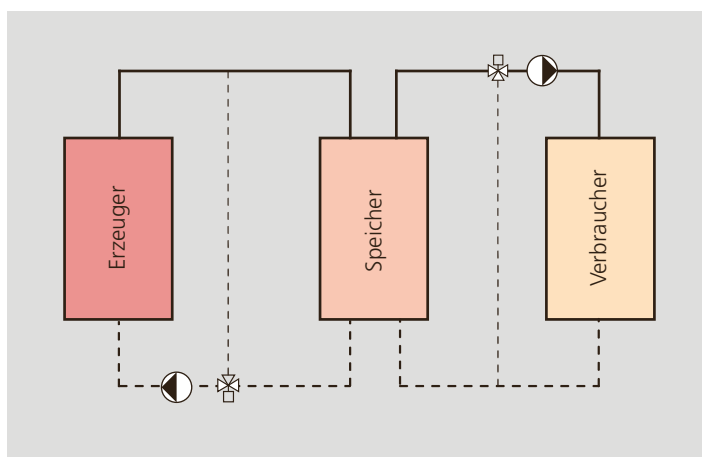
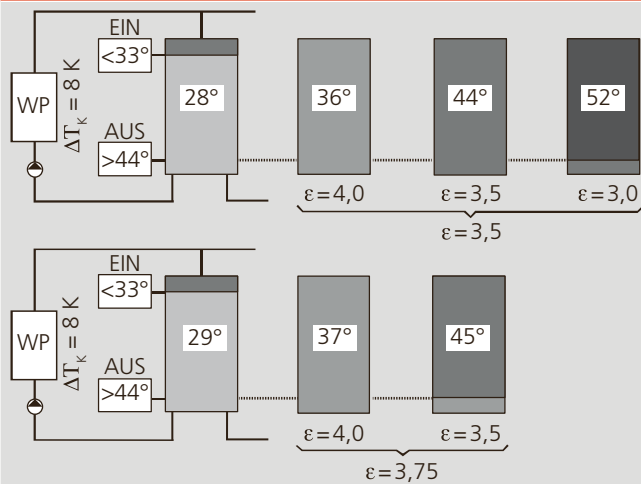
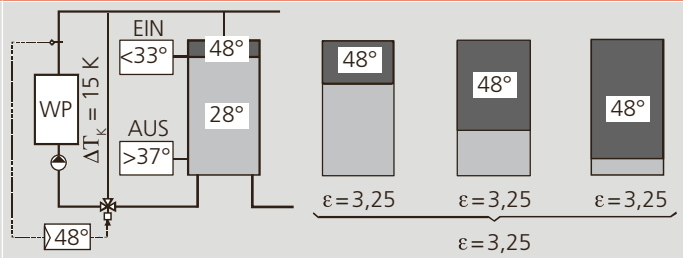


Abbildung 6.8: Hydraulische Schaltung für Schichtladung.

Stufenladung



Schichtladung



ε = Leistungszahl der Wärmepumpe im jeweiligen Betriebszustand

Hinweis: Der Unterschied der Leistungszahlen von Stufenladung und Schichtladung ist weniger gross als hier dargestellt, wenn auch der zusätzliche Pumpenstromverbrauch der Stufenladung berücksichtigt wird.

Beschreibung

Der Speicher wird stufenweise in mehreren Durchgängen mit steigender Verflüssigeraustrittstemperatur geladen. Der Speicher kann nicht auf eine exakte Endtemperatur geladen werden. Diese schwankt um die Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger.

Vorteile

- Tiefere Verflüssigungstemperatur
- Geringere Kosten (keine Laderegelung)

Nachteile

- Speichertemperatur variabel
- Vorlauftemperaturschwankungen beim Laden
- Unterdeckung im ersten Durchgang
- Grössere Verflüssigerpumpenleistung
- Speicherkapazität nicht maximal genutzt
- Schlechtere Schichtung
- Rückwirkung auf Verdampfer (spez. Anfahren!)

Verflüssigerdurchfluss \dot{V}_k bei Verflüssiger-/Heizleistung Φ_k
 $\dot{V}_k [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \cdot \Phi_k [\text{kW}] / \Delta T_k [\text{K}]$

Es muss ein Kompromiss gefunden werden:

- Möglichst grosser Durchfluss, damit Verflüssigungstemperatur tief, Speichertemperaturschwankung klein und Speicherkapazität gross
- Möglichst kleiner Durchfluss, damit Verflüssigerpumpenleistung klein

Empfehlung Auslegetemperaturdifferenz Verflüssiger ΔT_k
 Wärmequelle annähernd konstant

- monovalent $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{Auslegung}}$
- bivalent-parallel $\Delta T_k = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{Bivalenz}}$
- bivalent-alternativ $\Delta T_k = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{Bivalenz}}$

Wärmequelle stark variabel

- monovalent $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{Auslegung}}$
- bivalent-parallel $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{Bivalenz}}$
- bivalent-alternativ $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{Bivalenz}}$

Einschalttemperatur T_{EIN}

Damit auf der Wärmenutzungsseite kein «Leerdurchgang» auf Rücklauf temperaturniveau erfolgt, muss T_{EIN} mindestens so hoch wie die maximale Rücklauftemperatur sein. Durch Speicherverluste kann nach längerem Unterbruch eine zu tiefe Vorlauftemperatur auftreten, was sich aber normalerweise kaum störend auswirkt (Ausnahmen: Lüftung ohne WRG, Wassererwärmung). Bei Stufenladung kann eine zeitweilige Unterdeckung infolge zu tiefer Rücklauftemperatur während des ersten Durchgangs nicht verhindert werden.

Ausschalttemperatur T_{AUS}

$T_{\text{AUS}} \leq T_{k,\text{MAX}} - \Delta T_k$ mit der Bedingung $T_{\text{AUS}} > T_{\text{EIN}}$ (sonst kann Wasser zwischen T_{AUS} und T_{EIN} nicht aus dem Speicher!)

Mit Aussenluft als Wärmequelle ist ΔT_k stark variabel. Es muss der grösste vorkommende Wert eingesetzt werden. Wenn dabei die Bedingung $T_{\text{AUS}} > T_{\text{EIN}}$ nicht eingehalten werden kann, muss der Ausschaltzeitpunkt (und evtl. auch der Einschaltzeitpunkt) witterungsgeführt werden.

Beschreibung

Der Speicher wird in einem Durchgang mit konstanter Verflüssigeraustrittstemperatur schichtend geladen. Es kann exakt auf einen bestimmten Sollwert geladen werden. Dieser kann witterungsgeführt sein.

Vorteile

- Exakte Einhaltung der vorgegebenen Speichertemperatur
- Konstante Vorlauftemperatur garantiert
- Keine Unterdeckung
- Kleinere Verflüssigerpumpenleistung
- Maximale Nutzung der Speicherkapazität
- Bessere Schichtung
- Keine Rückwirkung auf den Verdampfer

Nachteile

- Höhere Verflüssigungstemperatur
- Höhere Kosten (Laderegelung)
- Schlechtere Effizienz

Verflüssigerdurchfluss \dot{V}_k bei Verflüssiger-/Heizleistung Φ_k
 $\dot{V}_k [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \cdot \Phi_k [\text{kW}] / \Delta T_k [\text{K}]$

Im Allgemeinen gilt:

- Bei annähernd konstanter Wärmequellenleistung kann auf minimalen Durchfluss dimensioniert werden (bei Witterungsführung evtl. höherer Durchfluss sinnvoll)
- Bei variabler Wärmequellenleistung muss in der Regel mit höherem Durchfluss gefahren werden

Empfehlung Auslegetemperaturdifferenz Verflüssiger ΔT_k
 Wärmequelle annähernd konstant

- monovalent $\Delta T_k = \Delta T_{\text{Auslegung}}$
- bivalent-parallel $\Delta T_k = \Delta T_{\text{Bivalenz}}$
- bivalent-alternativ $\Delta T_k = \Delta T_{\text{Bivalenz}}$

Wärmequelle stark variabel

- monovalent $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{Auslegung}}$
- bivalent-parallel $\Delta T_k = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{Bivalenz}}$
- bivalent-alternativ $\Delta T_k = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{Bivalenz}}$

Ladetemperatur T_{Ladung}

Damit die Ausschaltung funktioniert, gilt: $T_{\text{Ladung}} > T_{\text{AUS}}$

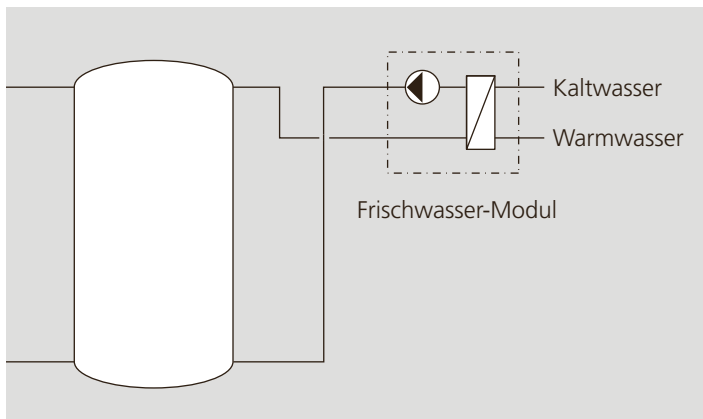
Abbildung 6.9 (linke Seite): Stufen- versus Schichtladung (Quelle: Ravel im Wärmesektor; Wärmepumpen, Heft 3, 1993).

- Warmwasser-Vorrang
- Seit kurzem sind geprüfte Lösungen (geprüfte Speicher, Wärmepumpen-System-Modul) verfügbar, die eine gute Effizienz von Kombispeicheranlagen auch im Wärmepumpenbetrieb sicherstellen.

KOMBISPEICHER

Kombispeicher sind Speicher, die sowohl Heizungswasser als auch Wärme für die Trinkwassererwärmung vorhalten. Sie sind sowohl bei Einbindung von Solarwärme, aber auch aufgrund des (gegenüber Lösungen mit zwei separaten Speichern) geringen Platzbedarfs interessant. Der Einbindung in das Gesamtsystem muss besondere Beachtung geschenkt werden, damit die Tempe-

Abbildung 6.10: Frischwasser-Modul mit Anbindung an Speicher. Der interne Aufbau des Modul ist hier vereinfacht dargestellt.



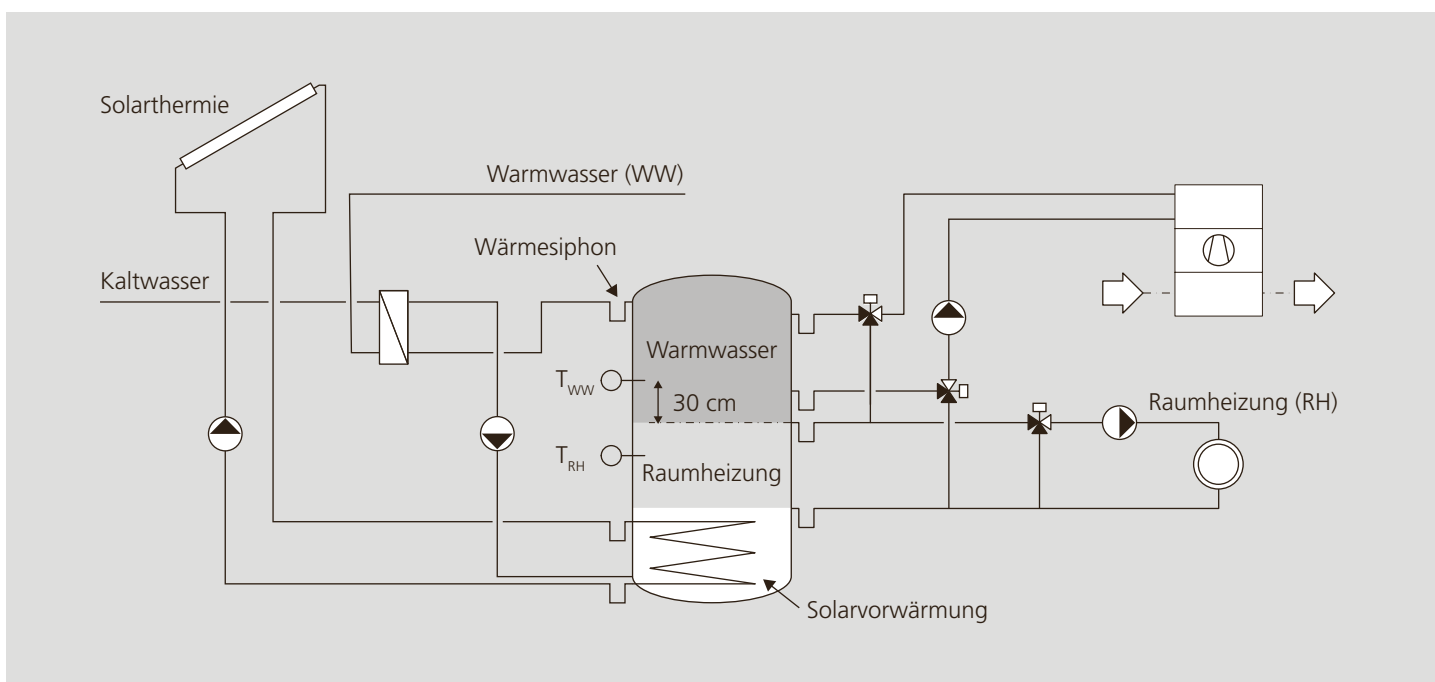
ratur-schichtung im Speicher erhalten bleibt und die Wärmepumpe die Wärme entsprechend den tatsächlichen Temperaturanforderungen des Verbrauchers bereitstellen kann. Zu beachten sind insbesondere die maximalen (schichtungserhaltenden) Volumenströme bei Beladung oder Entladung sowie Zirkulationsleitungen. Wird die Temperaturschichtung durch Durchmischung regelmässig zerstört, so wird der Energiebedarf stark erhöht.

HYDRAULIK BEI PASSIVEM KÜHLBETRIEB

Direkte (passive) Kühlung mit Erdwärmesonden: Da das Erdreich im Sommer in der Regel kälter ist als die Umgebung, kann damit über eine Wand- oder Fussbodenheizung (Change-over-Bodenkühlung) respektive über ein TABS-System (thermoaktives Bauteilsystem) eine Raumkühlung erzielt werden. Damit lässt sich gleichzeitig das die Sonde umgebende Erdreich regenerieren.

Funktion: In den Solekreislauf wird ein Plattenwärmeübertrager eingebaut (Abbildung 6.12, Free-Cooling). Die Kühltemperatur wird über einen 3-Weg-Mischer geregelt und die Umwälzpumpe über einen Raumtemperaturfühler ein- und ausgeschal-

Abbildung 6.11: Kombispeicher und Wärmepumpen. Exemplarisches Schema mit Frischwasser-Modul. Der Plattenwärmetauscher ist hier in korrekter Montageorientierung eingezeichnet (senkrecht, Warmseite unten).



tet. Um Schwitzwasserbildung (Taupunktunterschreitung) an den Kühlflächen zu vermeiden, ist eine Vorlauftemperaturüberwachung erforderlich (minimal 18 °C).

Vorteile

- Einfacher Aufbau
- Zusätzliche Regeneration des Erdreiches
- Geringste Betriebskosten
- Effizient (nur Pumpenstrom notwendig)

Nachteile

- Eingeschränkte Kühlleistung

Wird die passive Kühlung nicht nur als kostengünstiger Zusatznutzen der Heizungsanlage angesehen, so muss die Erdwärmesonde auf die erforderliche Kühlleistung dimensioniert werden.

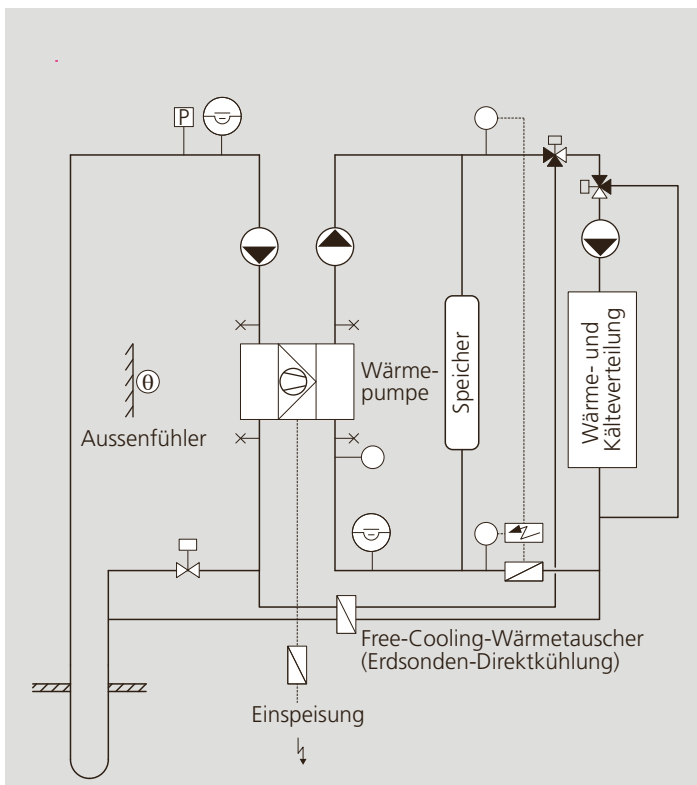
Richtwerte für Kühlleistungen bei der Wärmerückgabe:

- Aus Erdwärmesonde ca. 30 W/m

Richtwerte für Kälteleistungen beim Wärmeaufnahme-system:

- Bei Wandkühlung ca. 50 W/m²

Abbildung 6.12:
Direkte Kühlung mit
Erdwärmesonden.



- Bei Fussbodenkühlung ca. 25 W/m²
- Bei Deckenkühlung (TABS) ca. 30 bis 40 W/m²

HYDRAULIK BEI AKTIVEM KÜHLBETRIEB

Kühlung durch Prozessumkehr im Kältekreis

Funktion: Durch ein 4-Weg-Umschaltventil im Kältekreis kann die Wärmepumpe im Sommer als Kältemaschine betrieben werden. Dazu wird ein Kältespeicher benötigt. Die Kühltemperatur (Mindestkühltemperatur: Taupunkttemperatur) wird analog dem Heizfall über einen 3-Weg-Mischer geregelt und die Umwälzpumpe über einen Raumtemperaturfühler ein- und ausgeschaltet.

Vorteile

- Geringer Aufwand, da Wärmepumpe vorhanden
- Grosse Kühlleistung
- Zusätzliche Regeneration des Erdreiches bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

Nachteile

- Stromkosten für den Betrieb der Wärmepumpe
- Eine Wärmepumpe mit Möglichkeit zur Prozessumkehr ist erforderlich.

Kühlung durch Prozessumkehr in der Hydraulik

Funktion: Durch Umschalt-Ataturen wird der Heizkreis über den Verdampfer und der Wärmequellenkreis über den Verflüssiger geführt.

Vorteile

- Konventionelle Wärmepumpe verwendbar
- Geringer Aufwand
- Grosse Kühlleistung
- Zusätzliche Regeneration des Erdreiches

Nachteile

- Stromkosten für den Betrieb der Wärmepumpe

Hinweise

Analog zur oben aufgeführten passiven und aktiven Kühlung über Erdwärmesonden lassen sich auch Grund- oder Oberflächenwasser zu Kühlzwecken nutzen. Achtung: Temperaturverhältnisse und gesetzliche Auflagen beachten. Vermehrt werden auch Luft-Wasser-Wärmepumpen mit der Möglichkeit zur aktiven Kühlung via Prozessumkehr angeboten. Photovoltaikstrom eignet sich besonders gut zum Antrieb einer Kältemaschine für Raumkühlung, da Last und Ertrag (Sonneneinstrahlung) meist gleichzeitig auftreten.

Planungshinweise

Es werden spezielle Thermostatventile benötigt, die für Heiz- und Kühlbetriebe geeignet sind. Übliche Thermostatventile für Heizungen schliessen bei hohen Raumtemperaturen.

6.4. UMWÄLZPUMPEN

Die Auslegung von Umwälzpumpen wird durch folgende Faktoren bestimmt:

- Auslegungsbetriebspunkt
- Volumenstrom
- Druckverlust
- Laufzeit
- Regelbarkeit (der Drehzahl)

Auslegungsbetriebspunkt

Massgebend für die Pumpenauslegung ist der gewählte Betriebspunkt, d. h. der maximal und minimal erforderliche Volumenstrom bei vorgegebenen Temperaturen (und Medium). Bei ändernden Betriebspunkten (z. B. Heizung mit Thermostatventilen) wenn möglich drehzahlgeregelte Umwälzpumpen verwenden.

