



DIN

— Jürgen Bonin

# Handbuch Wärmepumpen

## Planung und Projektierung

4., überarbeitete und  
erweiterte Auflage

**Beuth**



**(Leerseite)**



Jürgen Bonin

# **Handbuch Wärmepumpen**

Planung und Projektierung

4., überarbeitete und erweiterte Auflage 2023

Herausgeber:  
DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Beuth Verlag GmbH · Berlin · Wien · Zürich

Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

© 2023 Beuth Verlag GmbH

Berlin · Wien · Zürich

Am DIN-Platz

Burggrafenstraße 6

10787 Berlin

Telefon: +49 30 58885700-00

Internet: [www.beuth.de](http://www.beuth.de)

E-Mail: [kundenservice@beuth.de](mailto:kundenservice@beuth.de)

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

© für DIN-Normen DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden von Verfasser und Verlag sorgfältig erarbeitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht übernommen. Mit Ausnahme von Schäden, die aus Verletzung von Leib, Leben oder Gesundheit resultieren, haftet der Verlag nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens des Verlages zurückzuführen sind. Für Verletzung von Leib, Leben oder Gesundheit haftet der Verlag nach gesetzlichen Vorschriften. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

Maßgebend für das Anwenden jeder in diesem Werk erläuterten oder zitierten Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum. Den aktuellen Stand zu jeder DIN-Norm können Sie im Webshop des Beuth Verlags unter [www.beuth.de](http://www.beuth.de) abfragen. Dort finden Sie insbesondere etwaige Berichtigungen und Warnvermerke, welche bei der Anwendung der jeweiligen Norm unbedingt zu beachten sind.

Titelbild: © DifferR, Benutzung unter Lizenz von [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com)

Satz: Sabine Wasser, Berlin

Druck: Drukarnia Skleniarz, Kraków

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier nach DIN EN ISO 9706

ISBN 978-3-410-31008-2

ISBN (E-Book) 978-3-410-31009-9

## Autorenporträt

Der Autor, Herr Bonin, ist im Februar 1957 geboren, ist verheiratet und hat zwei Kinder. Er absolvierte ein Hochschulstudium an der Universität Duisburg, welches er 1985 abschloss. 1993 gründete er seine Firma Umwelt & Technik zum Vertrieb von Wasseraufbereitungsanlagen und ökologischen Heizkonzepten, wozu natürlich auch Wärmepumpen zählen.

1998 baute er sein Wohnhaus nach rein ökologischen Aspekten, in dem er mit seiner Familie lebt und arbeitet. Es ist ein Lehm-Fachwerk-Haus als Niedrigenergiehaus, welches natürlich mit einer Wärmepumpe zum **Heizen + Kühlen** sowie einer großen Solaranlage zur Nutzung der Solarthermie und auch einer Photovoltaikanlage zur solaren Stromerzeugung ausgestattet ist. Somit werden 80 – 90 % des benötigten Energiebedarfs aus rein regenerativen Energien gewonnen.

Jürgen Bonin hat im Rahmen seiner beratenden Tätigkeit seine Schulungs- und Projektierungsunterlagen ausgearbeitet und stets weiterentwickelt. Auf dieser Basis und im Zuge seiner Lehrtätigkeit bei der HWK (Handwerkskammer) Oberhausen ist dieses Handbuch für die Projektierung von Wärmepumpenanlagen entstanden. In der Zwischenzeit wurde es bereits viermal überarbeitet, damit neue technische Entwicklungen sich in diesem Fachbuch wiederfinden. Somit ist der Inhalt dieses Buches um etwa 50 % gewachsen.

Im September 2011 wurde Jürgen Bonin auf der alljährlichen Energiefachmesse RENEXPO in Augsburg für seine Erfindung, den Geo-Protektor, mit einem EnergyAward ausgezeichnet. Der Geo-Protektor dient zur deutlichen Erhöhung des Grundwasserschutzes bei Sole- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpen.

Weiterhin ist der Verfasser auch als Gutachter und Sachverständiger für Wärmepumpenanlagen, Lufttechnische Anlagen und Wasseraufbereitung tätig. Für Wärmepumpen und Wärmepumpenanlagen ist er auch als öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger tätig.



## Vorwort

Dieses Buch richtet sich an Bauherren und Interessenten sowie insbesondere an alle Fachhandwerker, Planer, Architekten und Städtebauer. Es eignet sich sehr gut als Lehrbuch für die Aus- und Weiterbildung.

Es gibt viele verschiedene Wärmepumpentypen und -anlagen. Von der Vielzahl der Wärmepumpen gilt es, die richtige Wärmepumpe für die gewünschte Anwendung herauszufinden. Der Markt bietet viel – doch die Frage ist, welche Wärmepumpe passt optimal zu der gewünschten Anwendung.

Aufgrund der stetig steigenden Energiekosten, wachsenden Energieknappheit und zunehmenden dramatischen Klimaerwärmung ist es umso notwendiger, regenerative Energien zu nutzen – zumal dies nun auch vom Gesetzgeber vorgegeben wird. Es bieten sich daher zurzeit zahlreiche regenerative Energien an. Die nobelste regenerative Energie ist dabei die Erdwärme, zumal diese für alle quasi kostenlos zur Verfügung steht. Es liegt aber auch viel Energie in der Luft.

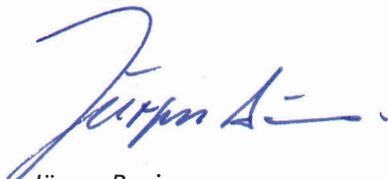
Nun gilt es zu prüfen, wie die Nutzung dieser Erdwärme oder Umweltwärme sinnvoll ist. Da ist es die Aufgabe der Architekten, Planer, Energieberater, Handwerker, Brunnenbauer, kurz, von allen, die mit dem Gewerk „Wärmepumpenanlage“ zu tun haben, die Bauherren zu beraten und zu prüfen, welche Wärmepumpenanlage optimal ist. Mit diesem Buch beabsichtigt der Verfasser, dem Anwender, vom Planer bis zum Betreiber, die Möglichkeit an die Hand zu geben, übersichtlich, verständlich und nachvollziehbar alle wichtigen und gewünschten Informationen zu vermitteln. Viele Bilder und Beispiele veranschaulichen die geschilderten Informationen.

Ökologische Betrachtungen verdeutlichen die Notwendigkeit zur Nutzung regenerativer Energien. Dazu gewinnt die Wärmepumpe zunehmend an Bedeutung, weil sie – richtig dimensioniert – einen wesentlichen Betrag zum Umweltschutz leisten kann. Nicht zu vernachlässigen sind auch die wirtschaftlichen Aspekte, aufgrund dessen die Nachfrage an Wärmepumpen ebenfalls stark zunimmt. Falsch projektierte Wärmepumpenanlagen können jedoch genau das Gegenteil bewirken.

Bei der Überarbeitung dieses Buches war es mein Bestreben, den neuesten Stand der Technik sowie auch die derzeit gültigen Gesetze und Vorschriften umfänglich zu berücksichtigen. Weil bekanntlich die technischen Erkenntnisse, einschließlich der Technik selbst, aber auch die gesetzlichen Bestimmungen häufigen Änderungen unterliegen, nicht zuletzt auch Fehler nicht auszuschließen sind, wird keine Gewähr für die Richtigkeit oder Vollständigkeit übernommen. Gleiches gilt für technische Angaben verschiedener Hersteller, die nur beispielhaft angewendet werden. Grundsätzlich sind bei späteren zu projektierenden Wärmepumpenanlagen die Angaben und Daten der jeweiligen Hersteller zu beachten und vorrangig gültig. Selbiges gilt auch für geänderte Gesetze und Richtlinien.

Letztendlich danke ich bei dieser Gelegenheit meiner Frau Heidemarie sowie allen Partnern, Kunden, Lesern und Kollegen für zahlreiche Hinweise, Korrekturen und Tipps sowie dem Ing.-Büro und Wärmepumpeninstitut LOHRConsult und auch weiteren Partnern und Herstellern für die zur Verfügung gestellten Unterlagen. Ebenso dankt der Verfasser der Beuth-Verlag GmbH für die Publikation dieses Buches.