Volumenstrom

Der Volumenstrom wird durch den Wärmeverbraucher respektive Wärmeerzeuger (Mindestvolumenstrom) bestimmt. Er wird berechnet mit der Formel:

$$\dot{V} = \frac{\Phi}{\rho \cdot c \cdot (\theta_{VL} - \theta_{RL})}$$

darin bedeuten:

- \dot{V} = Volumenstrom in m^3/s
- Φ = Wärmeleistung in W (J/s)
- ρ = Dichte des Medium in kg/m^3
- c = Spezifische Wärmekapazität des Mediums in $J/(kg K)$
- θ = Mediumtemperatur in $^{\circ}C$

Für Wasser gilt ungefähr $c = 4200 J/(kg K)$ und $\rho = 1000 kg/m^3$.

Druckverlust

Der Druckverlust in einem Kreislauf wird bestimmt durch die Grösse (Länge) des Netzes, den Umwälzvolumenstrom, die Rohrleitungsdurchmesser und die Einbauten. Es müssen sämtliche Anlagenteile berücksichtigt werden, die im entsprechenden Kreislauf einen Druckverlust verursachen. Die Pumpendiagramme geben vielfach die Förderhöhe der Pumpe an. Mit folgender Formel kann der Druckverlust (Pa) in eine Förderhöhe (m) umgerechnet werden:

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}$$

- H = Förderhöhe in m Flüssigkeitssäule
- Δp = Druckverlust in Pa
- ρ = Dichte des Medium in kg/m^3
- g = Erdbeschleunigung in m/s^2

Laufzeit

Umwälzpumpen dürfen nur in der Zeit, in der eine Wärmeleistung erzeugt oder abgegeben werden muss, in Betrieb sein (soweit es die Regelung erlaubt). Jede unnötige Betriebszeit der Umwälzpumpe benötigt elektrische Energie, reduziert die Energieeffizienz und verursacht unnötige Energiekosten. Die Pumpen können über die Regulierung elektronisch oder über eine Schaltuhr angesteuert werden. Wenn es die Hydraulik erlaubt, können Umwälzpumpen drehzahlreguliert werden. Damit wird nur der benötigte Mas-

senstrom umgewälzt und Energie (respektive Energiekosten) eingespart.

Hinweise

- Als Dimensionierungskontrolle für Heizgruppenpumpen kann von einer elektrischen Leistungsaufnahme der Pumpe im Bereich 1 ‰ der thermischen Heizleistung ausgegangen werden.
- Durch Reduktion des Massenstromes reduziert sich der Druckverlust gemäss Theorie in der 2. Potenz und der Antriebskraftbedarf in der 3. Potenz. Beispiel: Halber Massenstrom $\rightarrow (\frac{1}{2})^2 = \frac{1}{4}$ Druckverlust $\rightarrow (\frac{1}{2})^3 = \frac{1}{8}$ Kraftbedarf.

7. AKUSTIK UND SCHALLSCHUTZ

7.1. GESETZLICHE GRENZWERTE

GERÄUSCHIMMISSIONEN IN DER NACHBARSCHAFT

In der Schweiz regelt die Lärmschutz-Verordnung (LSV) die Ermittlung und Beurteilung der Aussenlärmimmissionen anhand von Belastungsgrenzwerten (Tabelle 7.1). Lärmimmissionen, verursacht durch Wärmepumpen, werden nach Anhang 6 der LSV beurteilt. Als Bewertungsgrösse dient der sogenannte Beurteilungspegel (L_r ; siehe Abbildung 7.1), angegeben in dB(A) und bestimmt in der Mitte der offenen Fenster lärmempfindlicher Räume. Für ortsfeste Neuanlagen oder Ersatz bestehender Anlagen (LSV → Artikel 7) sind

die Planungswerte massgebend. Empfindlichkeitsstufe II (ES II) gilt für Zonen, in denen keine störenden Betriebe zugelassen sind, namentlich in Wohnzonen sowie Zonen für öffentliche Bauten und Anlagen. Empfindlichkeitsstufe III gilt für Zonen, in denen mässig störende Betriebe zugelassen sind, namentlich in Wohn- und Gewerbezone (LSV → Artikel 43).

Zuständig für die Zuordnung zu den Stufen sind die Gemeinden.

Anforderungen für Räume, in denen sich Menschen aufhalten, wie Wohn- und Schlafzimmer, Büros usw.

Die gesetzlichen Schall-Grenzwerte sind einzuhalten. Betreffend haustechnischer Anla-

Tabelle 7.1: Belastungsgrenzwerte für Industrie- und Gewerbelärm gemäss Lärmschutz-Verordnung (Beurteilungspegel L_r am Immissionsort). Darunter fallen auch Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage.

Empfindlichkeitsstufe (ES)	Planungswert L_r in dB(A)		Immissionsgrenzwert L_r in dB(A)		Alarmwert L_r in dB(A)	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
I (Erholungszone)	50	40	55	45	65	60
II (Wohnzone)	55	45	60	50	70	65
III (Mischzone)	60	50	65	55	70	65
IV (Industriezone)	65	55	70	60	75	70

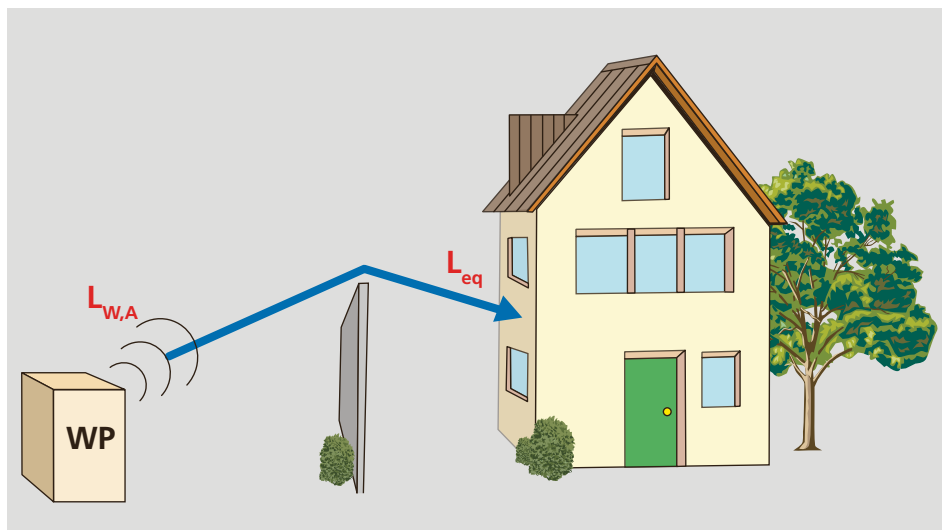


Abbildung 7.1: $L_{W,A}$ ist der Schallleistungspegel der Schallquelle. L_{eq} ist der Mittelungspegel (Schalldruckpegel), im offenen Fenster gemessen. L_r ist der Beurteilungspegel (L_{eq} mit zusätzlicher Berücksichtigung von Pegelkorrekturen).

gen verweist die LSV an die Norm SIA 181 (Tabelle 7.2). Speziell bei der Aussenaufstellung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ist auf die umliegenden Gebäude und deren Schlaf- und Wohnraum-Ausrichtung zu achten.

Der Beurteilungspegel L_r wird im betrachteten Fall von Industrie- und Gewerbelärm durch eine Kombination von akustischen Messdaten (Pegel) mit empirischen Regeln (Korrekturen) über die Dauer von Lärmphasen und die Lästigkeit spezifischer Geräusche ermittelt.

Im Rahmen von Bewilligungsverfahren kommt dem Lärmschutz-Nachweis für Luft-Wasser-Wärmepumpen des Cercle Bruit, der Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute, besondere Bedeutung zu. Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen sind betreffend Aussenlärmemissionen in der Regel unproblematisch. Der Nachweis folgt dem Vorsorgeprinzip, wonach Emissionen soweit möglich zu begrenzen sind. Folgende Massnahmen werden berücksichtigt:

- Wahl einer Anlage mit tiefem Schalleistungspegel $L_{w,A}$
- Aufstellungsort der lärmigen Anlagekomponente(n)
- Schalldämpfung jeglicher Art
- Evt. betriebliche Vorgaben

Tabelle 7.2: Mindestanforderungen an den Schutz gegen Geräusche von haustechnischen Anlagen im Gebäude (Norm SIA 181).

Ausgehend von Angaben zur Schallemission des Gerätes (dem Schalleistungspegel $L_{w,A}$) wird unter Berücksichtigung der obgenannten Massnahmen der Beurteilungspegel

Emissions-seitige Geräuschart (Senderaum)	Einzelgeräusche		Dauergeräusche
	Funktionsgeräusche	Benutzungsgeräusche	Funktions- oder Benutzungsgeräusche
Lärmempfindlichkeit	Anforderungswerte L_H		
gering	38 dB(A)	43 dB(A)	33 dB(A)
mittel	33 dB(A)	38 dB(A)	28 dB(A)
hoch	28 dB(A)	33 dB(A)	25 dB(A)

Anmerkung zur Tabelle: Erhöhte Anforderungen an den Schutz gegen Geräusche haustechnischer Einrichtungen im Gebäude. Es gelten die um 3 dB(A) verringerten Werte. Dazu gilt 25 dB(A) als Kleinstwert.

gel bestimmt und mit den massgebenden Planungswert (Tabelle 7.1) verglichen. Eine wichtige Einflussgrösse stellt dabei auch der Aufstellort der Wärmepumpe (respektive der lärmigen Komponenten davon) dar: Einerseits reduziert ein grösserer Abstand die Schalleinwirkung am lärmempfindlichen Ort, andererseits beeinflusst die Aufstellungssituation die Schallausbreitung durch Richtwirkung merklich (Abbildung 7.2). Dem optimalen Aufstellort ist deshalb bereits frühzeitig Beachtung zu schenken.

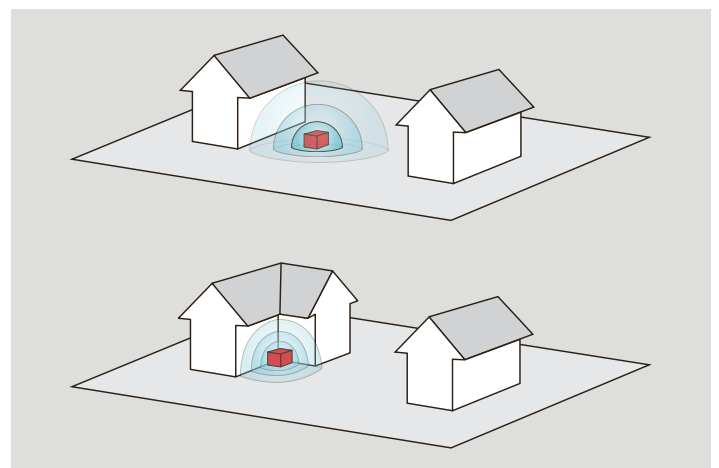
7.2. SCHALLMINDERUNG

Bei der Planung von Wärmepumpenanlagen ist eine sorgfältige Beurteilung der Schallemissionen erforderlich. Lärminderungs-massnahmen, die bereits früh im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden, verursachen die geringsten zusätzlichen Kosten. Nachträgliche Massnahmen erfordern oft einen extrem hohen Zusatzaufwand und viele Umtriebe.

LÄRMURSACHEN

Bei Luft-Wasser-Wärmepumpenanlagen wird das in der Nachbarschaft wahrnehmbare Geräusch in den meisten Fällen durch den Ventilator verursacht. Die Luftöffnung welche unmittelbar beim Ventilator liegt, strahlt dabei meistens deutlich mehr Schall ab als die Luftöffnung auf der Verdampferseite. Trotz der im Allgemeinen wichtigen Bedeutung des Ventilatorlärms dürfen jedoch die anderen Lärmquellen nicht vernachlässigt werden, wie die Schallemission

Abbildung 7.2: Der Wert von L_{eq} ist unter anderem vom Aufstellort der Wärmepumpe abhängig, die Richtwirkung führt in der Situation oben zu einer Erhöhung des Pegels um +3 dB(A), in der Ecksituation unten um +9 dB(A) (Quelle: Cercle Bruit).



des Verdichters, Strömungsgeräusche, Unwuchterregung, elektrische Geräusche und Umschaltgeräusche beim Abtauen.

SCHALLEMISSIONEN

Luftschall: Ein schalldämmendes Gehäuse der WP oder bei Grossanlagen schalldämmende Kapselung respektive schalldämmende Verkleidung des Raumes sind vorzusehen. Eventuell ist der Einbau von Kulissen-schalldämpfern für Luftein- und Luftaus-trittsöffnungen zu prüfen.

Körperschall: Durch konsequenten Einsatz von flexiblen Anschlüssen (Schläuche, Kom-pensatoren, elastische Manschetten, flexible elektrische Anschlüsse) ist Körperschallaus-breitung zu verhindern. Es ist eine Schwin-gungsminderung der Wärmepumpe durch Einsatz von Schwingungsdämpfern zwi-schen WP und WP-Sockel oder zwischen WP-Sockel und Betonboden vorzusehen.

SCHALLAUSBREITUNG

Auch die sorgfältige Aufstellung der Wär-mepumpe ist wichtig. Ein Wäscheabwurf-schacht zwischen Schlafräumen und der Waschküche, in der die Wärmepumpe steht, lässt sich kaum ausreichend dämmen. Auch die Anschlussleitungen (Wärmequelle, Wär-meverteilung sowie Elektrokabel) müssen flexibel sein und vom Baukörper getrennt (schalldämmende Befestigungen) montiert werden.

Abbildung 7.3: Für die Schallwahrnehmung respektive die deutlich hörbare Zunahme einer Pegeldifferenz ist eine Änderung von 8 dB bis 10 dB erforderlich. Die kleinste wahrnehmbare Änderung beträgt ca. 1 dB, ab 3 dB ist sie (deutlich) wahrnehmbar.

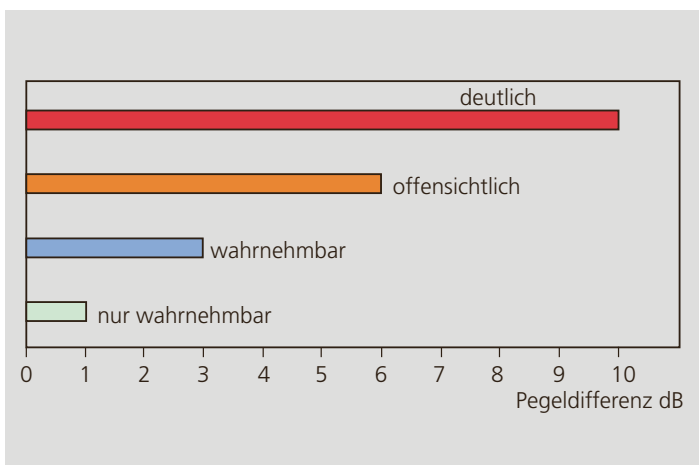


Tabelle 7.3: Typische Werte für den Schalldruck, den das Gehör über einen ausserordentlich grossen Bereich wahrnehmen kann.

Schallpegel	Schalldruck	Beispiel Schallquelle
170 dB		Sturmgewehr
160 dB	2 000 000 000 µPa (2 kPa)	Pistole 9mm
150 dB		Bolzensetzgerät
140 dB	200 000 000 µPa (200 Pa)	Jetprüfstand
130 dB		
120 dB	20 000 000 µPa (20 Pa)	Schmerzschwelle
110 dB		Presslufthammer
100 dB	2 000 000 µPa (2 Pa)	Diskotheek
90 dB		Montageband
80 dB	200 000 µPa (200 mPa)	Strassenverkehr
70 dB		Unterhaltung
60 dB	20 000 µPa (20 mPa)	Büro
50 dB		Wohnzimmer
40 dB	2 000 µPa (2 mPa)	Leseraum
30 dB		Schlafzimmer
20 dB	200 µPa	Radiostudio
10 dB		
0 dB	20 µPa	Hörschwelle

LÄRMMINDERUNGSMASSNAHMEN

Alle in Abbildung 7.4 dargestellten Lärm-minderungsmaßnahmen sind bei der Planung und Ausführung zu berücksichtigen. Wie in Abbildung 7.5 dargestellt, wird zwischen Körper- und Luftschall unterschieden. Der Körperschall kann mit einem geeigneten Apparatesockel und korrekt ausgelegten Schwingungsdämpfern meistens problemlos unter die Grenzwerte gebracht werden. Beim Luftschall müssen Anlagekomponenten, wie beispielsweise Ventilatoren und Kompressoren, speziell auf die gewünschten Werte ausgelegt oder ausgewählt werden. In Gebäuden kann der Luftschall vor allem in den Nachtstunden ein Problem sein (Tabelle 7.4). Als Checkliste für Lärmbekämpfungsmaßnahmen dient Abbildung 7.6. Bei einer sorgfältigen Planung mit dem Akustiker und dem Gerätehersteller ist es meistens möglich, die Schallemissionen ohne grössere Mehrkosten unter den gewünschten Sollwert zu bringen.

Abbildung 7.4: Lärm-minderungs-massnahmen (Quelle: «Schall-schutz bei der Auf-stellung von Wärmepumpen», Vertrieb FWS).

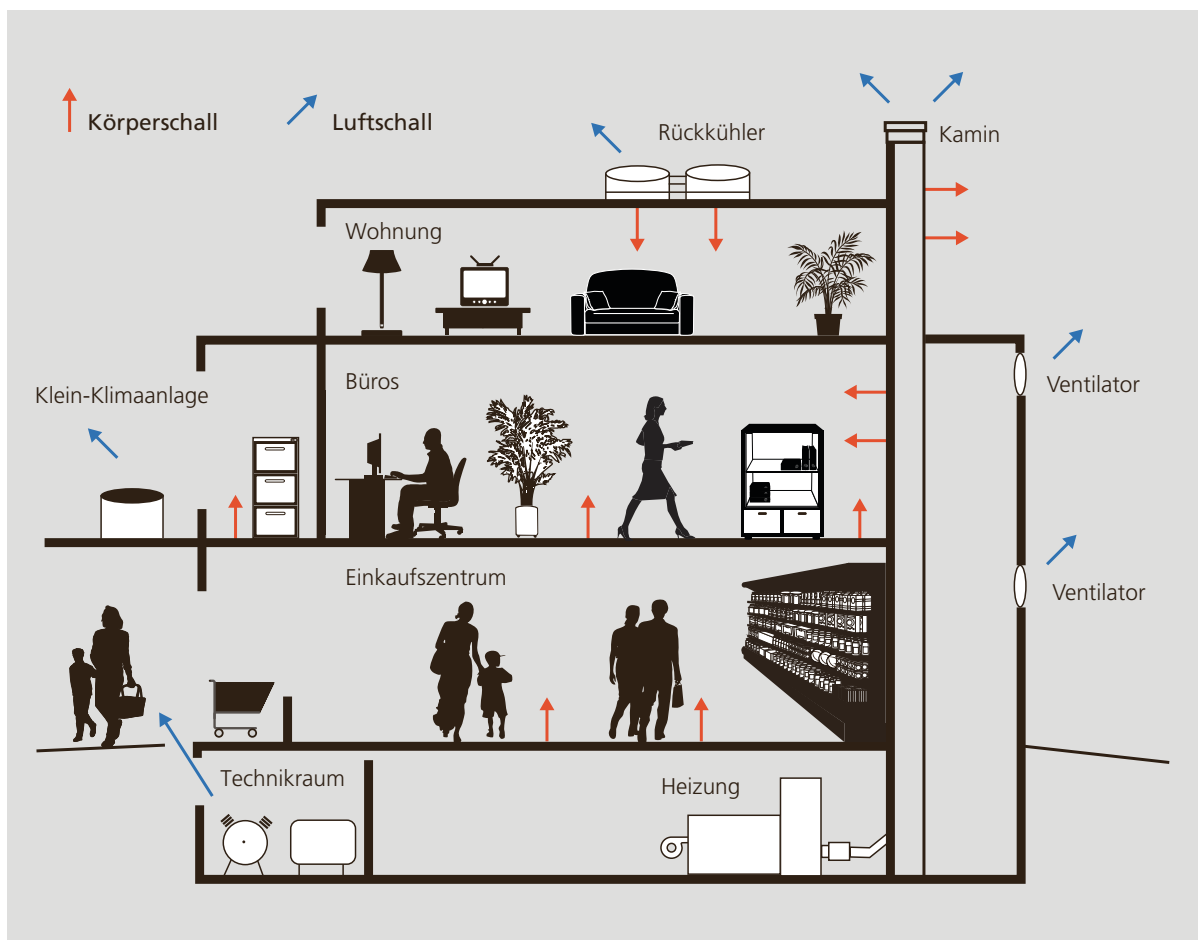
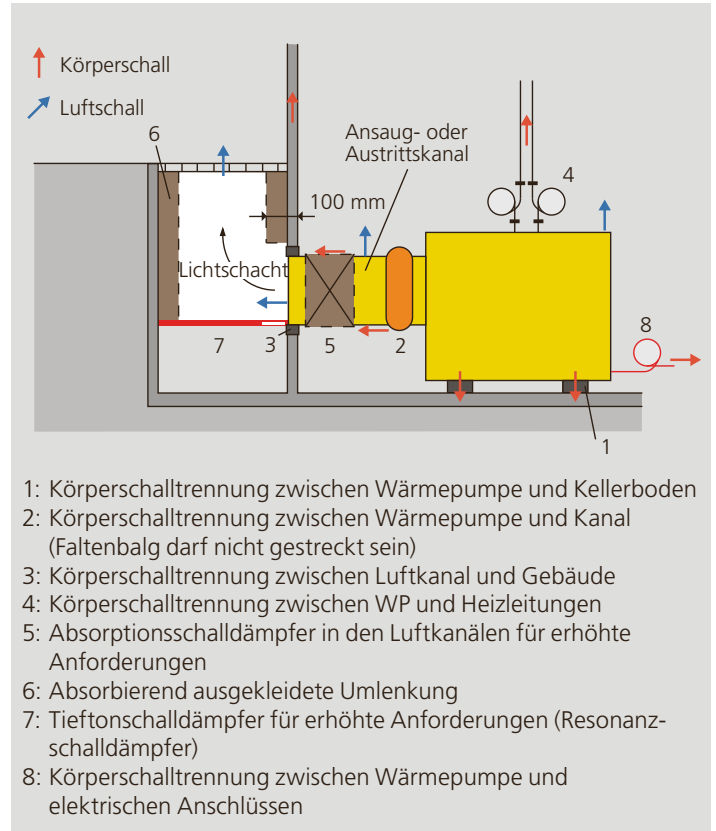


Abbildung 7.5: Körper- und Luftschall am Beispiel eines Wohn- und Geschäftshauses mit Haustechnikanlagen (Quelle: Merkblatt Lärmbegrenzung bei Haustechnikanlagen, Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt).

Quellen	Übertragungswege	Lösungsansätze
Wärmepumpen Kältemaschinen (innen aufgestellt/ Inneneinheit Split- geräte)	<ul style="list-style-type: none"> • Körperschall von Verdichtern: durch Fundamente, Heizungsleitungen und Elektrokabel • Luftschall von Ventilatoren: via Ansaug- und Fortluftöffnungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Laufruhigere Geräte auswählen • Standort optimieren • Schalldämpfer • Schalldämmung Luftkanäle • Kanalführung (Umlenkung) • Gehäuse, Verschalung, Raumaufteilung • Sockel, elastische Lagerung
Wärmepumpen Kältemaschinen (ausßen aufge- stellt)	<ul style="list-style-type: none"> • Luftschall von Verdichtern und Ventilatoren: via Ansaug- und Fortluftöffnungen respektive Gehäuse. • Körperschall von Verdichtern: via Heiz- leitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Laufruhigere Geräte auswählen • Standort optimieren • Elastische Schalldämmelemente unter Wärmepumpe • Trennung Sockel und Gebäudefundament
Luftgekühlte Verflüssiger/ Verdampfer (Ausseneinheit, Splitgeräte)	<ul style="list-style-type: none"> • Luftschall von Ventilatoren • Körperschall von Verdichtern: via Kältemittel- leitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Montage und Führung Heizungs- und Kältemittelleitungen • Partielle oder vollständige Einkapselung • Sperrung höherer Drehzahlen («Silent Modus»)

Tabelle 7.4:
Schall und dessen
Minderung bei
Wärmepumpen-
anlagen – Quellen
und Lösungen.

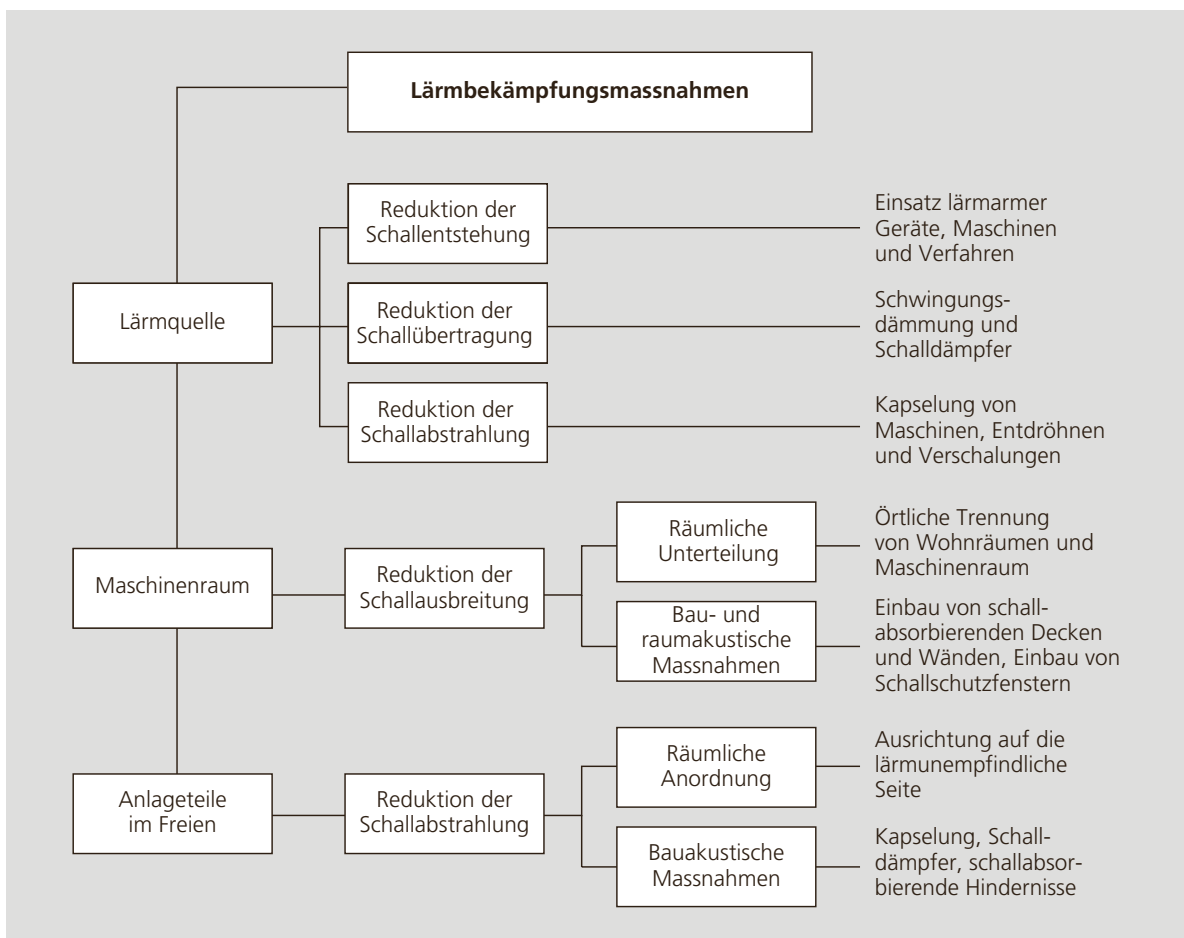


Abbildung 7.6:
Lärmbekämpfungsmassnahmen
(Quelle: Merkblatt
Lärmbegrenzung
bei Haustechnik-
anlagen, Kantone
Basel-Landschaft
und Basel-Stadt).

8. PROJEKTIERUNG

8.1. GÜTESIEGEL FWS/EHPA

Seit Jahren hat sich das Gütesiegel für Wärmepumpen des Europäischen Wärmepumpenverbandes (EHPA) respektive der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS) als Qualitätsauszeichnung für Heizungswärmepumpen etabliert. Es zeichnet energetisch besonders gute Geräte aus, von Herstellern, die qualitative Anforderungen an Planungsunterlagen und Serviceleistungen erfüllen. Energetisch basiert das Gütesiegel auf COP-, neuerdings auch SCOP-Werten des Gerätes. Das Gütesiegel gilt für serienmässig hergestellte, elektrisch angetriebene Wärmepumpen bis zu einer Heizleistung von 400 kW.

8.2. WÄRMEPUMPEN-SYSTEM-MODUL

Da bei Wärmepumpen besonders die Integration in ein Gesamtsystem, angefangen bei der Wärmeerzeugung, über die Speicherung und die Verteilung bis hin zur Wärmeabgabe an den Raum massgebend für deren optimalen Betrieb ist, haben die Verbände Fachvereinigung Wärmepumpe Schweiz (FWS), GebäudeKlima Schweiz (GKS), suissetec und der Schweizerische Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren (SWKI) gemeinsam und mit Unterstützung von EnergieSchweiz das sogenannte Wärmepumpen-System-Modul (WPSM) entwickelt und lanciert. Im Vordergrund stehen Energieeffizienz und Betriebssicherheit der gesamten Anlage, aber auch eine klare Regelung der Verantwortlich-

keiten ist ein Ziel. Zur energetischen Beurteilung des Gerätes lehnt sich das WPSM an das Gütesiegel FWS/EHPA an, fordert aber auch für den Warmwasserbetrieb besonders gute COP Werte. Die wichtigsten WPSM-Vorgaben sind:

- Bei Neubauten muss die Berechnung der Heizleistung nach Norm SIA 384/1 erfolgen, die Norm-Heizlast nach Norm SIA 384.201. Der Zuschlag für die Wassererwärmung hat sich nach Norm SIA 384/1 zu richten.
- Die Heizleistung muss bei Sanierungen aufgrund des bisherigen Verbrauchs bestimmt werden. Ein Rechentool steht zur Verfügung.
- Falls Erdwärmesonden die Wärmequelle bilden, sind sie nach Norm SIA 384/6 zu dimensionieren.
- Lärmschutznachweis gemäss Cercle Bruit und der Kantone, Anforderungen gemäss Lärmschutz-Verordnung.
- Zur hydraulischen Einbindung sind erprobte hydraulische Schaltungen vorgegeben.
- Umwälzpumpen: in der Bauart Nassläufer; müssen Energieverordnung erfüllen, was einen Energie-Effizienz-Index EEI von maximal 0,23 bedingt (Stand 2018).
- Wärmepumpen sind gemäss dem Reglement des EHPA-Gütesiegels zertifiziert.
- Hersteller respektive Lieferant mit Serviceorganisation in der Schweiz.
- Bohrfirmen mit FWS-Gütesiegel für Bohrfirmen auswählen.

Wärmepumpentyp	Luft-Wasser	Sole-Wasser	Wasser-Wasser
Minimale COP-Werte, entsprechend dem WP-Gütesiegel	3,1 bei A2/W35	4,3 bei B0/W35	5,1 bei W10/W35
	1,7 bei A-7/W55 2,6 bei A7/W55	2,5 bei B0/W55	3,3 bei W10/W55
Minimal erreichbare Vorlauftemperaturen	55°C bei A-7°C	60°C bei B0	60°C bei W10

Tabelle 8.1: Mindestanforderungen an den COP beim Wärmepumpen-System-Modul. Stand Januar 2018. A: Aussenlufttemperatur; B: Soletemperatur; W: Wassertemperatur

- Energieeffizienz der Wärmepumpe gemäss Tabelle 8.1
- Inbetriebnahme und Nachkontrolle gemäss Pflichtenheft Wärmepumpen-System-Modul

Das Wärmepumpen-System-Modul ist anwendbar für Anlagen bis ca. 15 kW Heizleistung. Zertifizierbar sind Anlagen mit oder ohne Warmwasserbereitung und mit optionaler Solarunterstützung der Wassererwärmung. Die meisten Kantone und andere Förderstellen machen finanzielle Förderbeiträge beim Ersatz von fossilen oder direktelektrischen Heizungen durch Wärmepumpen vom WPSM abhängig.
Weitere Infos: www.wp-systemmodul.ch

8.3. WPesti

WPesti ist das am häufigsten verwendete Berechnungstool zur Planung von Wärmepumpenanlagen. Das Tool dient zur Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen, die berechneten Werte sind direkt für Minergie-Nachweise verwendbar. WPesti basiert auf Excel und ist im Web kostenlos verfügbar. Integriert ist eine Datenbank mit Kennwerten von handelsüblichen Wärmepumpen. Nutzer von WPesti greifen auf den Energienachweis zurück und übernehmen Daten zur Klimastation, Gebäudekategorie, Energiebezugsfläche, zum Heizwärmebedarf und zu den Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten. Sofern das Produkt nicht in der WP-Datenbank aufgeführt ist, übernimmt der Planer die Werte vom WPZ (Wärmepumpenprüf- und Testzentrum) oder vom Hersteller oder vom Lieferanten. Sehr wichtig für die Berechnung der JAZ sind die Systemtemperaturen der WP-Anlage, insbesondere die Vor- und Rücklauftemperaturen. Im Hinblick auf exponierte Räume ist die Vorlauftemperatur von grosser Bedeutung. Die relevanten Werte liefert der Heizungsplaner. Das Berechnungstool WPesti erleichtert den Vergleich verschiedener Varianten von Anlagen, beispielsweise von Luft und Erdreich als Wärmequelle. Bezug von WPesti: www.endk.ch
→ Fachleute → Hilfsmittel

8.4. PROJEKTIERUNGSHILFEN

Normen widerspiegeln den aktuellen Stand der Technik, deren Anwendung bietet Gewähr für eine fachgerechte Umsetzung effizienter Wärmepumpenlagen. Es sind aber meist komplexe Regelwerke, deren Studium im Arbeitsalltag kaum Platz findet. Von den Fachverbänden Fachvereinigung Wärmepumpe Schweiz (FWS), GebäudeKlima Schweiz (GKS) und Schweizerisch-Liechtensteinische Gebäudetechnikverband (suisse-tec) wurden daher zu vielen Aspekten von Wärmepumpenanlagen Merkblätter erstellt. Diese geben in kompakter und leicht verständlicher Form Planungs- und Installationshinweise, helfen bei Berechnungen und bieten Checklisten zu ausgewählten Themen. Diese Merkblätter sind über die Webseiten der jeweiligen Verbände abrufbar, sie bilden wertvolle Arbeitsunterlagen. Weitere Hilfsmittel sind das erwähnte Rechenprogramm WPesti, der «Schallrechner» des FWS (www.fws.ch/schallrechner.html) sowie die Wegleitungen und Vollzugshilfen von Bund (BFE/BAFU) und Kantonen sowie dem Cercle Bruit.

8.5. ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG

Bei Wärmepumpen werden grössere Elektromotoren im Bereich der Haushaltstromversorgung eingesetzt. Deren Anlauf kann in schwach ausgelegten Netzen zu unzulässigen Spannungseinbrüchen führen. Wärmepumpen sind deshalb bewilligungspflichtig. Da jedes Elektrizitätswerk für sein Netz verantwortlich ist, sind die Anschlussbestimmungen des zuständigen Netzbetreibers frühzeitig in Erfahrung zu bringen.

ANSCHLUSS UND BEWILLIGUNGEN

Je nach Energielieferant und verfügbarer Leistung respektive Tarif werden dem Wärmepumpenbetreiber Auflagen gemacht, z. B. Sperrzeiten oder Leistungsbegrenzung von bis zu mehreren Stunden in den Spitzzeiten, Anlaufstrombegrenzung, Anzahl Einschaltungen pro Stunde, Blindstromkompensation etc. Bei grösseren Anlagen kann es für den Betreiber auch wirtschaftlich sein,

die Wärmepumpe mit einer Blindstromkompensation auszurüsten, da etliche Energieversorger bei einem zu tiefen elektrischen Leistungsfaktor (meistens bei einem $\cos-\varphi$ unter 0,92) die entsprechende Blindleistung zusätzlich verrechnen respektive die elektrische Zuleitung kleiner und somit günstiger gewählt werden kann. Tarifinformationen (allenfalls spezieller Wärmepumpen-Tarif) mit Sperrzeitentabellen und Gesuchsformulare können beim zuständigen Elektrizitätswerk bezogen werden.

Auch empfiehlt sich bei Grossanlagen, Wärmepumpen- und Kältemaschinen direkt an die Hauptverteilung anzuschliessen. Die Verdichter müssen im Notstromfall nicht unbedingt von den Notstromdiesel-Aggregaten versorgt werden, sofern keine sensitiven Geräte angeschlossen sind, die immer beheizt oder gekühlt werden müssen.

ANLAUFSTROMBEGRENZUNG

Die meisten Netzbetreiber verlangen ab einer bestimmten Motorenleistung (meistens ab 3 kW) eine Anlaufstrombegrenzung. Nachfolgend einige Beispiele zur Anlaufstromreduktion:

- Widerstandsanlasser (bei kleineren Verdichtern)
- Softstarter, auch Sanftanlasser genannt (bei den meisten Kleinwärmepumpen serienmässig eingebaut)
- Frequenzumrichter: Klasse je nach Einsatzart (Wohnungen, Industrie, Gewerbe) und EMV-Vorschriften (Filter, Drossel, Kabelverlegung) beachten. (EMV: Elektromagnetische Verträglichkeit)
- Teilwicklungsanlauf (Standardwicklung bei halbhermetischen Verdichtern ab ca. 3 kW Motorenleistung)
- Stern-Dreieck-Anlauf (bei offenen und sehr grossen halbhermetischen Verdichtern)
- Bei Verbundanlagen (Mehr-Verdichter-Systeme) ist immer ein gestaffelter Anlauf der einzelnen Verdichter zu wählen.

Mit diesen Anlaufarten oder Kombinationen davon sind die Anforderungen der Elektrizitätswerke in der Regel erfüllt. Die Preisunterschiede können vor allem bei grösseren Anlagen erheblich sein.

8.6. HEIZZENTRALE

Die Anforderungen an die Heizzentrale bezüglich Standort, Absicherung, Belüftung etc. können vor allem bei bivalenten und grösseren Anlagen äusserst komplex sein.

AUFSTELLUNG UND ZUGÄNLICHKEIT

- Der Aufstellungsraum von Klein-Wärmepumpen mit Heizleistungen unter 20 kW kann meistens wie ein üblicher Heizraum geplant werden. Beim Einsatz von brennbaren Kältemitteln ist das Wärmepumpengehäuse oder der Aufstellungsraum ins Freie zu entlüften (feuerpolizeiliche Vorschriften beachten).
- Im Falle von Installationen einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ist immer ein Kondensatablauf vorzusehen (Kondensat vom Verdampfer).
- Nur eine gut zugängliche Installation kann instandgehalten und gewartet werden. Die entsprechenden Herstellerangaben sind unbedingt zu beachten.

SICHERHEIT

- Der Personenschutz steht an erster Stelle. Heute marktübliche Kältemittel sind teilweise giftig (toxisch) respektive brennbar. Je nach Anlagenkonstellation sind Löschmittel, Einrichtungen und Ausrüstungen für den Personenschutz, Fluchtwege, Brandabschnitte etc. mit den örtlichen Behörden zu klären sowie in einigen Fällen eine Risikoanalyse zu erstellen.
- Alle Anlagen sind gegen zu hohe Systemdrücke abzusichern. Je nach Anlageart und Anlagegrösse müssen die Abblasleitungen der Sicherheitsventile direkt ins Freie oder in einen speziellen Auffangbehälter geführt werden, hierbei gilt es die entsprechenden Vorschriften und Richtlinien zu beachten.
- Ob und wie die Belüftung des Aufstellungsraumes der Wärmepumpenanlage in Bezug auf Personen- respektive Umweltgefährdung auszuführen sind, ist in entsprechenden Vorschriften und Richtlinien geregelt (Beispiele: SN EN 378, EKAS, SUVA, VFK, siehe Kapitel 1.3 und 1.4). Im Zweifelsfall sind die zuständigen Behörden zu kontaktieren.