Ihr



Jürgen Bonin

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Betrachtungen zur Ökologie und Ökonomie</b> .....	<b>3</b>
2.1	Auswirkungen auf die Umwelt.....	3
2.2	Betrachtungen zur Ökonomie – Entwicklung der Energiekosten.....	6
2.3	Woher die Erdwärme kommt .....	8
<b>3</b>	<b>Was ist eine Wärmepumpe und wie funktioniert sie?</b> .....	<b>9</b>
3.1	Warum heißt die Wärmepumpe „Wärmepumpe“? .....	9
3.2	Aufbau einer Wärmepumpe und deren Komponenten.....	10
3.3	Der technische Kältekreislauf und die Funktion der Wärmepumpe .....	11
3.3.1	Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Unterkühlung und Überhitzung .....	14
3.3.2	Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Heißgasnutzung .....	15
3.3.3	Beispiel zum prinzipiellen Aufbau einer Wärmepumpe .....	16
3.4	Der Regler.....	17
3.5	Der Kältekreislauf im p-h-Diagramm.....	18
3.6	Das Kältemittel .....	19
3.7	Wasser-Wasser-Wärmepumpe.....	23
3.7.1	Wasser-Wasser-Wärmepumpe ohne Systemtrennung .....	24
3.7.2	Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Systemtrennung .....	25
3.8	Sole-Wasser-Wärmepumpe.....	26
3.8.1	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden.....	27
3.8.2	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren .....	28
3.9	Erweiterte Wärmepumpen .....	29
3.9.1	Wärmepumpe mit Direktverdampfer.....	29
3.9.2	Wärmepumpe mit Direktkondensation .....	30
3.10	Luft-Wasser-Wärmepumpe.....	31
3.10.1	Luft-Wasser-Kompaktanlagen .....	32
3.10.2	Splitanlagen .....	33
3.10.3	Abluftwärmepumpe .....	34
3.11	Wärmepumpen mit Invertertechnik .....	34
3.12	Boiler-Wärmepumpen.....	35
3.13	Boiler-Wärmepumpen mit Wärmerückgewinnung aus der Fortluft.....	35
3.14	Kühlen mit einer Wärmepumpe .....	35
3.14.1	Die „freie Kühlung“ .....	36
3.14.2	Reversibel arbeitende Wärmepumpe zum aktiven Kühlen .....	37
3.14.3	Regelung beim Kühlbetrieb.....	38
3.15	Gasbetriebene Wärmepumpen .....	39
3.15.1	Gasmotor-Wärmepumpe .....	39
3.15.2	Absorptionswärmepumpen.....	40
3.15.3	Gegenüberstellung der beiden gasbetriebenen Wärmepumpen.....	42
3.15.4	Zeolith-Gas-Adsorptionswärmepumpe .....	43
3.15.5	Hybrid-Wärmepumpe .....	46
3.15.6	Eis-Wärmepumpe.....	47
3.16	Luft-Luft-Wärmepumpen .....	48
3.17	Weitere Einsatzmöglichkeiten für Wärmepumpen .....	49
<b>4</b>	<b>Leistung einer Wärmepumpe COP und <math>\epsilon</math></b> .....	<b>52</b>
4.1	Leistungszahl $\epsilon$ und COP.....	52
4.1.1	Leistungszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe .....	55
4.1.2	Leistungszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpe .....	56
4.1.3	Vergleich der Leistungszahl $\epsilon$ einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe .....	57
4.1.4	Leistungszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpe .....	57

4.2	Das Jahres-Verhalten verschiedener Wärmepumpen .....	59
4.2.1	Das Jahres-Verhalten einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage .....	59
4.2.2	Das Jahres-Verhalten einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage .....	61
4.2.3	Das Jahres-Verhalten einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage .....	63
4.2.4	Vergleichende Betrachtungen zum Jahres-Verhalten der verschiedenen Wärmepumpenanlagen .....	65
4.3	Leistungszahl SCOP und ESCOP .....	66
4.3.1	Leistungszahl SCOP .....	66
4.3.2	Leistungszahl ESCOP .....	67
4.4	Jahresarbeitszahl JAZ .....	67
4.4.1	Die Jahresarbeitszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage .....	68
4.4.2	Die Jahresarbeitszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage .....	69
4.4.3	Die Jahresarbeitszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage .....	70
4.4.4	Berechnung der Jahresarbeitszahl gem. VDI 4650 .....	71
4.5	Primärenergiefaktor $f_p$ und Energieaufwandszahl $e_p$ .....	72
<b>5</b>	<b>Projektierung einer Wärmepumpenanlage .....</b>	<b>74</b>
5.1	Die Aufgaben eines Architekten und Beraters .....	75
5.1.1	Beratung und Planung durch den Architekten und Berater .....	75
5.1.2	Beratung und Planung durch den Architekten und Berater und Sonderwünsche ...	76
5.1.3	Betreuung und Bauüberwachung durch den Architekten und Berater .....	76
5.2	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe .....	77
5.2.1	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für einen Neubau .....	77
5.2.2	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für den Baubestand .....	81
5.2.3	Wärmepumpen im Baubestand .....	82
5.2.4	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für Industriehallen .....	86
5.2.5	Berechnungsbeispiel der Heizleistung eines Einfamilienhauses gem. Wärmegesetz .....	89
5.2.6	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für ein Schwimmbad .....	91
5.2.7	Wärmepumpen im gewerblichen Einsatz .....	91
5.2.8	Wärmepumpen in Wohnsiedlungen und Wärmepumpengroßanlagen .....	94
5.2.9	Wärmepumpen für stark gedämmte Häuser und Passivhäuser .....	98
5.3	Projektierung von Wärmepumpenanlagen .....	99
5.3.1	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage .....	99
5.3.2	Projektierungsbeispiel einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe .....	104
5.3.3	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe .....	105
5.3.4	Projektierung einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage .....	130
5.4	Gegenüberstellung von Wasser-Wasser-Wärmepumpen, Sole-Wasser-Wärmepumpen und Luft-Wasser-Wärmepumpen .....	143
5.5	Qualitätsmerkmale einer Wärmepumpe .....	144
5.6	Projektierung der Elektroinstallation einer Wärmepumpe .....	144
5.7	Beantragungen und Genehmigungen von Wärmepumpenanlagen .....	145
5.8	Förderungen von Wärmepumpenanlagen .....	147
5.9	Bedeutung einer Flächenheizung für Wärmepumpen .....	147
<b>6</b>	<b>Grundwasserschutz .....</b>	<b>148</b>
6.1	Gesetzliche Bestimmungen .....	148
6.2	Geo-Protector .....	149
6.2.1	Sole-Wasser-Wärmepumpen und deren Gefährdungspotenziale .....	150
6.2.2	Die Funktion des Geo-Protectors .....	151
6.2.3	Umweltrelevante und wirtschaftliche Betrachtungen .....	152
6.2.4	Die Notwendigkeit, den Grundwasserschutz zu verbessern .....	153

6.2.5	Kosten-Nutzen-Betrachtungen .....	153
6.2.6	Empfehlungen zur Realisierung der neuen Grundwasserschutz- einrichtung (Geo-Protector) .....	154
6.3	CO <sub>2</sub> -Sonden.....	155
6.4	Wärmepumpen und Stromversorgung.....	156
6.4.1	Wärmepumpen und Ökostrom .....	156
6.4.2	Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen .....	156
<b>7</b>	<b>Hydraulik</b> .....	<b>163</b>
7.1	Die Primärpumpe.....	164
7.2	Die Sekundärpumpe oder Ladepumpe .....	175
7.2.1	Beispiel: Ermittlung der Sekundärpumpe oder Ladepumpe .....	177
7.3	Der Pufferspeicher .....	182
7.4	Die Warmwasserbereitung.....	185
7.4.1	Warmwasserbereitung über Durchlauferhitzer.....	185
7.4.2	Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab in einem separaten Warmwasserspeicher .....	185
7.4.3	Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe über einen Warmwasserspeicher ....	186
7.4.4	Warmwasserbereitung mit einer Wärmepumpe und einer zusätzlichen Solaranlage.....	188
7.4.5	Hygienische Warmwasserbereitung im Durchlaufprinzip.....	190
7.4.6	Warmwasserbereitung mit einem Kombispeicher .....	190
7.5	Dimensionierung der Warmwasserbereitung.....	190
7.5.1	Dimensionierung des Warmwasserspeichers .....	190
7.5.2	Dimensionierung der Warmwasserleitung.....	192
7.6	Elektrotechnik und Wärmepumpen .....	192
7.6.1	Elektrische Einspeisung .....	192
7.6.2	Steuerspannungen.....	193
7.6.3	Wächter und Sensoren.....	193
7.7	Wärmepumpen im Netz.....	193
7.7.1	Wärmepumpen und Gebäudeleitsystem.....	194
<b>8</b>	<b>Leitfaden zur Projektierung einer Wärmepumpenanlage</b> .....	<b>195</b>
<b>9</b>	<b>Darstellung verschiedener Wärmepumpenanlagen</b> .....	<b>197</b>
9.1	Eine einfache Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage.....	198
9.2	Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung .....	199
9.3	Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung, Solaranbindung und Kachelofen.....	200
9.4	Wärmepumpengerätetypen.....	201
9.4.1	Einzelwärmepumpengeräte .....	201
9.4.2	Kompaktwärmepumpenanlagen .....	201
<b>10</b>	<b>Wirtschaftliche Betrachtungen</b> .....	<b>203</b>
10.1	Lohnt sich eine Wärmepumpe?.....	203
10.2	Einsparmöglichkeiten für Kommunen und Länder.....	203
10.3	Betrachtungen zu Amortisationen verschiedener Heizungsanlagen.....	204
<b>11</b>	<b>Gesetze und Einrichtungen zum Schutz der Umwelt und von Personen</b> .....	<b>205</b>
11.1	Normen und Richtlinien.....	205
11.2	Schutz des Erdreiches sowie des Grund- und Oberflächenwassers .....	212
11.3	Energielabel .....	213
<b>12</b>	<b>Inbetriebnahme von Wärmepumpenanlagen</b> .....	<b>214</b>
12.1	Inbetriebnahme einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage.....	215
12.2	Inbetriebnahme einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage.....	215
12.3	Inbetriebnahme einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage .....	216