TECHNISCHE BEDINGUNGEN

- Dem Schallschutz und im Speziellen dem Körperschall ist bei der Planung und der Installation Rechnung zu tragen. Die Lage in Bezug auf lärmkritische Räume (Schlafzimmer, Büro etc.) und zu benachbarten Liegenschaften ist bereits bei der Gebäudeplanung durch den Architekten respektive die Bauherrschaft zu berücksichtigen (Kapitel 7).
- Bei bivalenten Anlagen mit Heizkesseln ist bei der Raumbelüftung zu beachten, dass die Belüftung der Wärmepumpe keinen Einfluss auf die Verbrennungsluftzufuhr der Öl-, Gas- oder Holzheizung hat.

8.7. WIRTSCHAFTLICHKEIT

ALLGEMEINE HINWEISE

Die Wirtschaftlichkeit von energietechnischen Anlagen hängt von den üblichen Einflussfaktoren ab: Kapital- oder Investitionskosten (Abschreibung und Verzinsungen der Geräte- und der Installationskosten), Energiekosten (z. B. Strom für Wärmepumpe), Bedienungs- und Wartungskosten. Folgende Grössen sind bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung massgebend:

- **Investitionskosten:** Als Investitionskosten gelten alle Ausgaben, welche für die Realisierung einer Anlage erforderlich sind, d. h. beispielsweise auch Erschliessung der Wärmequelle.
- **Betriebskosten:** Die Betriebskosten bei Energiesystemen sind Energie-, Wartungs-, Bedienungs- und Unterhaltskosten.
- **Nutzungsdauer respektive Betrachtungsperiode:** Mit der Nutzungsdauer wird die effektiv zu erwartende Dauer zwischen Inbetriebnahme und Ersatz des Anlageteils bezeichnet.
- **Kalkulationszinssatz:** Der Kalkulationszinssatz ist die wichtigste Grösse für Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Er soll dem marktüblichen Zinssatz für die Verzinsung des in der Anlage gebundenen Kapitals entsprechen.
- **Teuerung:** Die Teuerung gibt die Preisentwicklung im Laufe der Zeit an, z. B. der Energiekosten

- **Externe Kosten:** Für die externen Kosten (auch Umweltkosten oder kalkulatorischer Energiepreiszuschlag KEPZ genannt) sind Werte gemäss den besten im Zeitpunkt der Erstellung der Wirtschaftlichkeitsberechnung zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Erkenntnissen oder von den Bundesbehörden anerkannten Werte zu wählen.
- **Vergleich von Wärmepumpen-Angeboten:** Beim Angebotsvergleich von Wärmepumpen sind folgende Kriterien zu beachten.

KOSTEN

- Investitionskosten
- Wartungskosten
- Betriebskosten

LIEFERUMFANG

- Vollständigkeit
- Schnittstellen (Wahl, Zweckmässigkeit)
- Bauseitige Aufwendungen
- Garantiezeit und Garantiebedingungen, evtl. mit Werksabnahme
- Einbringung
- Funktionalität

LEISTUNGEN

- Funktionalität
- Nutzungsgrad (z. B. Jahresarbeitszahl JAZ) bei definierten Rahmenbedingungen
- COP bei 3 bis 4 verschiedenen Prüfbedingungen, bezogen auf Teil- und Vollastbetrieb respektive SCOP. Dasselbe gilt im Kühlfall mit dem Energy Efficiency Ratio (EER).
- Heiz- und Kühlleistung
- Einsatzgrenzen

Bei grösseren Anlagen allenfalls zusätzlich:

- Druckverluste der Wärmeübertrager
- TEWI-Kennwert (Kapitel 3.3)

QUALITÄT

- Qualitätslabels wie Gütesiegel oder Wärmepumpen-System-Modul
- Serviceorganisation des Lieferanten (365 Tage, 24 Stunden)

- Ersatzteilverfügbarkeit
- Qualitätssicherungssystem
- Referenzen

Hinweise

- Energietechnische Anlagen respektive deren Bestandteile haben lange Lebenszeiten (10 bis 40 Jahre). Die Entwicklung von Zinsen und Teuerung, speziell bei Energiepreisen, ist über so lange Zeiträume nicht vorhersehbar. Eine Sensitivitätsanalyse (Vergleich der Ergebnisse bei unterschiedlichen Annahmen) ist daher stets sinnvoll.
- Neben mengenabhängigen Angaben sind bei leitungsgebundenen Energieträgern gegebenenfalls auch Netzbeiträge, Grundpreise und Leistungspreise zu berücksichtigen.

8.8. ERFOLGSKONTROLLE

Wärmepumpen reagieren besonders empfindlich auf Änderungen der Rahmenbedingungen beim Betrieb. Die Erfolgskontrolle ist ein wichtiges Instrument zur Umsetzung einer störungsfreien und energieeffizienten Wärme- respektive Kälteerzeugung. Typischerweise können bei grundsätzlich gut funktionierenden Anlagen durch konsequente Umsetzung Energieeinsparungen von 10 % bis 15 % realisiert werden. Um eine Erfolgskontrolle durchzuführen, ist schon bei der Planung der Wärmepumpenanlage ein Messkonzept festzulegen. Wichtiges Kriterium ist dabei die Wahl der Systemgrenzen (Kapitel 1.2). Nur wer sich zu einem frühen Zeitpunkt über den Ablauf und die notwendige Instrumentierung im Klaren ist, kann später eine einwandfreie Erfolgskontrolle durchführen. Eine vorausschauende Planung berücksichtigt auch die Möglichkeit einer späteren Instrumentierung, beispielsweise durch den Einbau von Pässstücken und Absperrhahnen.

MESSKONZEPT

Grundlage für Energiemanagement und Betriebsoptimierungen ist die Umsetzung eines effektiven, klar definierten Messkonzeptes. Dieses beinhaltet nach SWKI 98-1 Komponenten gemäss Abbildung 8.1.

Es gilt als Voraussetzung zur Erreichung der folgenden Zielsetzungen:

A Mit dem Messkonzept resultiert eine zweckmässige Struktur der Medienverteilung. Messungen können fest oder für kurze Zeit (Temporärmessung) eingebaut werden. Messungen sollen auch zu einem späteren Zeitpunkt kostengünstig eingebaut werden können. Entsprechende Vorkehrungen sind zu treffen. Beispiel: Einbau eines Pässstückes für Energiezähler.

B Das Messkonzept zeigt den Einbau von notwendigen Messeinrichtungen für die Überprüfung von garantierten Systemwerten. Beispiele: JAZ bei Wärmepumpen, ESEER bei Kältemaschinen

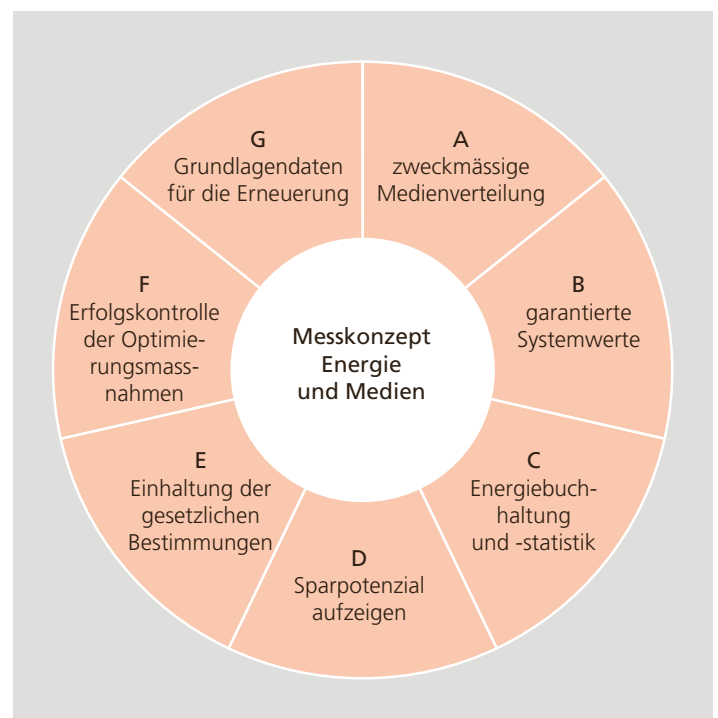
C Im Messkonzept wird der Einbau von Messeinrichtungen zur Führung einer Energiebuchhaltung und -statistik definiert.

D Das Messkonzept ermöglicht den Einbau von Messeinrichtungen zur Identifizierung des Energiesparpotenzials. Daraus lassen sich die Betriebsoptimierungsmassnahmen ableiten.

E Das Messkonzept ermöglicht den Einbau von Messeinrichtungen zur verbrauchsabhängigen Nebenkostenabrechnung.

Einerseits werden damit die gesetzlichen Bestimmungen erfüllt, andererseits können

Abbildung 8.1: Messkonzept für Energie und Medien nach SWKI 98-1.



auch die Wünsche der Bauherrschaft oder der Mieter erfüllt werden.

F Das Messkonzept ermöglicht den Einbau von Messeinrichtungen für die Erfolgskontrolle über die durchgeführten Betriebsoptimierungsmaßnahmen.

G Das Messkonzept ermöglicht den Einbau von Messeinrichtungen, deren Messergebnisse als Grundlage für die Planung und Ausführung der Erneuerung oder des Ersatzes der Anlagen dienen.

FUNKTIONEN

Mit einem klar definierten Messkonzept sowie der Auswertung der Energie- und Medienmessungen können folgende Hauptfunktionen erfüllt werden:

- Aussagekräftige Energiekennzahlen zur Verifizierung von Planungsdaten und zur Kontrolle von Garantiewerten aufzeigen.
- Daten für die energetische Betriebsoptimierung (BO) liefern. Dabei werden Energiepotenziale lokalisiert und so die Grundlagen für BO-Massnahmen geschaffen.
- (Früh-)Erkennung von Fehlfunktionen ermöglichen.
- Grundlagen liefern für Verbrauchsprognosen und Budgetierung.
- Die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften, wie beispielsweise die verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung, sicherstellen.

MESSEINRICHTUNGEN

Das Messkonzept sollte folgende Messeinrichtungen respektive Messstellen beinhalten:

- Elektrozähler für Verdichter
- Betriebsstunden und Impulszähler für Verdichter
- Wärmezähler je Wärmeerzeuger
- Messstutzen (wenn möglich Twinlock-Messnippel; allenfalls Kugelhahn mit Fühleraufnahme) zur Erfassung der Ein- und Austrittstemperaturen im Verdampfer- und Verflüssigerkreis sowie allenfalls zur Messung von Druckverlusten.

Bei grösseren und komplexen Anlagen zusätzlich:

- Temperaturen an jedem Wärmeübertrager-Ein- und -Austritt

- Raumlufttemperatur
- Aussentemperatur
- Leistungsstellung der Verdichter
- Betriebsstundenzähler (allenfalls Elektrozähler) für Pumpen, Lüfter, Zusatzheizungen (z. B. elektrische Notheizung) etc.
- Wärmezähler je Wärmequelle
- Ventilstellungen

DATENERFASSUNG

Die Datenerfassung kann manuell oder automatisch erfolgen. Bei der manuellen Datenerfassung – vorzugsweise für kleinere, einfache Anlagen – ist ein entsprechendes Messprotokoll zu erstellen. Die Daten sollten während der Messperiode möglichst immer zur selben Zeit erfasst werden. Je nach Betriebs- und Lastphasen sind die Daten von mehrmals täglich bis einmal monatlich zu erfassen.

Bei grösseren oder komplexen Anlagen ist die Datenerfassung nur mit Hilfe einer Intensivmessung mit dichten Aufzeichnungsintervallen (Stunden, Minuten) sinnvoll. Damit können die dynamischen Zusammenhänge und Funktionsabläufe erfasst werden. Ist ein Gebäudeleitsystem vorhanden, kann die Aufzeichnung der Daten über dieses System erfolgen. Im anderen Fall sind die Daten mit einer separaten Einrichtung (z. B. Datenlogger) zu erfassen. Die technischen Möglichkeiten sind schier unbegrenzt, dabei sollte aber stets auch der Nutzen und die Bedienerfreundlichkeit im Auge behalten werden: Die Daten müssen schlussendlich regelmässig erfasst, verarbeitet und interpretiert werden. Dazu ist an alle am Prozess Beteiligten zu denken. Daten, die nicht ausgewertet werden, bringen keinen Nutzen (verursachen in der Erfassung aber allenfalls Kosten).

9. INBETRIEBSETZUNG

Nach der Ausführungsphase folgt die Vorbereitung und Durchführung der Inbetriebsetzung. Anschliessend folgen die Abnahme und der Betrieb (siehe auch SN EN 378). Bei der Abnahme wird kontrolliert, ob und wie die Anlage mit dem Werkvertrag und mit den Fachregeln übereinstimmt. 2 bis 3 Monate nach der Inbetriebsetzung sollten die Einstellungen unter Last nochmals überprüft und der Betrieb entsprechend optimiert werden (siehe auch Kapitel 9.8).

KURZBESCHREIB NACH SIA 113

Die Empfehlung SIA 113 FM-gerechte Bauplanung und Realisierung (Abbildung 9.1) beschreibt die Aufgaben eines planungs- und baubegleitenden Facility Managements (FM). Die fünf Phasen des Bauprozesses

gemäss dem Leistungsmodell SIA 112 gliedern die Grafik vertikal, unterteilt in ihre definierten Teilphasen. Horizontale Hauptgliederungsthemen sind die zu berücksichtigenden Sichtweisen, von der Qualitätssicherung aus Sicht FM bis zum Informations- und Datenmanagement. Die Sichtweisen Eigentümer, Nutzer und Dienstleister sind in die Themen Finanzen und Ressourcen, Prozesse und Aufgaben sowie Organisation gegliedert. Ferner enthält das Informations- und Datenmanagement die Themen Bezeichnung und Strukturierung, Ablage sowie Austausch. An den Schnittstellen sind für die einzelnen Themen pro Teilphase Leistungen definiert. Die Gliederung in die Sichtweisen Eigentümer, Nutzer und Dienstleister dient dem Zweck, die

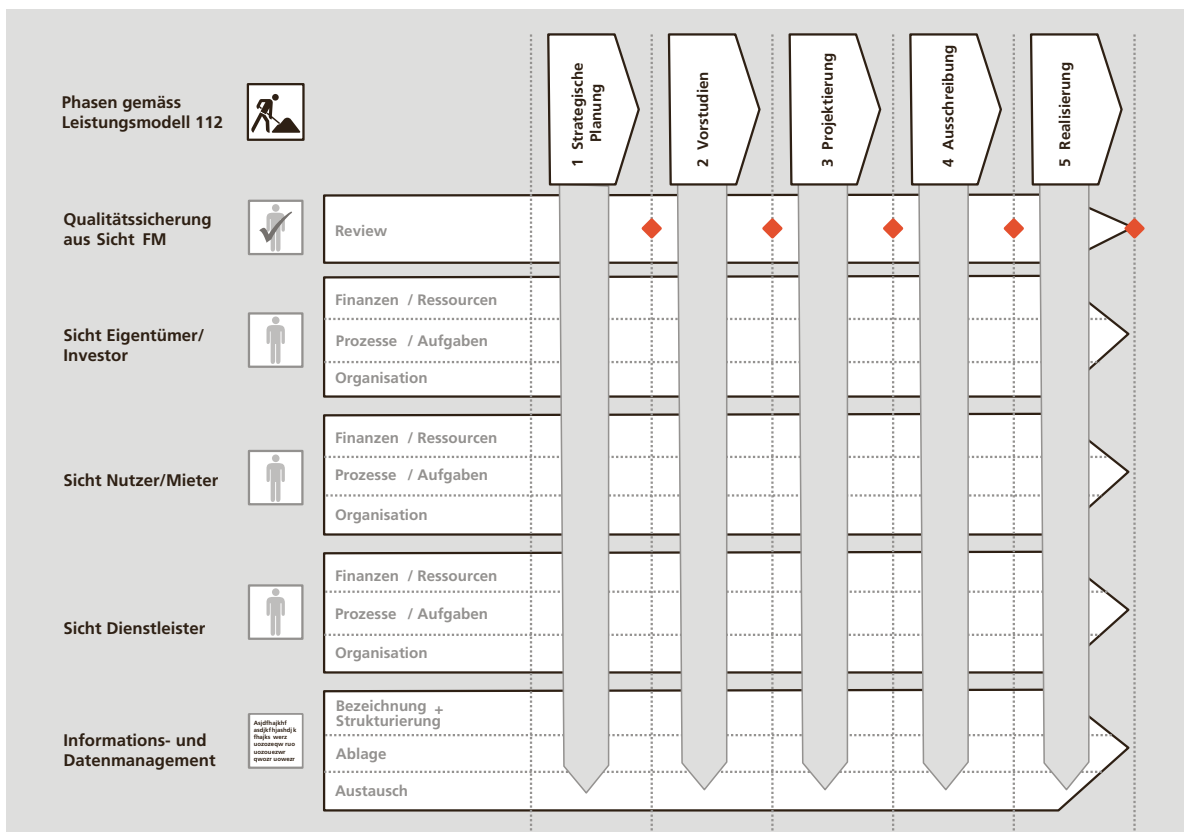


Abbildung 9.1: Sichtweisen im FM nach Norm SIA 113 (Quelle: Planungs- und baubegleitendes Facility Management pbFM, Praxisleitfaden für die Empfehlung SIA 113, CRB).

wichtigsten Anforderungen für die Bewirtschaftungsphase systematisch und vollständig in die Planungs- und Erstellungsphase zu integrieren.

9.1. PHASE VOR DER INBETRIEBSETZUNG

MONTAGEKONTROLLE

Am Ende der Ausführungsphase, vor der Füllung des Hydraulik-Systems mit Medien, ist eine genaue Montagekontrolle der installierten Anlage erforderlich. Dabei ist zu prüfen, ob die Installation mit den spezifizierten Vorgaben übereinstimmt und die Anlagekomponenten richtig montiert wurden. Es ist darauf zu achten, dass alle Apparate und Anlagenteile mit Bezeichnungsschildern mit entsprechenden Positionsnummern in Übereinstimmung mit dem Anlageschema und anderen Dokumenten montiert sind.

KONTROLLE DER MESS- UND REGEL-EINRICHTUNGEN

Bereits bei der Planung der Anlage ist zu überlegen, welche Messgrößen für Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Betrieb der Anlage erfasst werden müssen. Die nachträgliche Installation von Temperaturfühlern und anderen Messinstrumenten ist in der Regel aufwendig, sie sollte daher frühzeitig in die Planung mit einfließen (Kapitel 8.8). Die Montagekontrolle bietet die allerletzte Gelegenheit, um entsprechende Korrekturmaßnahmen ohne grossen Mehraufwand einzuleiten. Vor dem Füllen der Anlage mit der Wärmeträgerflüssigkeit sollen deshalb die Messeinrichtungen und die Stellglieder, welche im Hydraulikkreislauf eingebaut sind, besonderer Kontrolle unterzogen werden. Für die zuverlässige Messgrössenerfassung ist die richtige Position (z. B. Beruhigungsstrecken vor oder nach Volumenstromzählern) und korrekte Montage (z. B. Einbaulage) der Einrichtungen ausserordentlich wichtig (Herstellangaben beachten).

9.2. VORBEREITUNG DER INBETRIEBSETZUNG

Vor der Inbetriebsetzung muss die Installationsphase inklusive Elektro- und MSRL- oder GA-Installationen abgeschlossen sein (inklusive Sicherheitsnachweis gemäss Niederspannungs-Installations-Verordnung NIV). Damit die Inbetriebsetzung effizient durchgeführt werden kann, sind vorgängig die folgenden Vorbereitungen zu treffen:

- Programm der Inbetriebsetzung erstellen, Termine mit den Beteiligten festlegen; die Verfügbarkeit der Medien und Räumlichkeiten sicherstellen.
- Die folgenden Dokumente sind auf der Anlage zur Verfügung zu stellen:
- Prinzipschema der Installation
- Technische Datenblätter mit Angaben der Einstellparameter, der Sollwerte und Regelkurven. Diese müssen, sofern festgelegt, mit den Vertragswerten übereinstimmen.
- Schema der Stromeinspeisung, der elektrischen Steuerung und Regelung (Regelschema)
- Leistungszusammenstellung für Elektromotoren
- Funktionsbeschreibungen
- Datenlisten für Massenströme, Druckdifferenzen, Netztemperaturen, usw.
- Installationspläne
- Allenfalls Messstellenplan
- Für die Inbetriebsetzung muss mindestens ein Entwurfsexemplar der Bedienungsanleitung für alle Anlagen bzw. Anlagenteile zur Verfügung stehen, damit während der Inbetriebsetzung allfällige Korrekturen und Ergänzungen eingebracht werden können.
- Allenfalls Prüf- und Abnahmeprotokolle (Kapitel 9.3)

Mit Vorteil sind all diese Unterlagen in einem Anlageordner zusammengestellt und allen Beteiligten zugänglich, insbesondere aber bei der Anlage selbst verfügbar (Kapitel 9.8).

9.3. WÄRMEQUELLE UND WÄRMEABGABE

Vor der eigentlichen Inbetriebnahme der Wärmepumpe müssen die Wärmequelle und die Wärmeabgabe kontrolliert und entsprechend vorbereitet werden.

Installation auf Vollständigkeit prüfen:

- Bei Erdwärmesonden und Grundwasserfassungen: Dokumente zur Qualität der Erstellung (Abnahmeprüfung Norm SIA 384/6 respektive Norm SIA 384/7).
- Wassersysteme gespült, gefüllt (Richtlinie SWKI BT102-01 beachten) und gründlich entlüftet (die Druckprobe wird während der Installationsarbeiten, vor der Anbringung der Dämmung, durchgeführt).
- Volumenströme überprüft, hydraulischer Abgleich vorgenommen.
- Konzentration der Frostschutzfüllung prüfen (falls vorhanden).
- Bei Pumpen- und Ventilatormotoren und anderen Antrieben (ausgenommen der Verdichtermotor) die Drehrichtungskontrolle durchführen.
- Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen muss das System auf der Wärmequellenseite überprüft werden.
- Gegebenenfalls Absperrreinrichtungen öffnen.
- Tauchhülsen sollten stets exakt (d. h. spielfrei) zu den verwendeten Temperaturfühlern passen (gemeinsam beschaffen). Thermisches Kontaktmaterial («Wärmeleitpaste») sollte nur in Ausnahmefällen verwendet werden.

9.4. INBETRIEBSETZUNG DER WÄRMEPUMPE

Es ist sicherzustellen, dass vor der Inbetriebsetzung alle zugehörigen Anlagenteile wie Verbraucherkreis, Rückkühlung etc. betriebsbereit sind, die Versorgung mit Elektrizität funktioniert und genügend Last vorhanden ist.

Die Inbetriebsetzung erfolgt in der Regel unter der Leitung des Haustechnikplaners. Dieser kennt die Funktionsweise der elektrischen, der hydraulischen bzw. der lufttechnischen Anlage. Er wird entsprechend durch den Spezialisten der Regelfirma, durch den

Installateur und den Elektriker sowie durch die Inbetriebsetzungsspezialisten der Komponentenlieferanten unterstützt. Die Vorgehensweise kann wie folgt aussehen:

- Sichtkontrolle, Installationskontrolle
- Elektroanschlüsse bei allen Apparaten kontrollieren, die elektrischen Verbindungen anhand von Elektroschema überprüfen.
- Thermorelais (Wärmepakete) auf korrekte Einstellung gemäss den Typenschildern der Motoren prüfen, Einstellungen der elektrischen Schutzeinrichtungen kontrollieren.
- Verdichter vom Netz elektrisch trennen.
- Hauptschalter einschalten.
- Ölheizungen (Carter- bzw. Ölabscheiderheizung) falls vorhanden einschalten.
- Sicherheitsfunktionen soweit möglich kontrollieren und überprüfen.
- Verdichter-Drehrichtung kontrollieren. Diese darf nur durch den Fachmann der Lieferfirma durchgeführt werden.
- Funktionskontrolle von Steuerung und Regelung durchführen, gespeicherte Werte auf Richtigkeit kontrollieren.
- Alle Regel- und Steuerverbindungen einem Funktionstest unterziehen.
- Regelparameter (P-Bereich, Nachstellzeit, Vorhaltezeit), Heizkurven, Sollwerte usw. auf die (durch den Planer) berechneten bzw. empfohlenen Werte einstellen.

9.5. INBETRIEBSETZUNGS-PROTOKOLL

Am Ende der Inbetriebsetzung sind die diversen Parameter wie Sollwerte, Regelkurven und Sicherheiten gemäss den im Vertrag definierten Werten (sofern festgelegt) einzustellen. Allfällige Abweichungen und Mängel sind entsprechend festzuhalten.

Alle wichtigen Einstellparameter sind im Inbetriebsetzungsprotokoll zu dokumentieren (→ Anlagenordner, siehe auch Abschnitt 9.2). Abweichungen bzw. Änderungen sind in den Dokumenten von Hand einzutragen.

9.6. BEDIENUNGSANLEITUNG

Die Bedienungsanleitung beschreibt die Funktion und Regelung der einzelnen Anlagenteile. Diese soll verständlich und übersichtlich aufgebaut sein. Nachfolgend einige

Punkte, die bei der Anfertigung der Bedienungsanleitung zu beachten sind:

- Adressen und Telefonnummern der zuständigen Servicestellen
- Einheitliche Bezeichnungen, Symbole nach den gültigen Normen verwenden
- Übereinstimmung mit der Beschriftung auf der Anlage
- Keine fremdsprachigen Unterlagen verwenden.
- Gültiges Elektroschema mit den eingetragenen Änderungen aus der Inbetriebsetzungsphase
- Beizulegen ist das Inbetriebsetzungsprotokoll mit den wichtigen Angaben wie z. B.:
 - Ablesungen der Anlagedaten während des Anlagebetriebes
 - Sämtliche Einstellwerte, die durch den Betreiber geändert werden können.
 - Allfällige Grenzwerte
- Massnahmen bei Betriebsstörungen
- Verzeichnis der Aufgaben, welche das Betriebspersonal erledigen muss.
- Leeres Protokoll mit der Liste der Ablesedaten
- Wartungsheft (siehe 10.2)

Während der Inbetriebsetzung werden in der Regel kleine Änderungen und Korrekturen an der Anlage vorgenommen. Vor allem

Anpassungen im Elektroschema müssen in der definitiven Version nachgetragen werden. Der Entwurf der Bedienungsanleitung (siehe auch Kapitel 9.2) muss entsprechend bereinigt werden.

9.7. ABNAHMEPROTOKOLL

Nach dem Abschluss der Inbetriebsetzungsarbeiten erfolgt eine Kontrolle der Anlage unter Einbezug der Beteiligten. Ziel dieser Kontrolle ist ein allseitig unterzeichnetes Protokoll, welches die Abnahme der Anlage bestätigt und allfällige Vorbehalte festhält. Bei der Abnahme ist durch den Planer ein Abnahmeprotokoll auszufüllen und von den Parteien zu unterschreiben. Dieses enthält:

- Die vertraglich festgelegten Daten
- Checkliste über Lieferumfang und Qualität der Ausführung
- Die effektiven Anlagedaten
- Allfällige Mängel

Mit der Abnahme übernimmt die Bauherrschaft die Verantwortung über die Anlage und die Garantiefrist beginnt zu laufen. Häufig wird der Zeitraum von der baulichen Fertigstellung bis zum Nutzungsbeginn unterschätzt. Dies betrifft insbesondere eigengenutzte Immobilien, in die nach Fertigstellung durch die ausführenden Firmen nutzerseitig noch Installationen oder Aus-

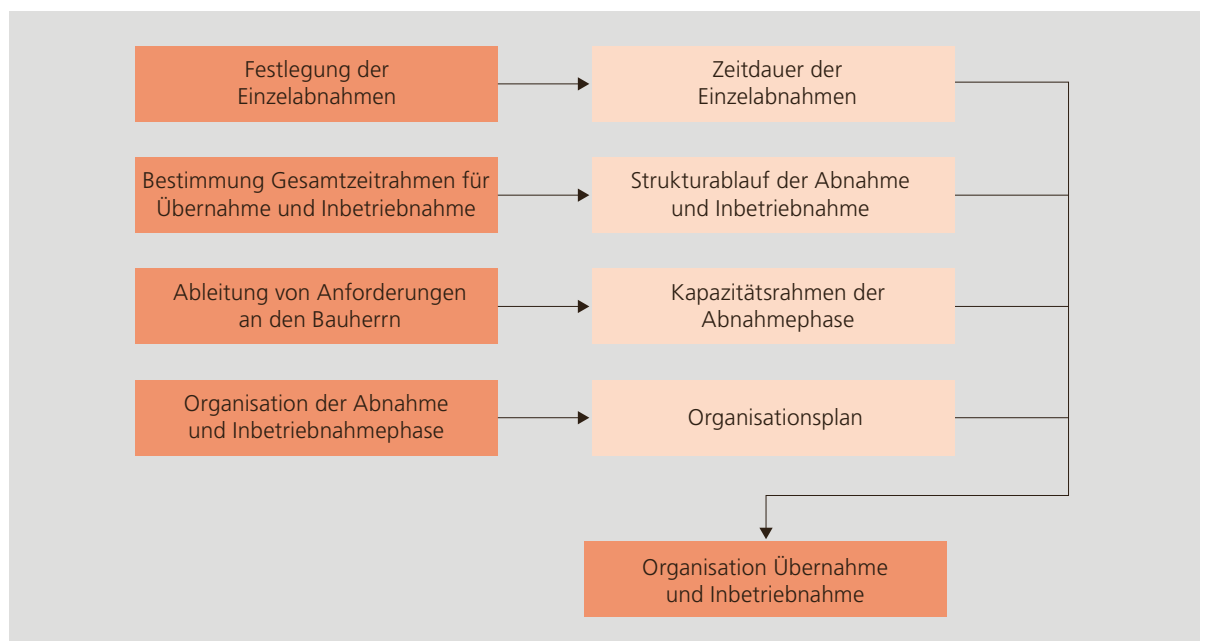


Abbildung 9.2
Organisation von
Abnahme, Übergabe
und Inbetriebnahme
(Quelle: Real Estate
and Facility Management,
Preuss, N. und
Schöne L.B., 2010).

stattungen eingebracht werden (Mieterausbau). Die wichtigsten Aktivitäten sind in Abbildung 9.2 zusammengefasst.

EINZELPHASEN

Der gesamte Zeitraum von der baulichen Fertigstellung bis zur Nutzung strukturiert sich in mehrere Einzelphasen. Dabei wird der Zeitraum für die Abnahme von der Dauer der längsten Einzelabnahme bestimmt. Die Abnahmen der gebäudetechnischen Anlagen werden meistens parallel durchgeführt. Je nach Grössenordnung des Projektes müssen mehrere Personen mit gebäudetechnischer Kompetenz zur Verfügung stehen.

Beispiele: Elektro; Heizung, Lüftung, Klima, Kälte (HLKK); Sanitär; Mess-, Steuer-, Regel-, Leittechnik (MSRL); Gebäudeautomation (GA); Informations- und Kommunikationstechnologie (EDV, ICT) und Gefahrenmeldeanlagen wie: Brandmeldeanlage (BMA), Rauch- und Wärme-Abzugsanlagen (RWA), Gas-, Wasser-, Abwasser- und Feuerlöschtechnik (GWA) etc. Bei den Einzelvorgängen muss je nach Gewerk berücksichtigt werden, dass im Zug der Vorbereitung der Abnahmen die firmeninternen Inbetriebnahmen (Funktionstest und Probetrieb) durchgeführt werden. Ebenfalls betrifft dies die Behördenabnahme wie ESTI (Eidgenössisches Starkstrominspektorat), SVTI (Schwei-

zerischer Verein für technische Inspektionen) etc. Abbildung 9.3 zeigt einen möglichen Terminplan.

Die Meilensteine wie Abnahme, Übergabe und Nutzungsbeginn sind mit allen Beteiligten sorgfältig zu planen und einzuhalten.

Es ist wichtig festzuhalten, ab wann die Garantieleistungen bei erbrachten Bauleistungen gesetzlich beginnen. Normalerweise erfolgt dies nach der formalen Abnahme und muss im Abnahmeprotokoll festgehalten werden.

Hinweis: Es kann versucht werden, die Garantiefristen vertraglich zu verlängern. Zudem ist es wichtig, die Serviceverträge so früh wie möglich mit den Dienstleistern zu verhandeln.

Korrekte Revisionsunterlagen mit allen relevanten Anlagedaten sind der Beginn eines effektiven und effizienten Facility-Management-Prozesses. Als Grundlage für die Erarbeitung einer Bedienungsanleitung dient die Instandhaltungs-Richtlinie SWKI 95-2.

Die Fachfirmen sollen auf der Basis dieser Richtlinien bei der Kundschaft für die regelmässige Wartung eintreten. Dabei sind folgende Punkte zu befolgen:

- Das Wartungskonzept müsste bereits im Planungsstadium in Form eines Kostenvoranschlages thematisiert werden.

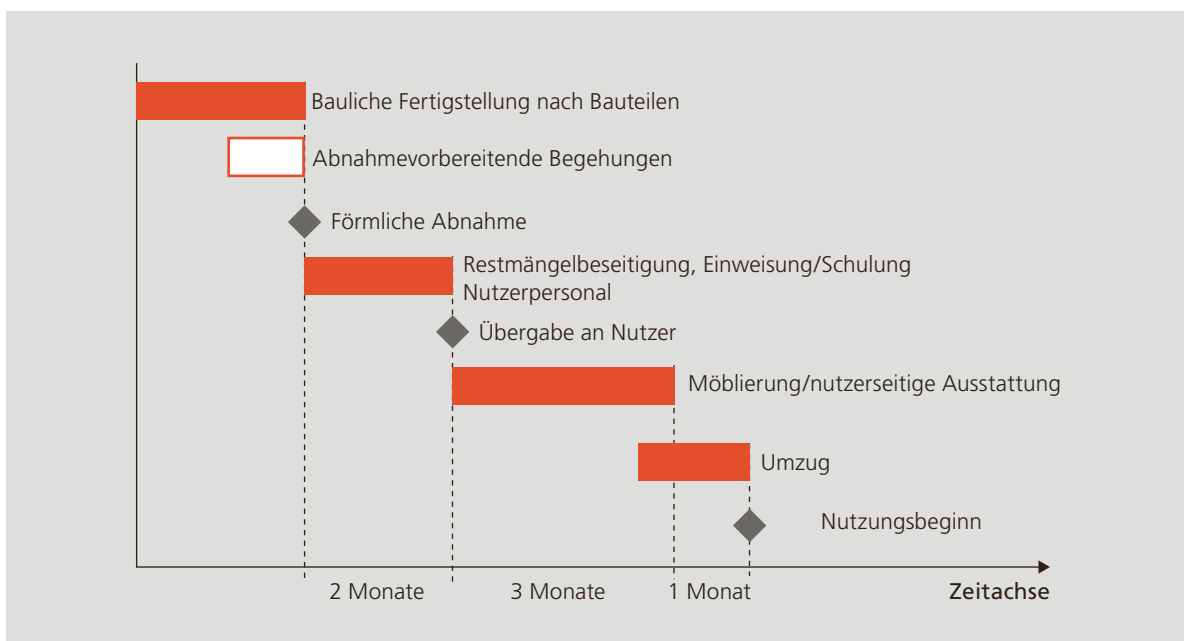


Abbildung 9.3
Strukturablauf der
Abnahme und Inbetriebnahme (Quelle:
Real Estate und
Facility Management, Preuss, N.
und Schöne L.B.,
2010).

- Das Konzept sollte spätestens nach Erstellen der gebäudetechnischen Anlagen umgesetzt werden.
- Allfällige bestehende gebäudetechnische Anlagen müssen in dieses neue Wartungskonzept integriert werden.
- Bei Anlagen mit Luft-Wasser-Wärmepumpen: Disposition (Aufstellung) und Lärmschutznachweis
- Inbetriebnahmeprotokoll Lieferant WP
- Inbetriebnahmeprotokoll Installationsfirma, inkl. Protokoll Einregulierung Massenströme und Berechnungen Druckverluste
- Betriebsanleitungen aller wichtigen Komponenten
- Prinzip- und Elektroschema
- Bau-, EVU- und Erdwärmesonde-Bewilligungen
- Diverses

Die Eigentümer respektive Nutzer dürfen Instandhaltungsarbeiten nur durch geschultes Personal oder durch Fachfirmen ausführen lassen.

9.8. ANLAGENDOKUMENTATION

Damit auf einer Anlage die wichtigen Informationen und Daten vorliegen, sollte generell für jede Anlage ein Anlagenordner mit dem nachstehenden Informationsmaterial erstellt werden.

- Adressen Unternehmer und Servicestelle, respektive auch für Störungsmeldung
- Berechnungsgrundlagen der Wärmepumpenanlage, Grundlagedaten und Berechnung Wärmeerzeugerleistung
- Technische Daten der Wärmepumpe, Umwälzpumpen, etc.
- Bei Anlagen mit Erdwärmesonden: Protokoll Erdwärmesonden-Dimensionierung nach Norm SIA 384/6, Bohrprofil der Erdsondenbohrfirma und Plan Sondenposition(en)

Tabelle 9.1: Definition des Prozesses «Garantie-Management» gemäss dem Prozess-Leistungsmodell im Facility Management (ProLeMo) von CRB.

Prozess Garantiemanagement	
Prozess-Ziel	Mängel, die unter die Garantieleistung fallen, werden vom Ersteller beziehungsweise Lieferanten behoben.
Messgrössen Vorgelagerte Prozesse	Anzahl verpasster Garantiefälle Abnahme
Nachfolgende Prozesse	keine
Leistungen	<ul style="list-style-type: none"> • Verjährungsfristen verfolgen • Mängelansprüche prüfen und geltend machen • Mängelbeseitigung verfolgen • Garantiemassnahmen durchführen
Kurzbeschreibung	Im Prozess «Garantiemanagement» werden Garantiefristen erfasst und überwacht. Tritt während der Garantiefrist ein Mangel auf, so wird dieser sofort nach der Entdeckung gerügt und eine Frist zur Behebung gesetzt. Die Durchführung der Mängelbehebung wird überwacht und die Behebung des Mangels überprüft. Erfolgt die Mängelbehebung trotz Mahnung nicht, so kann der Betreiber den Mangel selbst beheben lassen und die anfallenden Kosten dem Ersteller in Rechnung stellen oder bei einer allfällig vorhandenen Bankgarantie geltend machen. Vor Ablauf der Garantiefrist von grösseren Gewerken empfiehlt sich die Durchführung einer Garantieabnahme.

10. BETRIEB

10.1. BETRIEB UND ERFOLGS-KONTROLLE

Die auf der Anlage installierten Messgeräte sollen eine Kontrolle der Betriebsparameter ermöglichen. Die Inbetriebsetzung wird im Normalfall bei bestimmten Randbedingungen durchgeführt. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Anlage bei veränderten Bedingungen entsprechend auf die Funktionalität und Energieeffizienz zu kontrollieren. Dies gilt nicht nur für die Phase direkt nach der Inbetriebsetzung – allfällige Veränderungen an der Anlage sollen nicht unentdeckt bleiben.

10.2. BETRIEBSÜBER-WACHUNG

Das Betriebspersonal soll regelmässige Betriebskontrollen durchführen. In regelmässigen Abständen sind Ablesungen der Anlagedaten im Betriebsprotokoll festzuhalten. Dieses dient als nützliches Instrument für die Überprüfung der Anlageneffizienz sowie als Grundlage für die Durchführung von Wartungsarbeiten. Wichtigste Beurteilungskriterien für die Erfolgskontrolle einer Wärmepumpenanlage stellen die Jahresarbeitszahl (JAZ) und die Jahresnutzungsgrade (WNG/SNG) dar. Diese können allerdings nur dann eruiert werden, wenn die entsprechenden Messdaten über den Energieverbrauch der Wärmepumpe inklusive Hilfsaggregate sowie die gelieferte Heizenergie vorliegen. Interessante Hinweise zum Betriebsverhalten von Wärmepumpen liefern ebenfalls die Anzahl der Verdichter-Einschaltungen, die bei den meisten seriell hergestellten Wärmepumpen erfasst und über den Regler ausgelesen werden können. Bei Klein- und Grossanlagen sollten zudem die Betriebszeiten von allfälligen Elektroinsätzen überwacht werden. Bei Sole-Wasser-

Wärmepumpen wird empfohlen, die minimale Temperatur im Sole-Kreis regelmässig zu kontrollieren.