12.4	Trockenheizen und Aufheizen .....	216
12.5	Parametrisierung und Einstellungen am Regler .....	216
12.5.1	Theoretische Betrachtungen zur Wiedereinschaltverzögerung & Mindestlaufzeit... ..	219
<b>13</b>	<b>Häufige Fehler bei Wärmepumpen</b> .....	<b>224</b>
13.1	Fehler beim Brunnenbau .....	224
13.2	Fehler bei Erdsonden/Erdsollektoren .....	224
13.3	Fehler bei der Warmwasserbereitung .....	225
13.4	Fehler bei der Hydraulik .....	225
13.5	Fehler in der Installation .....	226
13.6	Fehlermeldungen und deren mögliche Ursachen .....	227
13.7	Fehler beim Betrieb .....	228
<b>14</b>	<b>Schlussbetrachtungen</b> .....	<b>229</b>
14.1	Aussichten .....	229
14.2	Ausbildung .....	230
<b>15</b>	<b>Übungsaufgaben</b> .....	<b>232</b>
15.1	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe .....	243
15.2	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden .....	245
15.3	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsollektoren .....	245
15.4	Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage .....	246
15.5	Berechnung des Bivalenzpunktes einer Luft-Wasser-Wärmepumpe .....	247
15.6	Berechnung verschiedener Energie-Aufwandszahlen .....	247
15.6.1	Berechnung der Energie-Aufwandszahl eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschließlich Warmwasserbereitung .....	247
15.6.2	Berechnung der Energie-Aufwandszahl eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit el. Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab .....	247
<b>16</b>	<b>Fragen ...</b> .....	<b>248</b>
<b>17</b>	<b>Beispiele Wärmepumpenanlagen</b> .....	<b>249</b>
17.1	Ein besonderes Beispiel kommunaler Weitsicht in Dorsten-Wulfen .....	251
17.2	Kaltes Nahwärmenetz .....	253
<b>18</b>	<b>Lösungen zu den Übungsaufgaben aus Kapitel 15</b> .....	<b>255</b>
18.1	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Aufgabe 15.1) .....	255
18.2	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden (Aufgabe 15.2) .....	262
18.3	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsollektoren (Aufgabe 15.3) ..	268
18.4	Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage (Aufgabe 15.4) .....	274
18.5	Berechnung des Bivalenzpunktes einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (Aufgabe 15.5) ..	287
18.6	Berechnung verschiedener Energieaufwandszahlen (Aufgabe 15.6) .....	289
18.6.1	Berechnung der Energie-Aufwandszahl $e_p$ eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschließlich Warmwasserbereitung .....	289
18.6.2	Berechnung der Energie-Aufwandszahl $e_p$ eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit el. Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab .....	289
<b>19</b>	<b>... und Antworten</b> .....	<b>292</b>
<b>20</b>	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>297</b>
<b>21</b>	<b>Bildquellenverzeichnis</b> .....	<b>301</b>
<b>22</b>	<b>Tabellenquellenverzeichnis</b> .....	<b>308</b>
<b>23</b>	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b> .....	<b>309</b>

# 1 Einleitung

Der Inhalt dieses Buches beschäftigt sich ausführlich mit allen Themen rund um die Wärmepumpe. Es wurde unter den neusten Aspekten verfasst und regelmäßig überarbeitet.

Zunächst finden Sie in diesem Buch einige Betrachtungen zur Ökologie und Ökonomie. Diese gewinnen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung.

Dieses Buch informiert über die Funktion einer Wärmepumpe und deren Komponenten, einschließlich der Eigenschaften verschiedener Kältemittel. Es gilt bei den Ausführungen zu verstehen, dass und warum eine Wärmepumpe physikalisch ganz anders funktioniert und reagiert als Öl- Gas- oder Pelletkessel. Weiterhin werden die verschiedenen Wärmepumpenanlagenarten sowie deren Vor- und Nachteile dargestellt. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Betrachtung der Leistung, Leistungszahl, saisonalen Jahresarbeitszahl mit Berücksichtigung verschiedener Betriebszustände sowie der Energieaufwandszahl. Damit soll das Verständnis für Unterschiede zu herkömmlichen Heizungsanlagen vertieft dargestellt werden. Ergänzend werden auch einige hydraulische Darstellungen verschiedener Wärmepumpenanlagen gezeigt.

Ein weiterer, neuer Aspekt ist der Umwelt- und Grundwasserschutz beim Betrieb von Wärmepumpenanlagen. Hier werden verschiedene Lösungen diskutiert.

Von besonderer Bedeutung sind auch die Auslegung, Projektierung und Hydraulik einer Wärmepumpenanlage. Weil hier in der Praxis häufig Fehler unterlaufen, werden diese Themen ausführlich behandelt. Vertiefend werden Projektierungs- und Berechnungsbeispiele gezeigt.

Weiterhin finden Sie hilfreiche Hinweise und Erläuterungen zur Inbetriebnahme einer Wärmepumpenanlage.

In Kapitel 10 wird diskutiert, ob sich eine Wärmepumpe lohnt oder nicht.

Zahlreiche Bilder und Beispiele aus der Praxis veranschaulichen die vielfältigen Themen rund um die Wärmepumpe.

Ich als Autor wünsche ein angenehmes Lesen und tiefe Einblicke in die Welt der Wärmepumpen.

Unverzichtbar für Planende, Energieberatende,  
Ingenieur\*innen und Fachhandwerksbetriebe:

# Wärmepumpen

## Fehler vermeiden bei Planung, Installation und Betrieb

Wärmepumpen werden angesichts der Klima-  
krise und der sich verschärfenden globalen  
Bedingungen auf dem Energiemarkt immer  
wichtiger. Bei ihrer Planung, Installation und im  
Betrieb gibt es typische Fehlerquellen. Wer diese  
erkennt, kann sie gezielt verhindern, um die  
Wärmepumpenanlagen effektiv einzusetzen.

Das Buch zeigt typische Probleme sowie die  
Hintergründe von Fehlerquellen und bietet  
Hilfestellung zur Vermeidung zahlreicher  
Planungs- und Ausführungsfehler.

Die aktuelle, 3. Auflage enthält zahlreiche neue  
Fallbeispiele für mögliche Fehlerquellen, z.B.:

- Probleme bei der Kombination von Wärme-  
pumpe und Photovoltaikanlage
- Fehler bei der Warmwasserbereitung
- Keine ausreichende Erwärmung eines  
Mehrfamilienhauses durch die Luft-Wasser-  
Wärmepumpe



### Wärmepumpen

Fehler vermeiden bei Planung,  
Installation und Betrieb  
von Jürgen Bonin

3., überarbeitete und erweiterte Auflage 2023.  
224 S. A4. Broschiert. 62,00 EUR  
ISBN 978-3-410-31363-2 (Buch)  
ISBN 978-3-410-31364-9 (E-Book)

### Bestellen Sie unter

**Telefon** +49 30 2601-1331

**Telefax** +49 30 2601-1260

[kundenservice@beuth.de](mailto:kundenservice@beuth.de)



### Auch als E-Book

nur online erhältlich unter  
[www.beuth.de](http://www.beuth.de)

## 2 Betrachtungen zur Ökologie und Ökonomie

### 2.1 Auswirkungen auf die Umwelt

Im neuen, 21. Jahrhundert gibt es zwei Gründe, die die Menschen zum Umdenken bewegen:

1. die eklatant steigenden Energiepreise und
2. die Folgen des Klimawandels.