10.3. INSTANDHALTUNG

ALLGEMEIN

Für einen sicheren und störungsfreien Betrieb der Wärmepumpenanlage ist eine periodische Instandhaltung zu prüfen. Diese kann umgesetzt werden durch:

- Instandhaltungsvereinbarung oder
- Garantieverlängerung (mit den entsprechenden Serviceleistungen)

Es ist zu beachten, dass für die Wartung der Anlagenteile, bei denen man mit dem Kältemittel in Berührung kommt, das Personal eine «Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln» benötigt.

WARTUNGSSHEFT

Bei allen Geräten und Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel, unabhängig von dessen Art, muss die Anlage gemeldet und ein Wartungsheft geführt werden. Die Vignette («Etikette») zur Anlageidentifikation ist am Gerät anzubringen.

DICHTIGKEITSKONTROLLE

Eine regelmässige Dichtigkeitskontrolle muss bei allen Geräten und Anlagen mit mehr als 3 kg Ozonschicht abbauende oder in der Luft stabile Kältemittel durchgeführt werden (siehe auch Wegleitung «Stationäre Geräte und Anlagen mit Kältemitteln, Wartungsheft, Dichtigkeitskontrolle, Meldepflicht»). Für dauerhaft geschlossene Kompaktanlagen (Definition gemäss SN EN 378, z. B. gelötete oder geschweisste Verbindungen im Kältekreis) gelten längere Fristen.

10.4. BETRIEBSOPTIMIERUNG

Eine Anlage, die optimal betrieben wird, hat in der Regel keine Störungen, braucht weniger Energie, reduziert damit die Betriebskosten und führt allenfalls sogar zu behaglicherem Raumklima. Bei der Inbetriebsetzung wird oft ein Betriebszustand einreguliert und einige Einstellungen (z. B. Heizkurve) nur nach Erfahrungswerten vorgenommen. Erst während des Betriebes können die Einstellungen der Anlage optimiert, d. h. auf den tatsächlichen Bedarf ausgerichtet werden. Die Betriebsoptimierung bleibt damit eine Daueraufgabe (Prozess), weil sich die Nutzungsbedingungen im Verlaufe der Zeit oft ändern. Die Zielsetzungen von Betriebsoptimierungen sind grundsätzlich: optimale Einstellung einer technischen Anlage, Angebot der Energie auf dem benötigten Temperaturniveau, Bereitstellung der Energie zum tatsächlich benötigten Zeitpunkt, Erreichung möglichst hoher Wirkungsgrade bei der Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung.

Dabei müssen stets die sicherheitstechnischen und hygienischen Anforderungen eingehalten werden.

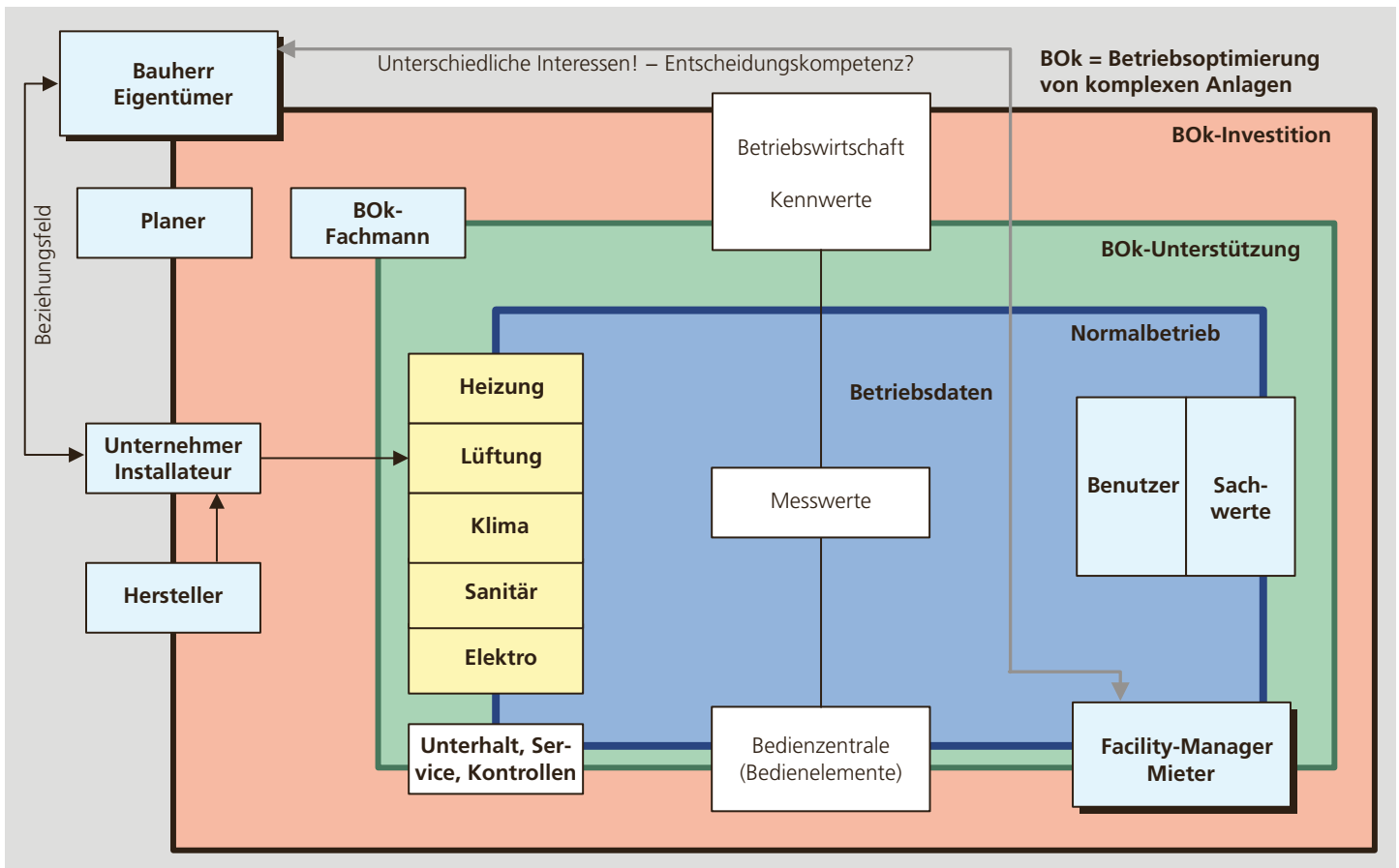
Hinweis: Die Betriebsoptimierung ist gemäss Leistungsmodell SIA 112 eine von der Bauherrschaft zu bestellende Zusatzleistung.

KONZEPT DER BETRIEBSOPTIMIERUNG

Bei der Betriebsoptimierung (BO) werden drei Eingriffsebenen unterschieden (Quelle: EnergieSchweiz):

- **Normalbetrieb:** Betriebsoptimierung durch Kontrollen, Aufzeichnungen und bessere Einstellung der Anlagen (Regelung). Es sind keine Investitionen nötig, ausser für laufenden Unterhalt. Zudem braucht es kein spezielles BO-Knowhow respektive externe Fachspezialisten.
- **BO-Unterstützung:** Gezielte Betriebsoptimierung aufgrund spezifischer Auswertungen und Messungen; Sofortmassnahmen mit minimalen Investitionen (ca. 3000 Franken); ein BO-Fachmann ist beizuziehen.

Abbildung 10.1: Das 3-Ebenen-BOK-Modell zeigt die verknüpften Interessenkreise sowie die für den BO-Prozess relevanten Kreisläufe (Quelle: Grundlagen für die Betriebsoptimierung von komplexen Anlagen (BOK), BFE 2002).



- **BO-Investitionen:** Betriebsoptimierung durch selektive Investitionen. Die sorgfältige Analyse der Anlagen mit der Auswahl jener Massnahmen mit dem grössten Einsparpotenzial respektive dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis bildet die Grundlage für das weitere Vorgehen (inklusive Budgetierung). BO-Investitionen lassen sich am besten realisieren, wenn ohnehin eine Sanierung oder ein Ersatz von einzelnen Komponenten ansteht. Dabei ist es wichtig, pro Eingriffsebene die entsprechenden Stakeholder zu involvieren.

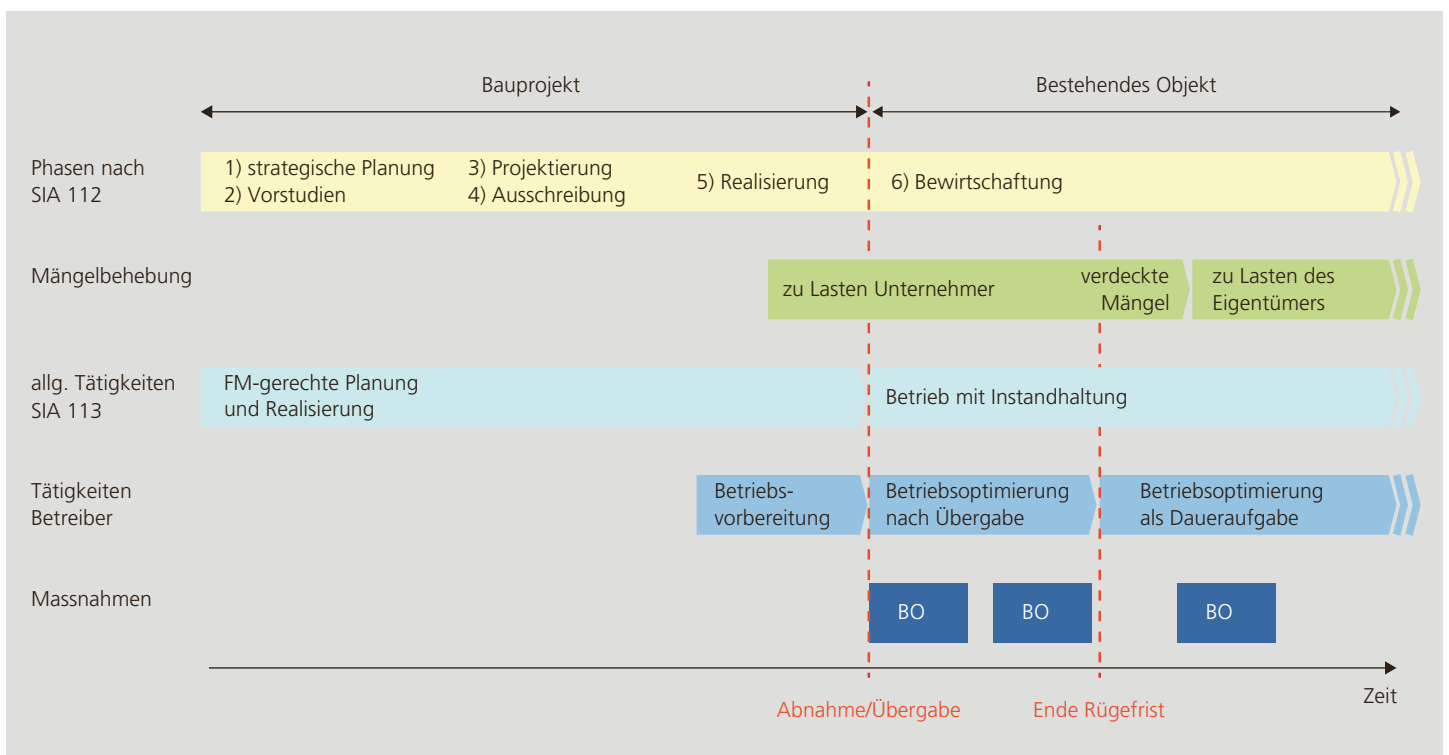
Von einer Betriebsoptimierung sind viele Interessenskreise tangiert, für eine erfolgreiche Umsetzung sollten alle Beteiligten mit einbezogen werden. Planungshilfe bei der energetischen BO ist das Merkblatt SIA 2048:2015. Dabei kann BO als Prozess wie in Abbildung 10.2 dargestellt werden. SIA 2048:2015 unterscheidet zwischen energetischer Betriebsoptimierung nach Übergabe und als Daueraufgabe. Als wesentlicher Unterschied stehen zu Beginn der BO keine gemessenen Betriebsdaten zur Verfügung.

- Das Schwergewicht der energetischen Betriebsoptimierung unmittelbar nach der Übernahme liegt in folgenden Bereichen: Stabilität der verschiedenen Regelkreise im dynamischen Betrieb prüfen; Regelsequenzen (z. B. Heizen, WRG, Kühlen) im dynamischen Betrieb prüfen; Ein-Aus- und Regelverhalten bedarfsmässig gesteuerter Anlagen (z. B. Frequenzumformer, Stufenschaltungen, Kaskadenschaltungen) im realen Betrieb analysieren und prüfen (z. B. mittels Trendanalysen); Funktion und Energieeffizienzkennzahlen von energierelevanten Anlagen (z. B. Kältemaschinen, WRG, Wärmepumpen, Abwärmenutzungen, Solaranlagen) kontrollieren; Heiz- und Kühlkurven optimieren; hydraulischen Abgleich optimieren.

Hinweis: Der Inbetriebnahme und Unterhaltung der Messwerterfassung ist ebenfalls Aufmerksamkeit zu schenken. Insbesondere ist die Sinnhaftigkeit der erfassten Messwerte zu überprüfen. Bewährt hat sich dazu das Erstellen und Überprüfen von Energiebilanzen. Als Daueraufgabe sind mindestens folgende Aufgaben vorgesehen:

- Auswertung der relevanten Energiedaten und Vergleich mit Soll- oder Referenzwer-

Abbildung 10.2: Prozess der energetischen Betriebsoptimierung (Quelle: Andreas Genkinger, angelehnt an Merkblatt SIA 2048).



ten; periodische Kontrollen der Funktion und der Energieeffizienzkennzahlen relevanter Abwärmenutzungs- und WRG-Anlagen (z. B. Nutzung der Kondensationswärme im Abgas von Feuerungen) sowie von Anlagen zur Nutzung von Umweltenergien (z. B. Solaranlagen, Wärmepumpen); Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und deren Wirkung; Identifikation von Massnahmen bei Umnutzungen (samt Erfolgskontrolle); Trendanalysen und temporäre Messungen.

Das SIA-Merkblatt enthält auch eine Checkliste, welche Daten – sofern zutreffend – zu erheben sind. Die wichtigsten Punkte sind hier auszugsweise genannt:

- Baujahr der Anlage (und allfälliger Sanierungen)
- Zählerdaten der Netzbetreiber respektive Versorgungsunternehmen (Elektro – wenn möglich für Wärmepumpen separat –, Gas, Öl, Fernwärme, Wasser): idealerweise die

letzten drei Jahre als Wochenwerte (mindestens als Monats- oder Jahreswerte). Bei Grossbezüglern liefert der Netzbetreiber (Gas- oder Elektrizitätswerk) ¼-Stunden-Werte elektronisch in Tabellenform.

- Private (Unter-) Zählerdaten
- Aktuelle Zählerstände
- Betriebsdaten (z. B. Betriebsstunden pro Brennerstufe, der Lüftungsanlagen, der Wärmepumpe etc.).
- (zusätzliche) Wärmeerzeuger

Bei der Auswertung und Analyse von Wärmepumpen und Kältemaschinen kommen noch folgende prüfenswerte Punkte hinzu:

- eingesetztes Kältemittel
- geforderte Kühlmedium- bzw. Kaltwasser-Temperaturen, Bedarfsanpassung dieser Temperaturen
- Speichertemperaturen
- Gleichzeitigkeit der Kälteerzeugung, Kälteverteilung, Kältespeicherung (Anlaufzeiten berücksichtigen)

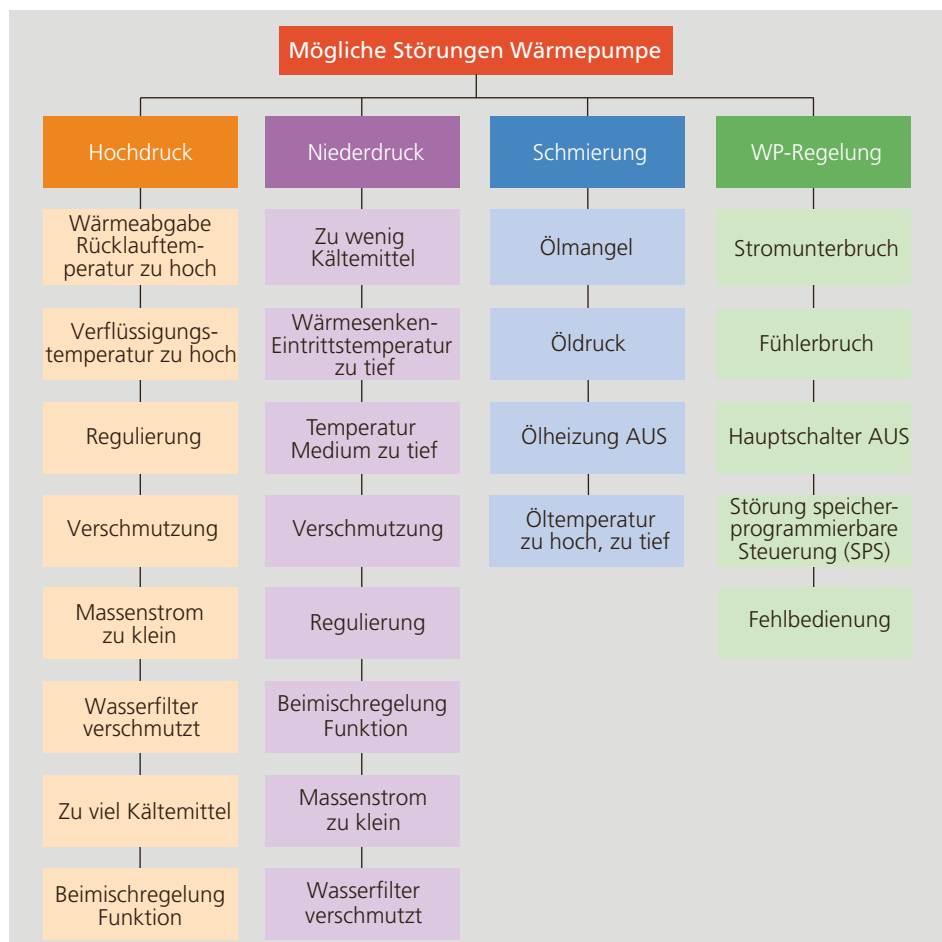


Abbildung 10.3: Mögliche Störungen und Störungsursachen bei Wärmepumpenanlagen

- Konzentration des Frostschutzmittels in Rückkühlleitungen
- Verdichter mit Frequenzumformer
- Softstarter
- Rückkühlsysteme, Abwärmenutzung
- Kondensations- und Verdampfungstemperaturen
- Betriebszeiten (pro Verdichterstufe)
- Betriebsreduktion oder Anlagestillstand (Nacht, Wochenende, Feiertage, Ferien), vorausschauende Regelung
- Betriebspunkt, Wirkungsgrad Teillast und Volllast
- Free-Cooling (Umgehung Kältemaschine), Mischbetrieb
- Sequenzregelung bei mehreren Kälteerzeugungsanlagen
- Sauberkeit der Komponenten

Massnahmenkatalog: Siehe «Grundlagen für die Betriebsoptimierung von komplexen Haustechnikanlagen». Massnahmen pro Fachgebiet. Dort sind mögliche Optimierungsmassnahmen und deren Sparpotenzial aufgezeigt.

10.5. STÖRUNGEN UND STÖRUNGSBEHEBUNG

Jede Wärmepumpe muss gegen unerwünschte Zustände abgesichert werden. Die wichtigsten Ursachen von Störungen sind in Abbildung 10.3 dargestellt.

11. FALLBEISPIELE

11.1. KLEINANLAGEN

Für kleinere Anlagen (bis circa 15 kW) im Wohnbau haben sich die im Folgenden dargestellten Funktionsschemata als betriebsicher und energieeffizient bewährt. Es sind die Grundsaltungen, so wie sie auch vom Wärmepumpen-System-Modul verlangt werden. Folgende Hydraulikvarianten werden dargestellt:

Beispiel	Seite
Ohne Speicher, ohne Wassererwärmung	88
Ohne Speicher, mit Wassererwärmung	88
Serie-Speicher, ohne Wassererwärmung	89
Serie-Speicher, mit Wassererwärmung	89
Parallel-Speicher, ohne Wassererwärmung	90
Parallel-Speicher, mit Wassererwärmung	91
Parallel-Speicher, mit solar unterstützter Wassererwärmung	91

OHNE SPEICHER, OHNE WASSERERWÄRMUNG

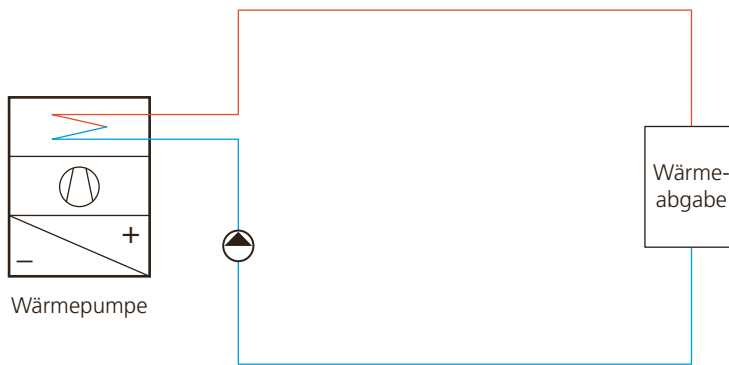


Abbildung 11.1:
Die einfachste
Schaltung.