Zunehmend mehr denken Bauherren, Immobilienbesitzer und Mieter über Möglichkeiten nach, wie die „Zweite Miete“ zu reduzieren ist. Erstaunlich sowie auch menschlich ist, dass dabei die eigenen Kosten zuerst gesehen werden.

Der deutlich werdende Klimawandel wird immer noch viel zu wenig beachtet – weil es noch nicht unmittelbar die eigenen Kosten betrifft. Aber dies ändert sich spätestens dann, wenn es uns direkt trifft! Aktuell betrifft der Klimawandel nicht nur die Menschen im Ahrtal und in anderen überschwemmten Gebieten. Anlässlich einer Reise sah ich mich im Frühjahr 2022, also ein Dreivierteljahr nach der Flut dort um. Fotos zeugen von der Zerstörung. Es waren Bilder, die Menschen sehr bestürzen. Die Ahr riss eine Brücke aus der Verankerung und schleifte sie über mehrere zig Meter mit, bis sie an einen Baum prallte und dann letztendlich an einem weiteren völlig verbogen hängen blieb.

Und das kann uns mittlerweile alle treffen!

In Deutschland wurden wir in diesem neuen Jahrhundert schon von deutlich mehr Tornados heimgesucht als im gesamten letzten Jahrhundert. Deutschland zählt mittlerweile zu den Tornadoländern! Das sollte uns nachdenklich machen.

Wissenschaftler haben bereits im letzten Jahrhundert vor der Klimaerwärmung gewarnt. Mittlerweile prognostizieren einige Wissenschaftler, dass die Zivilisation, wie wir sie kennen, zum Wechsel des nächsten Jahrhunderts enden könne. Dann sind nicht nur zahlreiche Pflanzen und Tiere ausgestorben, sondern auch die Spezies Mensch. Ich zitiere dazu aus „Die unbewohnbare Erde“, einem der weltweit am meisten gelesenen Artikel von David Wallace-Wells. Die Erde ist krank! Es laufen bereits jetzt schon nicht mehr reversible Prozesse:

- Zum einen ist dies das Schmelzen der Pole. Das weiße Eis verschwindet zunehmend zugunsten der größer werdenden dunkleren Meeresoberfläche. Diese wiederum absorbiert die Wärmestrahlung der Sonne und führt zur weiteren Erwärmung der Meere.
- Die Permafrostböden schmelzen mit der Folge, dass immer mehr Methan freigesetzt wird. Methan wiederum schädigt die schützende Ozonschicht und begünstigt damit die solare Einstrahlung und ebenfalls die Erderwärmung.

Alles hat zwei Seiten; es gibt auch Gutes zu berichten, die Norm-Außentemperaturen zur Auslegung von Heizungsanlagen haben sich deutlich erhöht, z. B. in Xanten von  $-10\text{ °C}$  auf  $-8,2\text{ °C}$ .



**Bild 2.1:** Zerstörte Ahrtal-Brücke



**Bild 2.2:** Sanierung von Geschäftsräumen

### Warme Aussichten für die Zukunft!

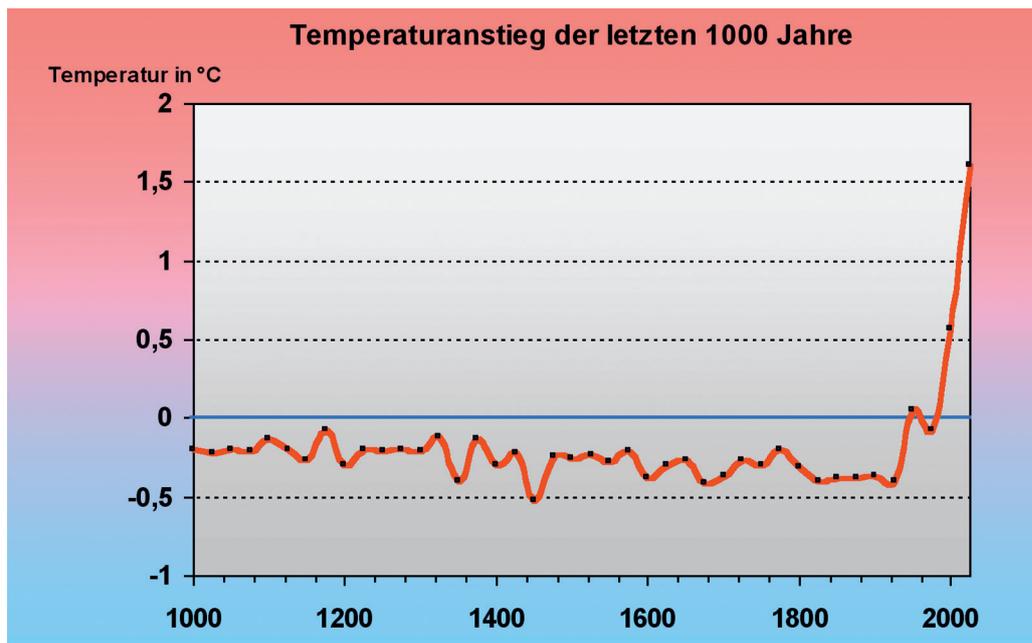
Und nun kommt aktuell die Energiekrise dazu, weg vom Öl und Gas! Da bleibt fast nur noch die Wärmepumpe als Alternative und deren besonderer Nutzen. Eine Wärmepumpe hat zwei Seiten, eine kalte und eine warme. Mit der warmen kann man heizen und mit der kalten kann man kühlen.

Bild 2.3 zeigt deutlich den Klimawandel.

Vorteilhaft ist bei der globalen Temperaturerhöhung, dass weniger Energie zum Heizen benötigt wird. Der elektrische Energiebedarf für die Kühlung für Ventilatoren und Klimaanlage steigt im Gegensatz dazu.

Es stellt sich hier die Frage: Wollen wir das? Natürlich nicht! Aber was tun Sie dagegen?

Dazu kommen noch die steigenden Energiekosten und der Dreh am Öl- oder Gashahn, also die Abhängigkeit von den exportierenden Ländern!



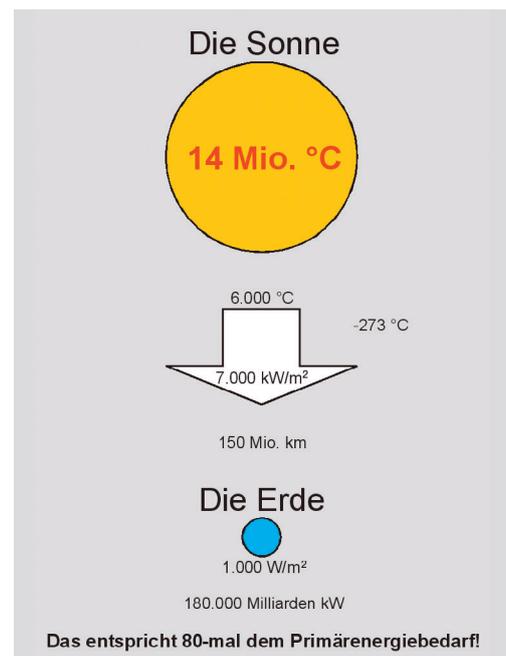
**Bild 2.3:** Extremer Temperaturanstieg um die Jahrhundertwende

Gibt es noch einen Ausweg? Na klar:

Der Ausweg kann nur eine vermehrte Nutzung regenerativer Energien sein! Dazu gehört die Nutzung der Solarenergie, ohne die es keine oberflächennahe Geothermie gäbe, denn die Erdoberfläche wird überwiegend von der Sonne erwärmt. Dazu kommt die Erdwärme aus dem Inneren der Erde. – Und die Sonne liefert uns mehr als 5.000-mal so viel Energie, wie wir benötigen! (Stand 2010) (siehe Bild 2.4)

Diese Energie steht uns in vielfältiger Weise zur Nutzung zur Verfügung:

- Die direkte Solarenergienutzung mit Solar Kollektoren und Solarzellen.
- Die unmittelbare Nutzung der Solarenergie und der Erdwärme mittels Wärmepumpen.
- Die Nutzung der Windenergie.



**Bild 2.4:** Energiequelle Sonne

Bild 2.5 zeigt, dass nahezu ein Drittel der Gesamtenergie in den Haushalten verbraucht wird. Der größte Teil, 88 % davon, wird für die Wärmeerzeugung benötigt!

Vorausgegangene Betrachtungen zeigen, dass ein Umdenken zugunsten der Umwelt stattfinden muss – und nachfolgende Abbildung zeigt, dass es sich außerdem lohnt. Die Nutzung regenerativer Energien ist ökologisch und ökonomisch!

Bild 2.6 zeigt den Energiefluss einer Wärmepumpenanlage:

Wem der Primärenergiebedarf zu hoch ist, der kann den von den Energieversorgungsunternehmen (EVU) angebotenen **Ökostrom** nutzen oder eine Photovoltaikanlage installieren, um so den Solarstrom zum Betrieb der Wärmepumpe zu nutzen und im Sommer zu kühlen.

**Hinweis**

Die Nutzung der Erdwärme sowie Außenluft sind kostenlos und stehen unbegrenzt zur Verfügung. Sie muss nicht, wie alle anderen Brennstoffe, zuerst mit zum Teil hohem Energie- und Kostenaufwand zum Nutzer transportiert werden!

Und wenn man bedenkt, dass in Europa 40 % des Energiebedarfs zum Heizen und Kühlen erforderlich sind, erkennt man die große Bedeutung der Wärmepumpe!

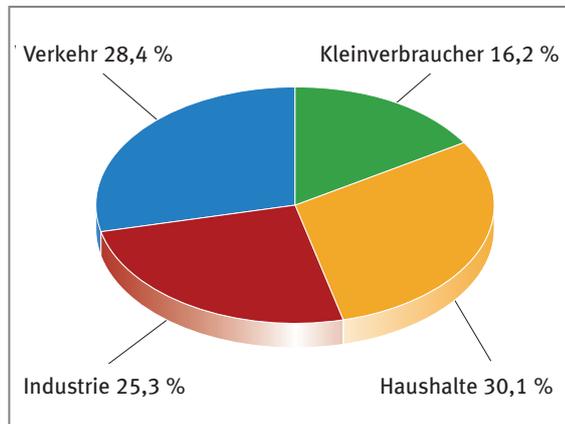
Nun gilt es auch in Deutschland, umzudenken! Trotz steigender Tendenz werden in Deutschland noch zu wenige Neubauten mit einer Wärmepumpe ausgestattet. Die Nutzung von Wärmepumpen dient der Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und ist kostenfrei.

Die Menschen verwerten wertvolle Rohstoffe aus der Erde, verbrennen sie und zerstören damit teilweise das Klima, Kohle, Gas und insbesondere Öl sind endlich und bei der jetzigen Handlungsweise bald verbraucht. Das muss nicht sein, denn es gibt viele andere Möglichkeiten. Eine davon ist die Nutzung der Geothermie mittels Wärmepumpen. Sie sind ökologisch und ökonomisch.

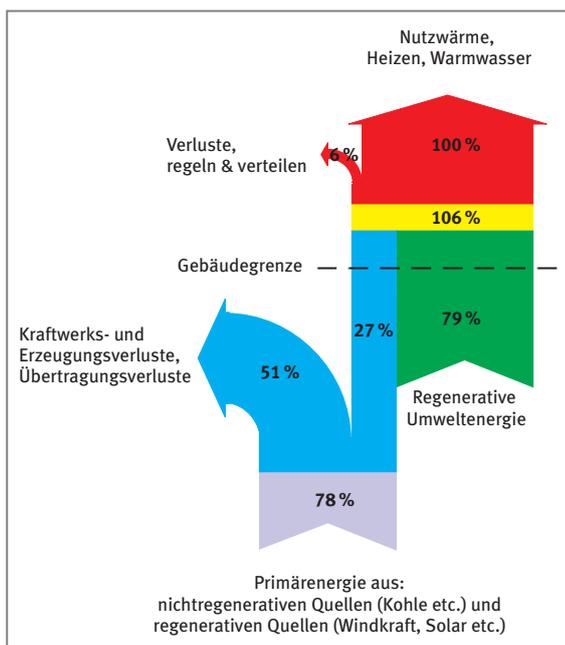
**Wärmepumpen**

Wärmepumpen sind die modernsten und komfortabelsten Heizsysteme derzeit.

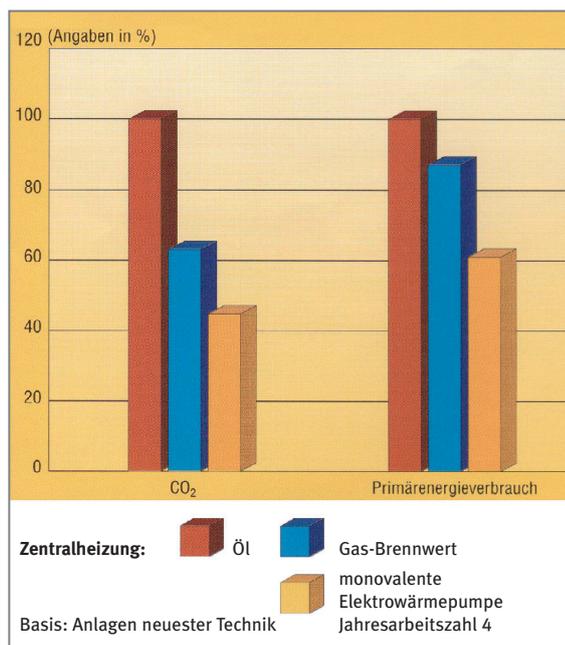
Erdwärme steht, solange die Sonne scheint, für jeden unbegrenzt zur Verfügung!



**Bild 2.5:** Anteilige Energieverbraucher



**Bild 2.6:** Energiefluss einer Wärmepumpe



**Bild 2.7:** Vergleich Heizsysteme

Um die Wärmepumpen richtig, d. h. ökologisch und ökonomisch einzusetzen, sind entsprechend geschulte Fachleute gefragt.

Die Verkaufszahlen für Wärmepumpen sind in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Dies sind keine neuen Erkenntnisse. Aktuelle Recherchen ergeben: 2021 wurden in der Schweiz mit 8.738.800 Einwohnern 378.170 Wärmepumpen verkauft. Im selben Zeitraum wurden in der Bundesrepublik Deutschland mit 84.079.800 Einwohnern lediglich 154.000 Heizungswärmepumpen verkauft. Das heißt, dass mit fast 10-mal so viel Einwohner nur 2/5 so viele Wärmepumpen verkauft wurden gegenüber der Schweiz.

In Österreich wurden etwa 8,5 Wärmepumpen pro 1000 Haushalte verkauft. Europas Spitzenreiter sind Norwegen und Finnland mit knapp 42 bzw. 39 verkauften Wärmepumpen pro 1000 Haushalten. Mit 31.721 Stück verkauften Wärmepumpen im Absatz des Inlandsmarktes wurde 2020 ein neuer Rekordabsatz erreicht, Stand 11. März 2021.

## 2.2 Betrachtungen zur Ökonomie – Entwicklung der Energiekosten

Wärmepumpen leisten nicht nur einen bedeutenden Betrag zum Umweltschutz, sondern schonen auch den Geldbeutel des Betreibers. Trotz der relativ hohen Anschaffungskosten haben Wärmepumpen eine relativ schnelle Amortisation. Im Vergleich zu anderen Heizaggregaten sind Wärmepumpen die ökonomischsten Heizungen – und bieten noch die Kühlung mit an.

### **Wärmepumpen brauchen weder Öl noch Gas!**

Warum sollten wir uns weiterhin von diesen, zudem sehr endlichen, Rohstoffen abhängig machen?!

Dies ist absolut unsinnig, zumal die Nachfrage nach diesen endlichen, bald nicht mehr zur Verfügung stehenden Rohstoffen **weltweit** dramatisch zunimmt.

Auch die Preisentwicklung der Energie prognostiziert für die Zukunft keine guten Aussichten. Die Vergangenheit zeigt, dass sich die Energiekosten etwa alle 10 Jahre verdoppeln (Bild 2.8).

Diese Entwicklung wird durch einfache Aufzeichnungen eines Eigenheimbesitzers bestätigt. Die Zahlen bis zum Jahr 2022 sind weiter steigend.

Ursache sind die stark steigenden Rohstoffkosten für Öl und Gas (Bild 2.9).

### **Wer kann sich das noch leisten?**

Man muss kein Prophet sein, um diese Preisentwicklung, projiziert aus der Vergangenheit, auf die Zukunft zu beziehen! Die Preise explodieren derzeit – und wer glaubt da an ein Ende bei dem weltweit extrem steigenden Energiebedarf?