Bei Fussbodenheizungen kann der Unterlagsboden als thermische Speichermasse genutzt werden, ein technischer Speicher zur Überbrückung der (allfälligen) Sperrzeit des Elektrizitätsversorgers ist nicht (zwingend) notwendig. Die Hydraulik eignet sich für Anlagen mit Vorlauftemperaturen am Auslegungspunkt von unter 30°C, die ohne

Einzelraumregelung betrieben werden (Nutzung des Selbstregelleffekts). Bei höheren Vorlauftemperaturen ist eine Einzelraumregelung von Gesetzes wegen vorgeschrieben, in diesem Fall ist der minimal erforderliche Massenstrom der Wärmepumpe einzuhalten, beispielsweise durch ein zur Wärmeabgabe parallel geschaltetes Überströmventil.

OHNE SPEICHER, MIT WASSERERWÄRMUNG

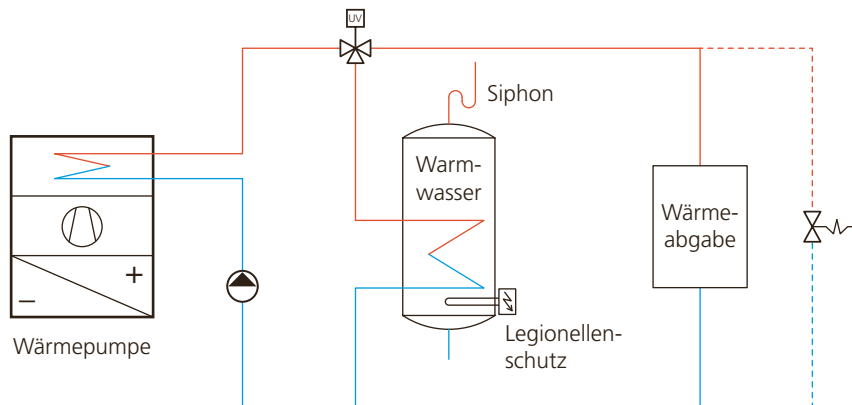


Abbildung 11.2:
Eine häufige Kon-
figuration (Wasser-
erwärmer parallel
zur Raumheizung).

Wenn immer möglich sollte eine Wärmepumpe nebst der Raumheizung auch die Warmwassererwärmung versorgen. Die Umschaltung gelingt mit einem Dreiwegenventil problemlos. Zu beachten ist die Heizleistung von Wärmepumpen ohne Leistungsregelung im Sommerbetrieb (Warmwasserbereitstellung), die sich im Vergleich zum Winterfall beinahe verdoppelt. Dies erfordert eine ge-

nügend gross dimensionierte Fläche des Wärmeübertragers im Warmwasserspeicher. Diese sollte im Idealfall 0,4 m²/kW sein, bezogen auf die maximale Wärmepumpenleistung. Das Überströmventil stellt auch bei Wärmeabgabesystemen mit Thermostatventilen (Einzelraumregelung) die Einhaltung eines minimalen Massestromes der Wärmepumpe sicher.

SERIE-SPEICHER, OHNE WASSERERWÄRMUNG

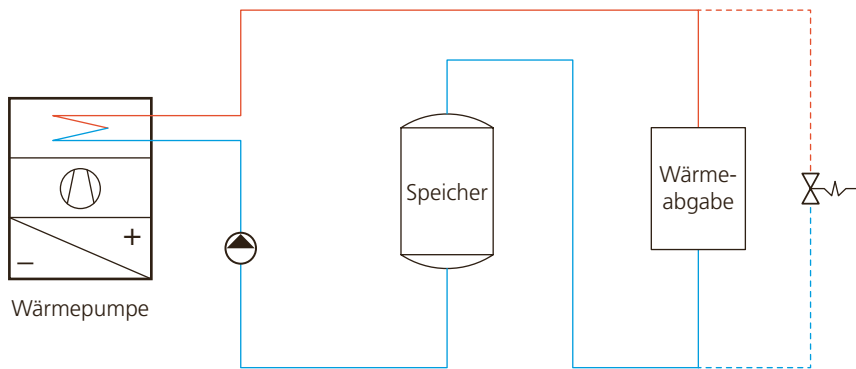


Abbildung 11.3:
Wärmespeicher
in Serie für kleine
Bauten.

Ein geringer Wasserinhalt der Heizungsanlage (Radiatorheizungen, kleine Objekte mit Fussbodenheizungen) führt zu häufigen Ein-Aus-Schaltzyklen der Wärmepumpe. Dem kann mit einem Serienspeicher entgegengewirkt werden. Der Speicher sollte nach Herstellerangaben und so klein wie möglich gewählt werden. Wird eine

Luft-Wasser-Wärmepumpe im Umkehrbetrieb abgetaut, so ist ein grösserer Inhalt notwendig, da im Abtaubetrieb dem Heizsystem Wärme entzogen wird. Bei zu geringem Wasserinhalt der Heizungsseite kann im schlimmsten Fall der Verflüssiger gefrieren und dadurch bersten.

SERIE-SPEICHER, MIT WASSERERWÄRMUNG

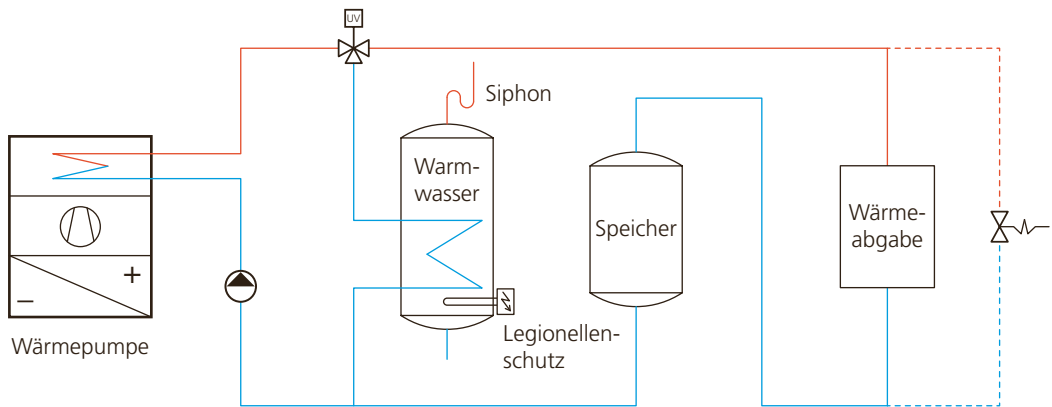
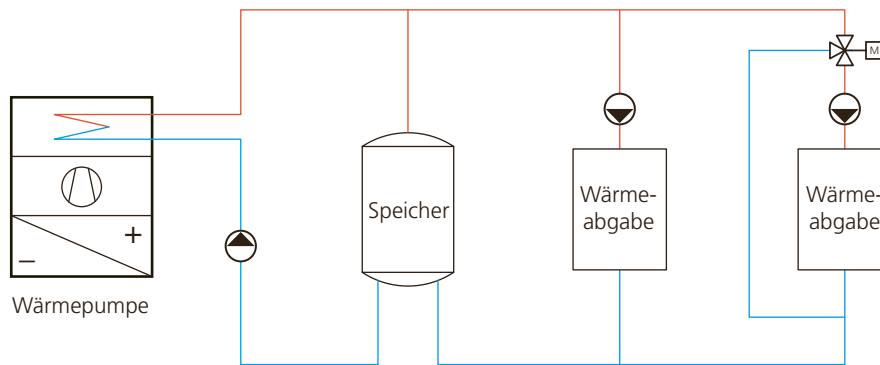


Abbildung 11.4:
Serieller Wärmespeicher
mit vorge-
schaltetem Wasser-
erwärmer.

Das Schema entspricht der Anlage «Serie-Speicher, ohne Wassererwärmung», jedoch mit zusätzlicher Trinkwassererwärmung. Deren hydraulische Einbindung sollte – aus Sicht Wärmepumpe – vor dem Serie-Speicher erfolgen. Ansonsten würde dieser bei Warmwasserladung ebenfalls (auf ein zu hohes Temperaturniveau) mitaufgeheizt.

PARALLEL-SPEICHER, OHNE WASSERERWÄRMUNG

Abbildung 11.5:
Wärmespeicher
ermöglicht eine
hydraulische Ent-
kopplung.



Die Hydraulikschtung bewirkt durch den parallel eingebundenen Heizwasserspeicher – zusätzlich zur Energiespeicherung – eine hydraulische Entkopplung zwischen dem Lade- und Entladekreis (d. h. Wärmepumpe und Wärmeabgabesystem). Die Wärmepumpe kann dadurch unabhängig von der Wärmeabgabe betrieben werden. Gegenüber der Lösungen mit Serie-Speicher auf Seite 89 werden mehrere Umwälzpumpen benötigt, eine im Ladekreis und (je) eine in den Entladekreisen (Heizgruppen). Der technische Speicher sichert die Einhaltung des Minimal-Massenstroms der Wärmepumpe, er übernimmt damit auch die Rolle der in den erwähnten Lösungen integrierten Überströmventile. Zur Anpassung an den Wärmebedarf (z. B. Einzelraumregelung der Wärmeabgabe) sollten die Entladepumpen in den Heizgruppen aber nach Druck reguliert werden (drehzahlgeregelte Umwälzpumpen).

Sind auf der Verbraucherseite – wie in der Abbildung ersichtlich – mehrere Heizgruppen mit unterschiedlichen Temperaturanforderungen (z. B. Radiatoren und Fussbodenheizungen) angeschlossen, so benötigt diejenige Gruppe mit den tiefsten Temperaturanforderungen eine separate Regelung (im Schema eingezeichnet: Beimischschaltung). Die Gruppe mit den höchsten Vorlauftemperaturen wird direkt über den Wärmepumpenregler «gefahren». Speziell zu beachten ist auch die hydraulische Ein-

bindung des Speichers: Der Primärvorlauf (Austritt Wärmepumpe) wird direkt auf die Heizgruppen geführt und über eine Stichleitung an den Speicher angebunden, nicht aber durch den Speicher geführt. Bei tieferer Speichertemperatur wird dadurch ein Heruntermischen des Wärmepumpenaustritts verhindert. Der Druckverlust der Stichleitung sollte möglichst gering gehalten werden. Der Massestrom im Ladekreislauf muss größer sein als derjenige in den Entladekreisen.

PARALLEL-SPEICHER, MIT WASSERERWÄRMUNG

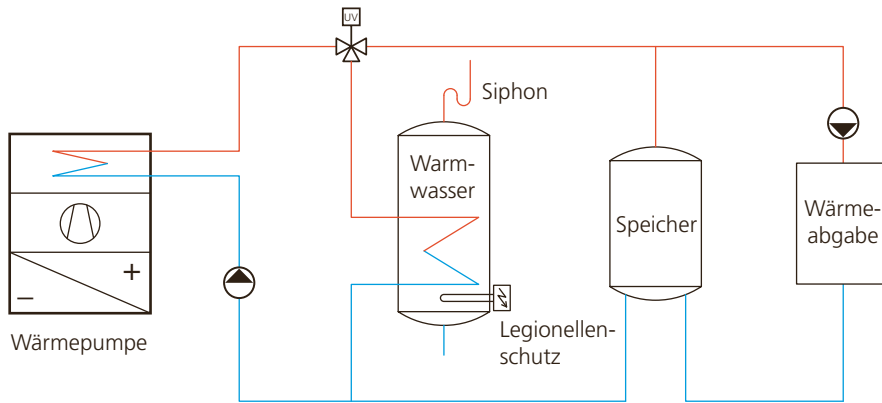


Abbildung 11.6: Wassererwärmer, warmer Speicher und Wärmeabgabe in sinnvoller Reihenfolge.

Wie bei der Lösung mit Serie-Speicher muss eine zusätzliche Wassererwärmung vor dem Heizwasser-Pufferspeicher eingebunden werden. Ansonsten würde bei jedem Warmwasser-Ladevorgang auch der Heizwasser-Puffer mit den – für Heizzwecke – unnötig hohen Temperaturen aufgeladen. Bei Wär-

mepumpen mit eingebauten Umwälzpumpen müssen diese zur restlichen Hydraulik passen. Ein falscher Massestrom kann den Temperaturhub in der Wärmepumpe erhöhen und damit zu geringerer Effizienz führen: Als Beispiel führen 2 K mehr Temperaturhub zu 3 % schlechterer Effizienz.

PARALLEL-SPEICHER, MIT SOLAR UNTERSTÜTZTER WASSERERWÄRMUNG

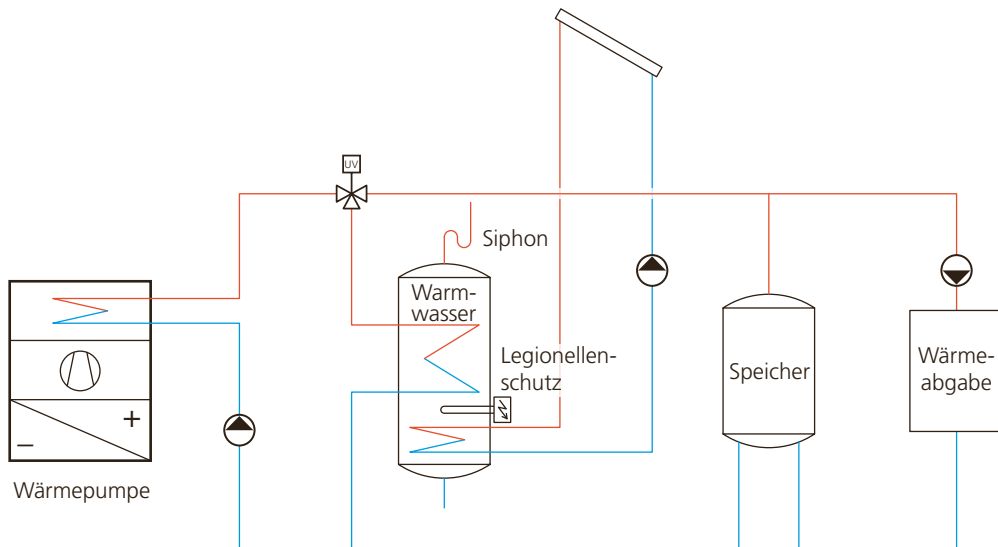


Abbildung 11.7: Bei der Einbindung von thermischer Solarwärme ist Sorgfalt geboten.

Der Betrieb mit einer Wärmepumpe für Heizung und Wassererwärmung, eingeschlossen eine thermische Solarunterstützung, ist bereits eine anspruchsvolle Lösung, die richtig geplant werden muss. Die Wassererwärmung mit Solarenergie muss gewährleistet werden. Somit muss das Heizregister des So-



















larkreislaufs im Warmwasserspeicher tiefer liegen als das Wärmepumpen-Heizregister. Die Fläche des Letzteren muss zur Wärmepumpe passen, d. h. genügend gross dimensioniert sein. Auch die Regelung beider Wärmequellen muss abgestimmt werden (Vorrang für die Solaranlage).

11.2. KOMPLEXERE ANLAGEN

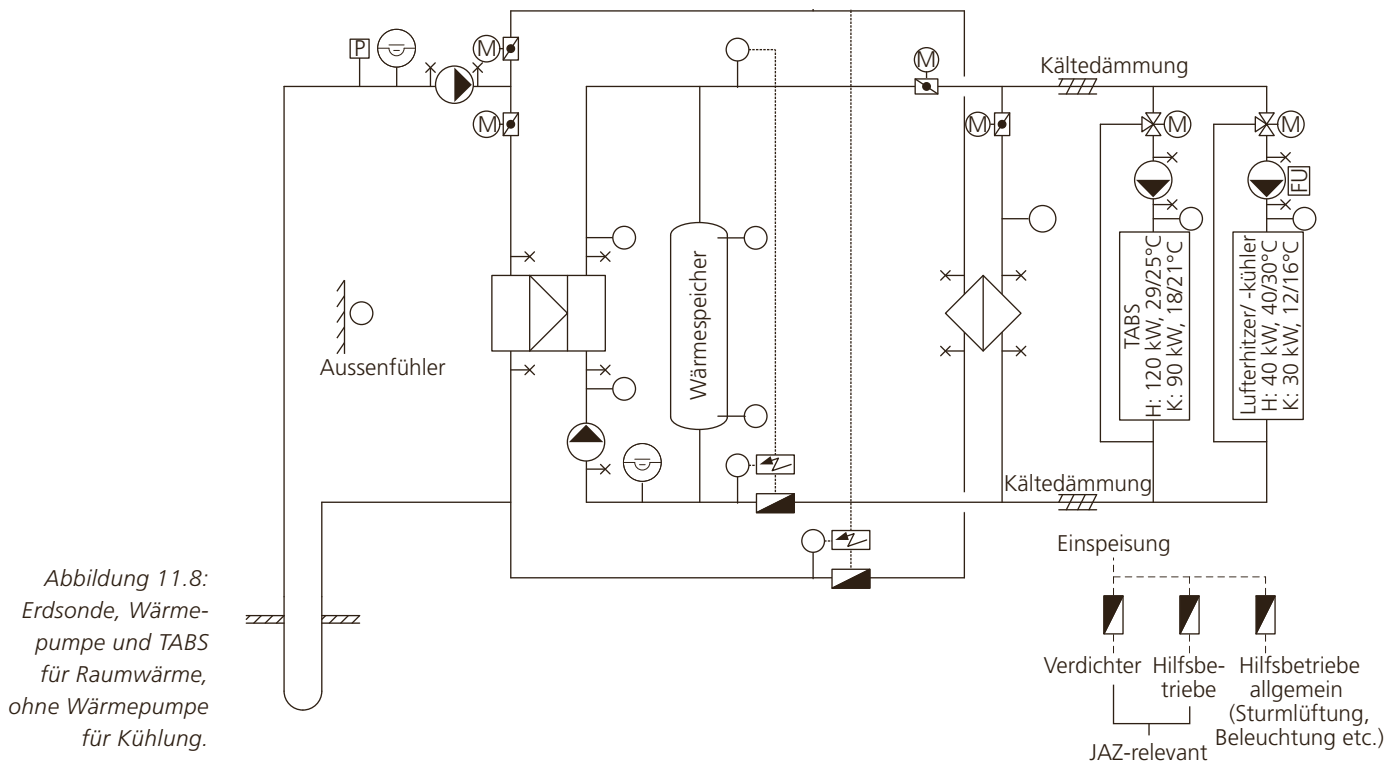
In diesem Abschnitt werden einige Beispiele meist grösserer, komplexerer Anlagen vorgestellt. Es gilt zu beachten, dass komplexe Anlagen ganz besonders sorgfältig geplant werden müssen. Solche Anlagen sind regelungstechnisch nicht trivial und eignen sich – nebst den Kostengründen – auch deshalb nur für Objekte mit grösserem Wärme- respektive Kältebedarf.

Beispiel	Seite
Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage	93
Grundwasser-Wärmepumpenanlage mit Ölheizkessel	94
Abwasser-Wärmenutzung zur Trinkwassererwärmung	95
Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Stückholzkessel	96
Kombination von Erdsonden-Wärmepumpe, Kältemaschine und Heizkessel	97

Symbole

	Pumpe, drehzahlgesteuert		Motor
	Förderpumpe		Temperaturfühler
	Ventilator		Entlüftungshahn
	Sicherheitsventil mit Federbelastung		Flüssiger Brennstoff
	Wärmetauscher		Gasförmiger Brennstoff
	Geschlossenes Membran-Ausdehnungsgefäss		Fester Brennstoff
	Wärmezähler mit elektrischem Zählwerk		Elektrischer Strom
	Absperrklappe		
	Dreiweg-Mischventil		
	Rückflussverhinderer		
	Filter, Schmutzfänger		

ERDWÄRMESONDEN-WÄRMEPUMPENANLAGE



Objekt: Bürogebäude

Systemwahl: Der Heizwärmebedarf wird über eine Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage gedeckt. Die Wärmeabgabe erfolgt über ein thermoaktives Bauteilsystem (TABS). Über das gleiche System wird das Bürogebäude gekühlt. Die Gebäudekühlung erfolgt im Free-Cooling-Betrieb über die Erdwärmesonden.