Dieses stand bereits in der ersten Auflage des Buches. Die aktuellen Entwicklungen sind jedoch noch dramatischer! Die Preise für Gas und Öl explodieren gerade und es wird aktuell insbesondere für uns in Europa immer knapper. Dennoch ist die Sorge gering, dass noch genug Kohle, Öl und Gas gefördert werden können. Viel besorgniserregender ist, dass noch viel von diesen Rohstoffen zur Verfügung stehen.

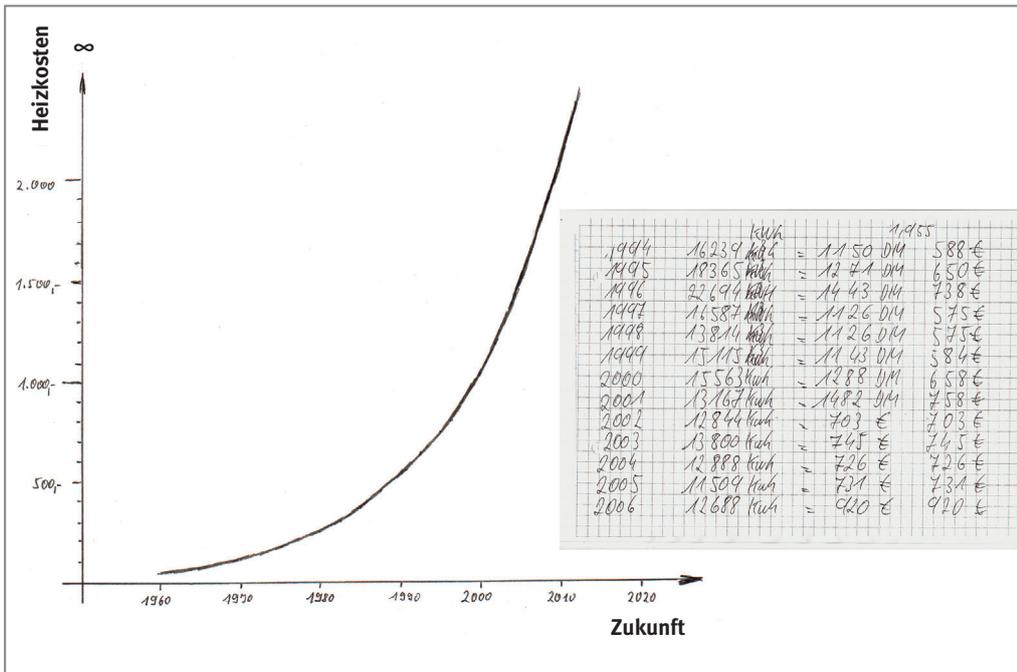


Bild 2.8: Heizkostenentwicklung

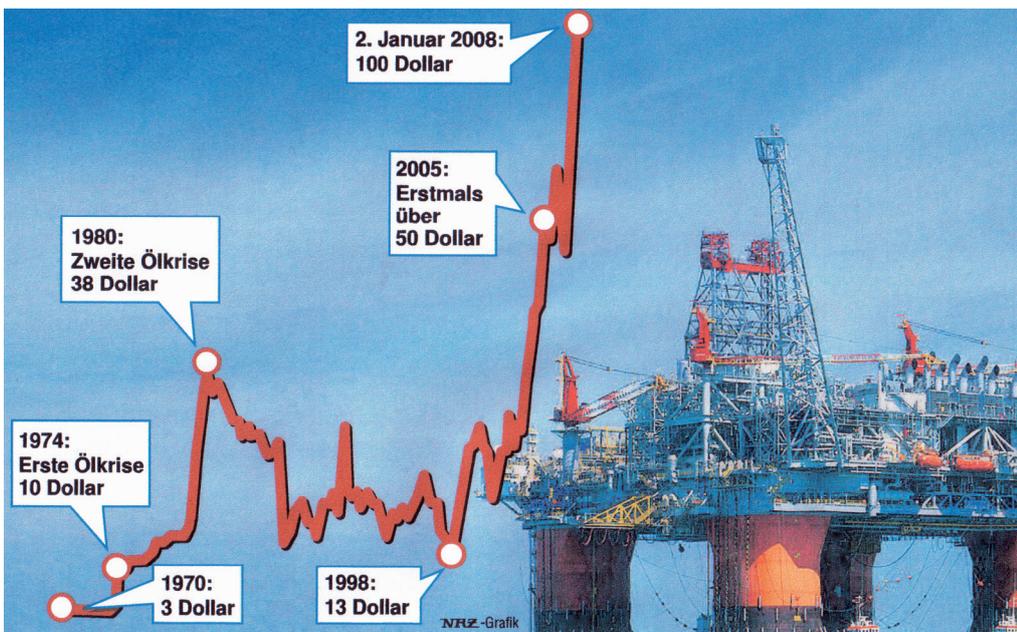
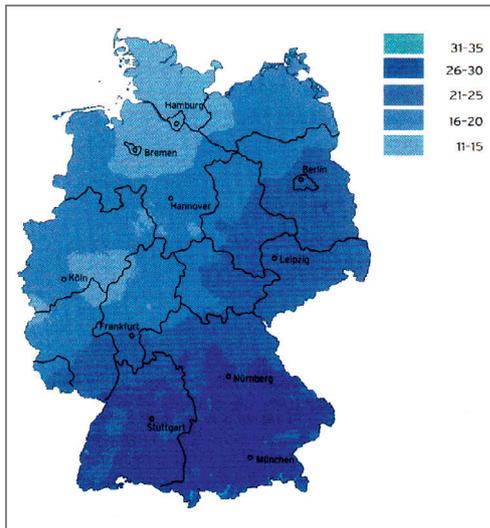


Bild 2.9: Entwicklung Rohölkosten

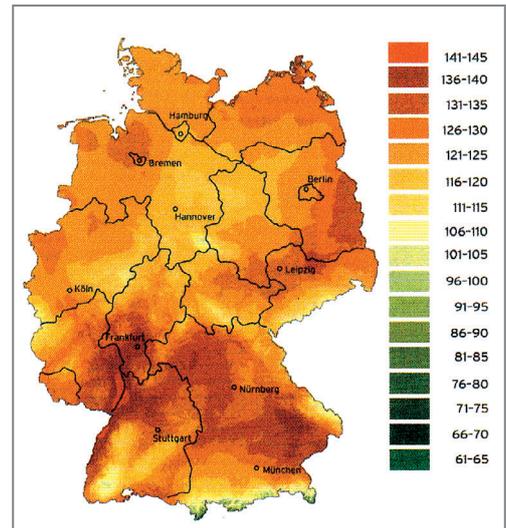
### 2.3 Woher die Erdwärme kommt

Die „Erdwärme“ kommt aus der Erde, weil diese von der Sonne angestrahlt wird. Ohne die Einstrahlung der Sonne wäre die Erde ein eiskalter und toter Planet. Dank der Sonneneinstrahlung steht genügend Wärme für viele, viele Wärmepumpen zur Verfügung. Dies zeigen nachfolgende Übersichtskarten:

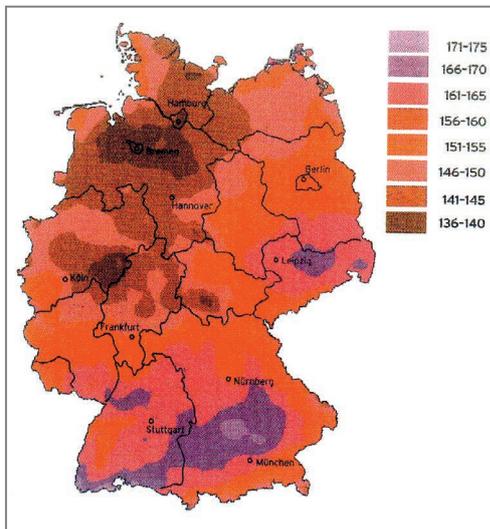
Aus diesen Bildern lässt sich ableiten, dass ausreichend Energie für den Betrieb von Wärmepumpen zur Verfügung steht. Z. B. steht auf einem Grundstück von 200 m<sup>2</sup> im Jahresmittel im ungünstigen Fall eine Energie von mind. 150.000 kWh/m<sup>2</sup>a zur Verfügung – also viel mehr, als zur Beheizung eines Einfamilienhauses benötigt wird.



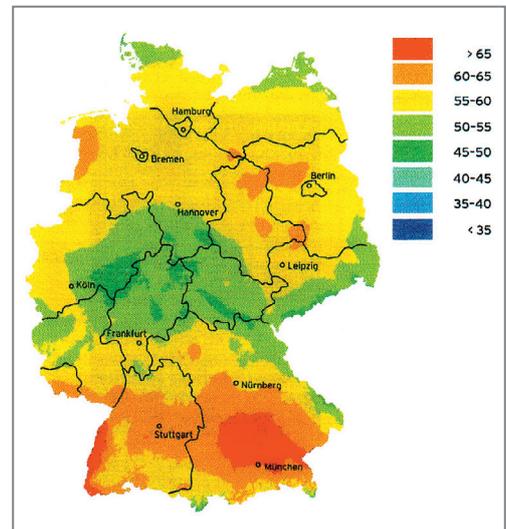
**Bild 2.10:** Monatssumme der Globalstrahlung in kWh/m<sup>2</sup> im **Januar 2004**



**Bild 2.11:** Monatssumme der Globalstrahlung in kWh/m<sup>2</sup> im **April 2004**



**Bild 2.12:** Monatssumme der Globalstrahlung in kWh/m<sup>2</sup> im **Juli 2004**

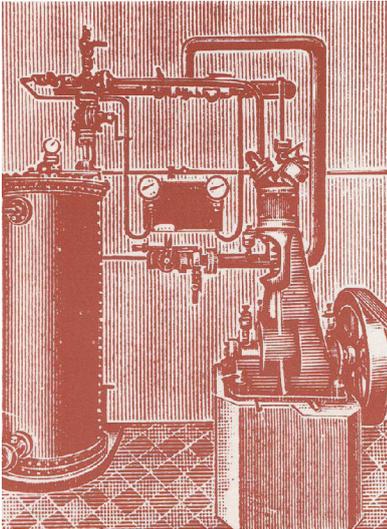


**Bild 2.13:** Monatssumme der Globalstrahlung in kWh/m<sup>2</sup> im **Oktober 2004**

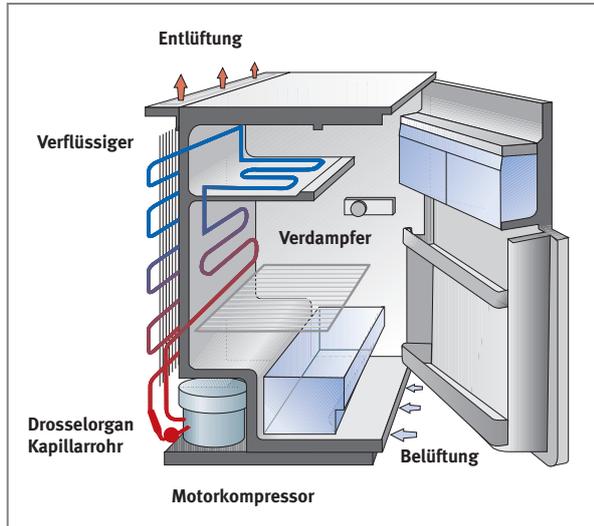
### 3 Was ist eine Wärmepumpe und wie funktioniert sie?

Eine Wärmepumpe ist eine „Kältemaschine“. Eine Kältemaschine ist ein Gerät, welches in der Regel kühlt, z. B. ein Kühlschranks. Dabei wird dem Innenraum durch das Kühlen Wärme entzogen. Diese Wärme muss anderweitig wieder abgegeben werden. Dies geschieht beim Kühlschrank über einen Kühler (Verflüssiger), der die Wärme an die Umgebungsluft abgibt.

Die Wärmepumpe bzw. Kältemaschine hat schon eine längere Geschichte. Bereits 1876 wurde von Carl von Linde die erste funktionstüchtige und betriebssichere Ammoniak-Kältemaschine gebaut. Dies ist der Beginn der kombinierten Kälte- und Wärmenutzung.



**Bild 3.1:** 1876 – erste Kältemaschine von Carl von Linde



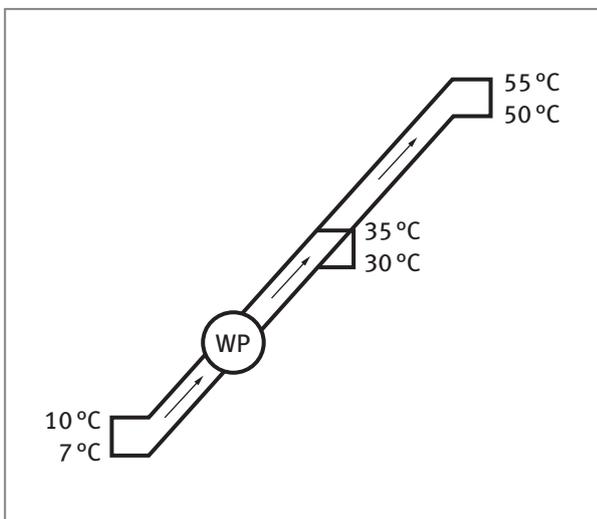
**Bild 3.2:** Der Kühlschrank – eine Wärmepumpe

#### 3.1 Warum heißt die Wärmepumpe „Wärmepumpe“?

Der Begriff „Wärmepumpe“ lässt sich am nachfolgenden Diagramm gut erklären:

Eine „Wärmepumpe“ „pumpt“ „Wärme“ von einem tieferen Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau.

Hier handelt es sich z. B. um eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe. Sie nimmt aus einem Grundwasser mit einer Temperatur von 10 °C Wärme auf, indem es dieses um 3 °C auf 7 °C abkühlt. Diese aufgenommene Wärme wird z. B. zum Heizen auf eine Vorlauftemperatur von 35 °C erwärmt. Aus der Fußbodenheizung kommt das Wasser dann um 5 °C kühler, d. h. mit 30 °C, wieder zurück zur Wärmepumpe.



**Bild 3.3:** Temperaturniveaus einer Wärmepumpe

Die Wärmepumpe hat also Wärme von 10 °C auf 35 °C gepumpt. Um dieses Temperaturniveau zu erreichen, muss die Wärmepumpe arbeiten. Dazu braucht sie Energie, in der Regel elektrische Energie aus dem Stromnetz.

Für die Warmwasserbereitung muss die Wärmepumpe die „Wärme“ auf ein höheres Temperaturniveau „pumpen“, auf 55 °C Vorlauftemperatur. Um diese höhere Vorlauftemperatur zu erreichen, muss die Wärmepumpe mehr arbeiten und braucht daher mehr elektrische Energie.

Diese Betrachtungen haben folgende wichtige Hintergründe:

- Je höher die erforderliche Vorlauftemperatur ist, desto mehr muss eine Wärmepumpe arbeiten. Deswegen ist es von größter Bedeutung, dass die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle (z. B. Grundwasser, Sole oder Luft) und Heizwärme (z. B. Vorlauftemperatur zum Heizen) so niedrig wie möglich ist.

Diese Betrachtung zeigt, dass eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit einer Quelltemperatur von ca. 10 °C weniger Hilfsenergie braucht als eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer Quelltemperatur von ca. 0 °C. Des Weiteren macht diese Betrachtung deutlich, dass die Vorlauftemperatur so gering wie möglich sein sollte. Dies ist mit einer Fußboden- oder Wandflächenheizung gut realisierbar. Hier wird deutlich, dass eine Wärmepumpe zum Heizen über Heizkörper mit hohen Vorlauftemperaturen wenig bzw. keinen Sinn macht.

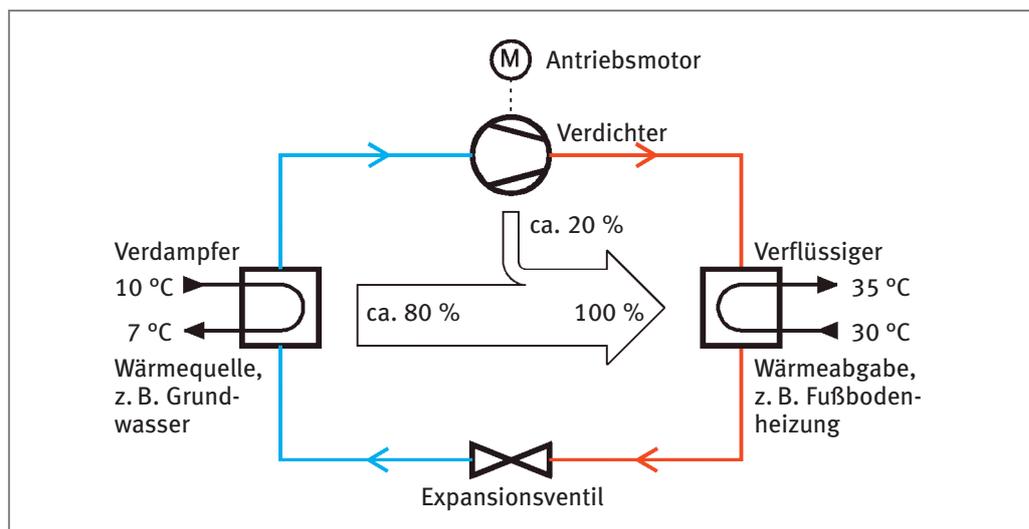
Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu den Gas-, Öl- oder Pelletkesseln. Da spielt die Vorlauftemperatur nahezu keine Rolle, sondern allein die Wärmemenge.