Besonders zu beachten

- Der Energieverbrauch Heizung/Kühlung ist separat zu erfassen.
- Die Dimensionierung des Luftkühlers und des Lufterhitzers
- Das Kältenetz ist dampfdicht zu dämmen, um Schwitzwasser zu vermeiden.
- Die Zufahrt zur Bohrstelle und der Standort der Bohrstelle
- Die Erdwärmesonden sind bezüglich Kühl- und Heizfall zu dimensionieren.
- Für Heiz- und Kühlbetrieb umschaltbare Thermostatventile verwenden.

GRUNDWASSER-WÄRMEPUMPENANLAGE MIT ÖLHEIZKESSEL

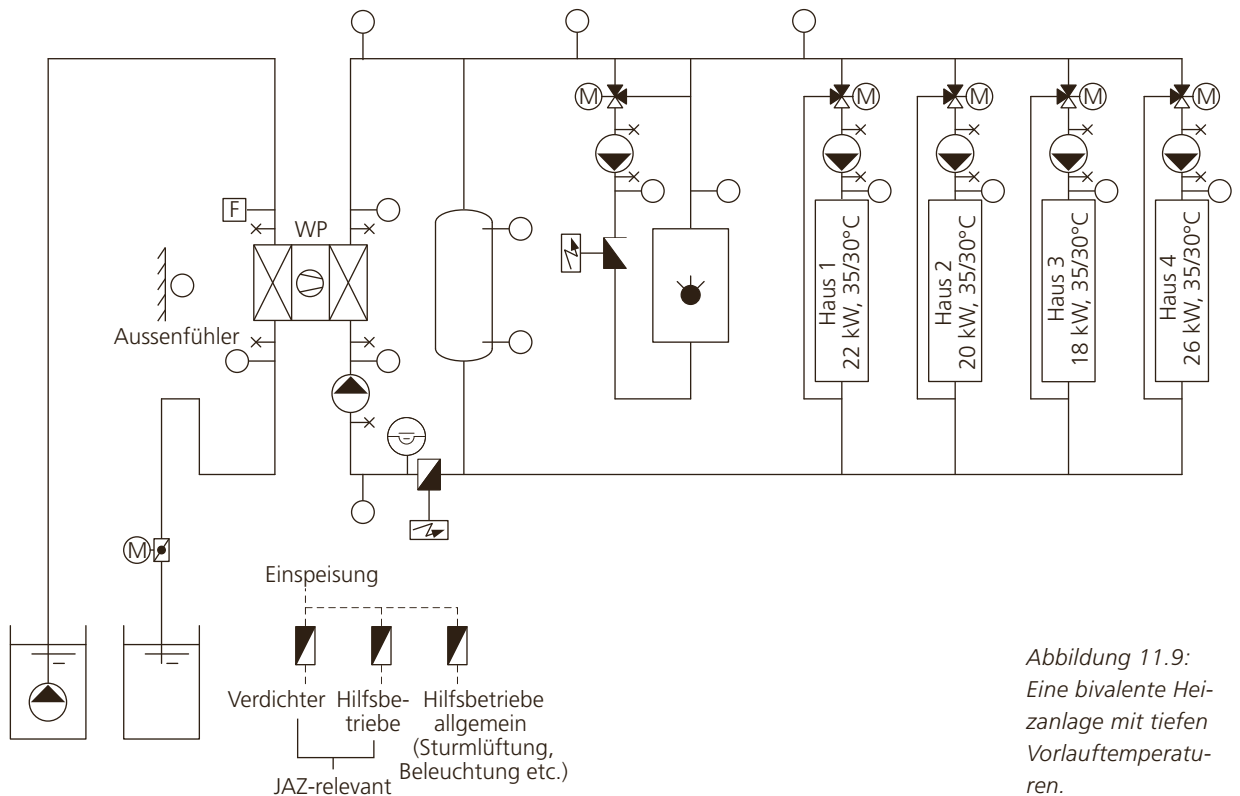


Abbildung 11.9:
Eine bivalente Heizanlage mit tiefen Vorlauftemperaturen.

Objekt: Wohnüberbauung

Systemwahl: Die Wohnüberbauung besteht aus 4 Mehrfamilienhäusern mit je 6 Wohnungen. Da sich das Grundstück in der Grundwasserzone befindet, soll für die Wärmeerzeugung eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe eingesetzt werden. Zur Spitzenlastdeckung, (Bivalent-parallel-Betrieb), wird ein Ölheizkessel eingesetzt. Die Wärmeabgabe erfolgt über Bodenheizungen.

Besonders zu beachten

- Die notwendige Zeit für das Bewilligungsverfahren
- Die Qualität des Grundwassers bezüglich der physikalischen und chemischen Parameter sowie der Feststoffe, etc.
- Die Auslegung der Grundwasserumwälzpumpe

ABWASSER-WÄRMENUTZUNG ZUR TRINKWASSERERWÄRMUNG

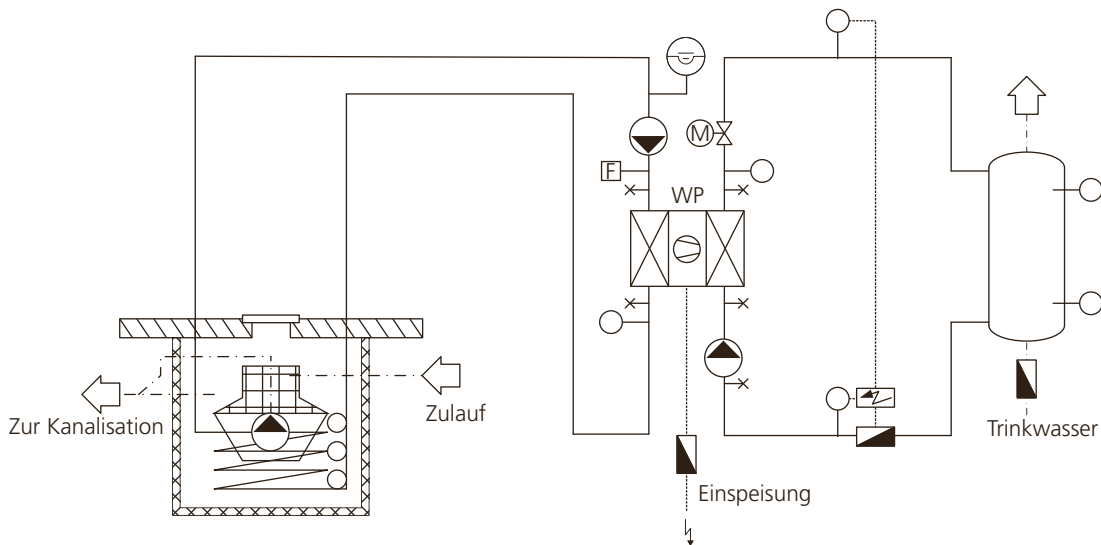


Abbildung 11.10:
Wärme aus Abwasser als Quelle für Wärmepumpe.

Objekt: Altersheim

Systemwahl: Die Trinkwassererwärmung erfolgt primär mit einer Wärmepumpenanlage und einer Abwasser-Wärmerückgewinnung. Der Abwasserschacht mit dem Wärmeübertrager und den Pumpen befindet sich unterflur ausserhalb des Gebäudes.

Besonders zu beachten

- Die Abwassermengen und die Abwasserqualität
- Die zeitliche Verteilung des Abwasseranfalls und des Trinkwarmwasserbedarfs
- Die Frostsicherheit aller Anlageteile, die ausserhalb der Gebäudehülle liegen
- Die Zugänglichkeit für Reinigungs- und Servicearbeiten
- Die Anlage muss über einen zuverlässigen Legionellen-Schutz verfügen, z. B. eine periodische Aufheizung des Trinkwasserbehälters auf mindestens 60 °C. Empfehlung SVGW: 1-mal pro Tag während einer Stunde aufheizen.

LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPENANLAGE MIT STÜCKHOLZKESSEL

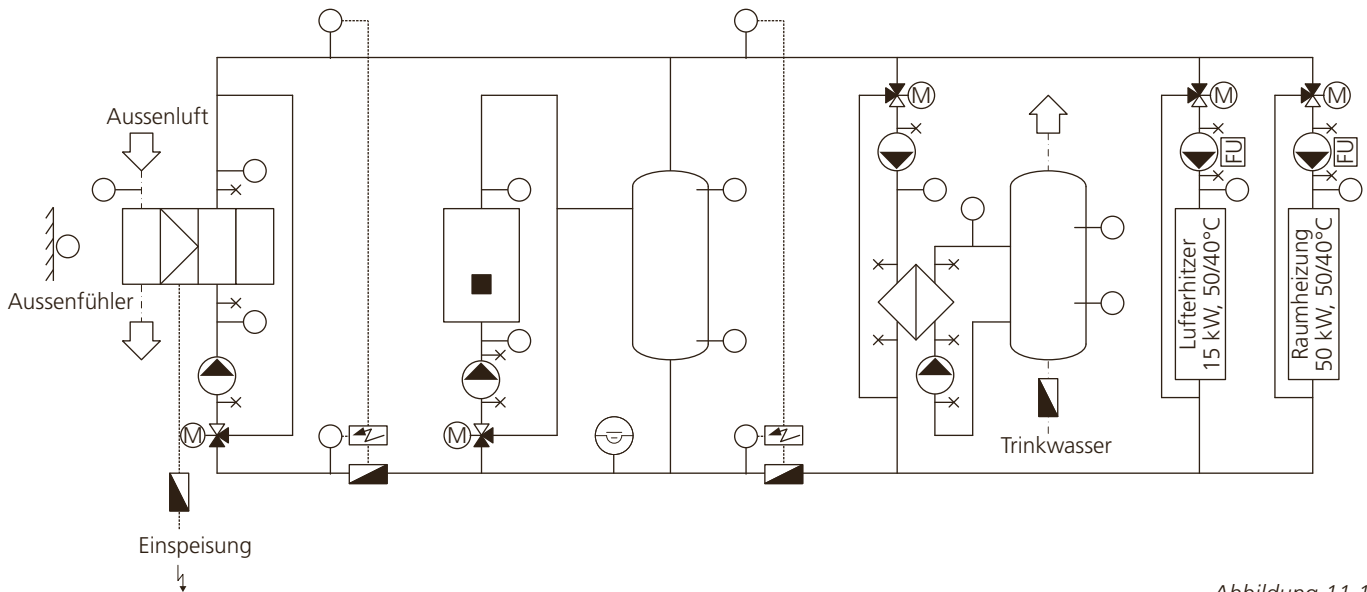


Abbildung 11.11:
Bivalente Heizung
mit erneuerbaren
Energien.

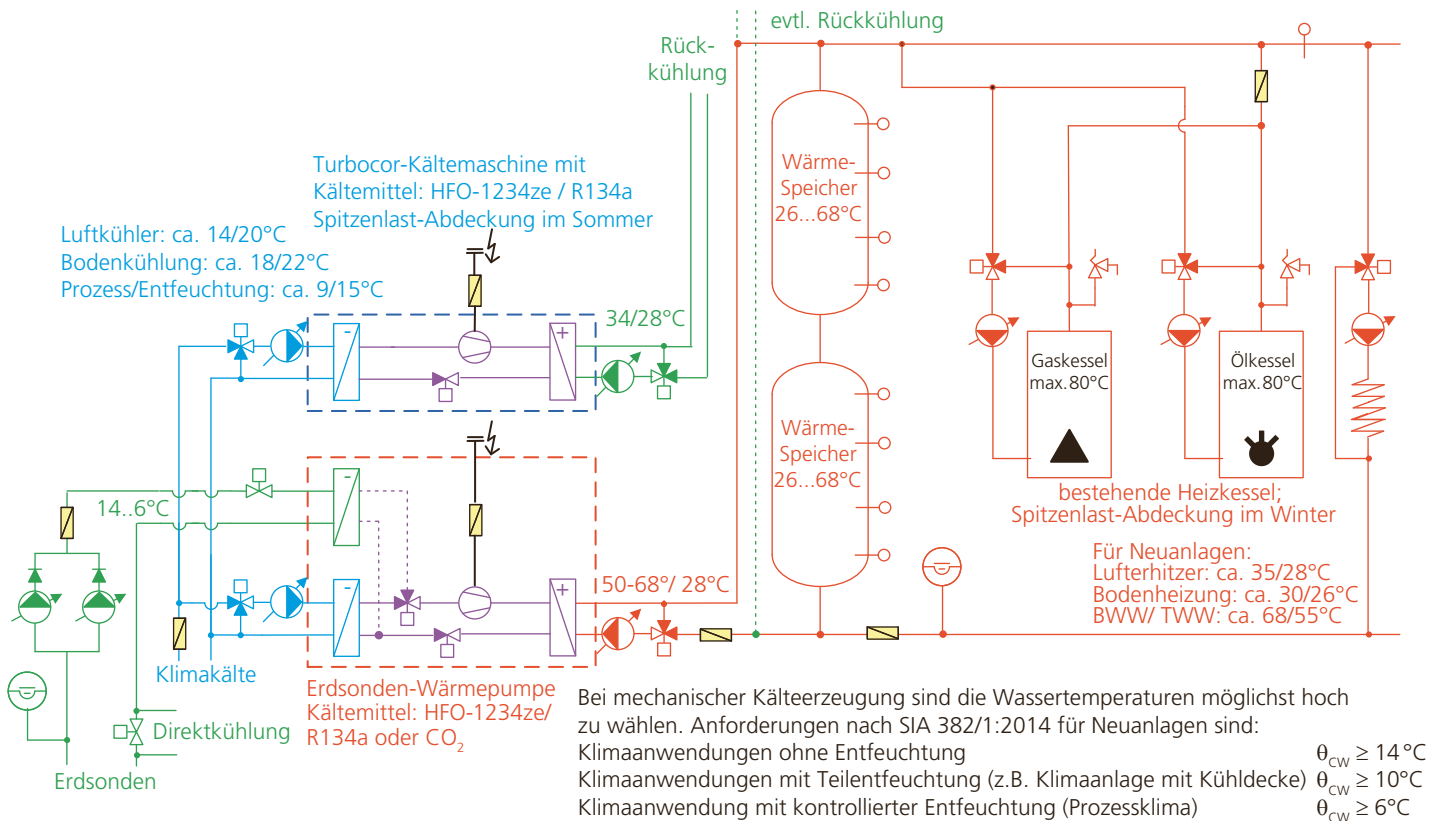
Objekt: Landwirtschaftliche Schule

Systemwahl: Die Landwirtschaftliche Schule soll mit erneuerbarer Energie beheizt werden. Da die Schule über einen eigenen Wald verfügt, soll der Heizwärmebedarf über eine Stückholzfeuerung gedeckt werden. Für die Übergangszeit ist zusätzlich eine Luft-Wasser-Wärmepumpe für bivalent-alternativen Betrieb vorgesehen.

Besonders zu beachten

- Die hydraulische Trennung der Wärmeerzeuger und der Speicheranlage
- Die Schall- und übrigen Emissionen

KOMBINATION VON ERDSONDEN-WÄRMEPUMPE, KÄLTEMASCHINE UND HEIZKESSEL



Objekt: Spital, Klinik, Altesheim oder Hotel

Heizbetrieb im Winterhalbjahr: Die neue Erdsonden-Wärmepumpe (WP) erzeugt die Grundlastwärme für das Gebäude. Dabei wird rund 60 % bis 80 % des Jahresenergiebedarfes durch diese WP gedeckt. Nur bei tieferen Aussenlufttemperaturen (unter -2°C) schalten sich die zwei bestehenden Heizkessel hinzu. Zudem kann mit den Erdsonden der Kühlbedarf direkt gedeckt werden.

Kühlbetrieb im Sommerhalbjahr: Mittels der Erdsonden-WP wird dauernd auch die Klimakälte produziert, gleichzeitig werden alle Heizgruppen mit Wärme versorgt. Nur bei höheren Aussenlufttemperaturen (über 28°C) schaltet sich die Spitzenlast-Kältemaschine hinzu. Mit dieser wird die Kälte möglichst energieeffizient erzeugt.

Kernpunkte

- Erdsonden-Wärmepumpe für die gleichzeitige Wärme- und Kälteerzeugung. 1. Wärmequelle = Kältenetz; 2. Wärmequelle = Erdsonden (oder Grundwasser). Einsatz von R744 (CO₂) empfohlen bei hoher Temperaturspreizung wie Wassererwärmung von 10°C auf 65°C . Einsatz von R717 (NH₃) generell empfohlen, jedoch hohe Investitionen, Sicherheitsanforderungen und Servicekosten. HFO-1234ze empfohlen als Ersatz des R134a-Kältemittels, auch als Kältemittel für Turbocor-Verdichter mit hohem COP, insbesondere im Teillastbereich.
- Grundkühlung (respektive Direktkühlung) mittels Erdsonden über Bodenheizung (Changeover-Bodenkühlung), über Umluftkühler von Server- und ICT-Räumen und Rückkühlung der gewerblichen Kälte.
- Turbocor-Kältemaschine für Spitzenkälteabdeckung in den Sommermonaten, mit

Abbildung 11.12: Wärmepumpe deckt zwei Drittel des Wärmebedarfs eines grossen Gebäudes.

hohen Teilwirkungsgraden (COP grösser als 10). Dabei kann bei Kälteleistungen bis 600 kW das Kältemittel R134a verwendet werden, bei höheren Leistungen HFO-1234ze. HFO-1234ze ist seit Mitte 2016 klassiert und in der Gesetzgebung berücksichtigt.

«Sturmlüftung» muss sorgfältig ausgelegt werden, mit direkter Absaugung in Bodennähe.

- Vorgehen bei Wärmepumpenanlagen grösser als 600 kW: Bestimmung von (1.) Sicherheitsgruppe des Kältemittels; (2.) Aufstellungsbereich; (3.) Kategorie der Anlage; (4.) Aufstellung der Anlage. Variante einer «gekapselten Lösung», mit mechanisch belüftetem Gehäuse und durch Reduktion der Sicherheitsbestimmungen im Technikraum.
- Bestehende oder neue Kesselanlagen (Erdöl, Gas, Holz) in Serie zur Wärmepumpe eingebunden. Der Hauptrücklauf aller Heizgruppen wird immer zuerst von der Wärmepumpe vorgewärmt und bei tieferen Aussetemperaturen von den Heizkesseln nachgewärmt.
- **Wichtige Punkte:** Einbindung der gewerblichen Kälte mit Erdsonden-Direktkühlung (respektive Rückkühlung) der Verflüssiger; Maximierung der Energieeffizienz durch maximale Abwärmenutzung; sorgfältige Wahl der Kältemittel und Verdichter; Analyse und Optimierung der Teillastbetriebe sowohl im Winter als auch im Sommer; Berücksichtigung der Maximal- und Minimaltemperaturen für Heizung und Kälte gemäss Norm SIA 382/1:2014 Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen.

12. ANHANG

12.1. AUTOREN

AUTOREN DER GESAMTÜBER- ARBEITUNG 2018

Ralf Dott, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau, Muttenz (Gesamtkoordination)

Andreas Genkinger, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau, Muttenz

Rita Kobler, Bundesamt für Energie, Sektion erneuerbare Energien

Prof. Dr. Zoran Alimpic, Hochschule Luzern – Technik und Architektur, Horw

Peter Hubacher, Hubacher Engineering, Engelburg

Prof. Dr. Thomas Afjei, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau, Muttenz

AUTOREN DER ERSTAUSGABE 2008

Peter Kunz, Kunz-Beratungen, Dietlikon (Gesamtkoordination)

Prof. Dr. Thomas Afjei, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau, Muttenz

Prof. Werner Betschart, Hochschule Luzern – Technik und Architektur, Horw

Peter Hubacher, Hubacher Engineering, Engelburg

Rolf Löhner, Scheco AG, Winterthur

Andreas Müller, Andreas Müller GmbH, Seuzach

Vladimir Prochaska, Hochschule Luzern – Technik und Architektur, Horw