### 3.2 Aufbau einer Wärmepumpe und deren Komponenten

Eine Wärmepumpe besteht aus folgenden wesentlichen Komponenten:

- Kompressor bzw. Verdichter mit Antriebsmotor
- Kondensator, auch Verflüssiger genannt
- Expansionsventil
- Verdampfer

In Bild 3.2.1 sind der prinzipielle Aufbau einer Wärmepumpe und deren Energieflüsse abgebildet. Dieses vereinfachte Fließbild dient in den späteren Erläuterungen auch als weitere Grundlage.

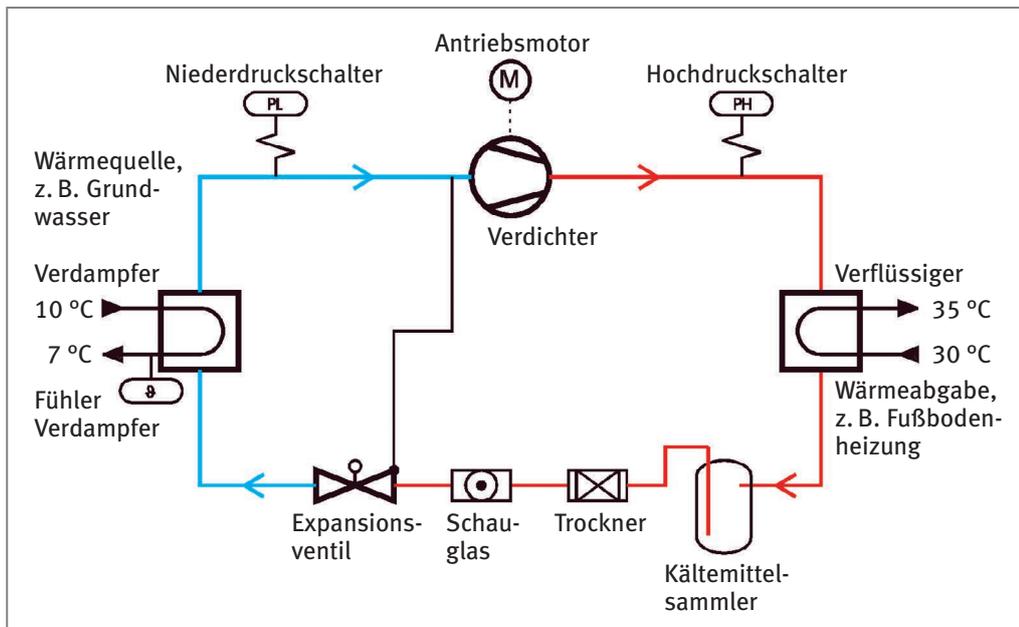


**Bild 3.4:** Prinzipieller Aufbau einer Wärmepumpe

### 3.3 Der technische Kältekreislauf und die Funktion der Wärmepumpe

Dargestelltes Fließbild 3.5 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Kältemaschine und deren Energiefluss. Zu einem sicheren Betrieb einer Kältemaschine gehören jedoch noch ein paar weitere Komponenten wie Kältemittelsammler, Trockner, Schauglas und die Überwachungs- und Schutz-einrichtungen wie Hoch- und Niederdruckschalter.

Im Kältekreislauf befindet sich hermetisch abgeschlossen ein Gas, das sogenannte Kältemittel. Dieses Kältemittel wird, mithilfe des Kompressors, durch den Kältekreislauf, den sogenannten „Carnot’schen Kreisprozess“ gepumpt. Dabei haben die einzelnen Komponenten folgende Funktionen (Bild 3.5):



**Bild 3.5:** Wärmepumpe und deren Komponenten

#### 1. Der Verdichter mit Antriebsmotor

Der Verdichter ist das Herz einer Wärmepumpe. Er verdichtet das Kältemittel und pumpt dieses durch den Kältekreislauf der Wärmepumpe. Es gibt verschiedene Verdichtertypen: den Schrauben- oder auch Scroll-Verdichter sowie den Kolbenverdichter. Schraubenverdichter besitzen keine sich hin- und herbewegenden Teile und haben daher einen ruhigeren Lauf. Deswegen sind sie leiser als Kolbenverdichter.

Jedes Gas erwärmt sich, wenn es komprimiert wird. Je höher die Verdichtung ist, desto stärker ist die Erwärmung.

Dieser Vorgang ist vergleichbar mit einer Luftpumpe, die sich beim Pumpen am unteren Ende erwärmt. Diese Erwärmung wird nicht durch Reibung verursacht, sondern durch das Komprimieren der Luft. Bei einer Fahrradpumpe sind das etwa 0,5–1,5 bar; bei einem Kompressor für Wärmepumpen ca. 15–20 bar und je nach Kältemittel auch mehr. Entsprechend wärmer wird das Kältemittel – warm genug zum Heizen und zur Warmwasserbereitung.

#### 2. Der Verflüssiger

Der Verflüssiger ist ein Wärmetauscher, in der Regel ein großflächiger Plattenwärmetauscher. Hier strömt das Gas in den Verflüssiger und wird durch das kältere Heizungswasser abgekühlt. Es kondensiert im Verflüssiger, d.h. es verflüssigt sich. Die über dem Verflüssiger abgegebene Wärme wird so der Heizung zugeführt.

Bei diesem Vorgang ändert sich nicht oder nur unwesentlich die Temperatur, jedoch insbesondere der Aggregatzustand vom gasförmigen Zustand in den flüssigen Zustand. Durch diese Änderung des Aggregatzustandes wird sehr viel Wärmeenergie zum Heizen und zur Warmwasserversorgung freigesetzt – viel mehr, als wenn nur Wärme entzogen wird.

Das Kältemittel ist nun in einem flüssigen Zustand.



**Bild 3.6:** Wärmetauscher

Wird bei diesem Vorgang nicht genug Wärme am Verflüssiger abgenommen, erhöht sich durch das Verdichten die Temperatur, die sogenannte Heißgastemperatur, des Gases. Die Folge ist ein Anstieg des Druckes auf der Hochdruckseite. Der Hochdruck wird mittels Hochdruckschalter überwacht. Bei einer Überschreitung eines Maximaldruckes kommt es zu einer sogenannten Hochdruckstörung, indem der Hochdruckschalter schaltet. Die Wärmepumpe schaltet dann im Regelfall über den Regler ab. Bei unzureichender Wärmeabnahme kann die Heißgastemperatur sehr stark ansteigen und damit verbunden auch der Druck.

Wird nach der Verflüssigung des Kältemittels durch weiteren Wärmeentzug die Temperatur gesenkt, spricht man von einer Unterkühlung des Kältemittels. Dadurch wird etwas mehr Wärmeleistung über den Verflüssiger (Kondensator) abgegeben. Dies führt zu einer geringfügigen Leistungserhöhung der Wärmepumpe.



**Bild 3.7:** Expansionsventil

### 3. Expansionsventil

Das Expansionsventil – oftmals auch E-Ventil genannt – hat eine sehr kleine Öffnung, durch die das flüssige Kältemittel mit hohem Druck gepresst wird. Nach dem E-Ventil entspannt das Kältemittel. Dabei verringern sich deutlich der Druck und insbesondere die Temperatur des Kältemittels.

Dieser Vorgang ist damit vergleichbar, wenn beim Nachfüllen eines Gases in ein Feuerzeug etwas Gas ausströmt und dieses dabei deutlich und fühlbar abkühlt. Dasselbe passiert durch das E-Ventil, nur mit einem deutlich größeren Druckunterschied, nämlich von z. B. 15 bar auf 4 bar (je nach Kältemittel). Die Temperatur des Kältemittels kann dabei deutlich unter 0 °C fallen.

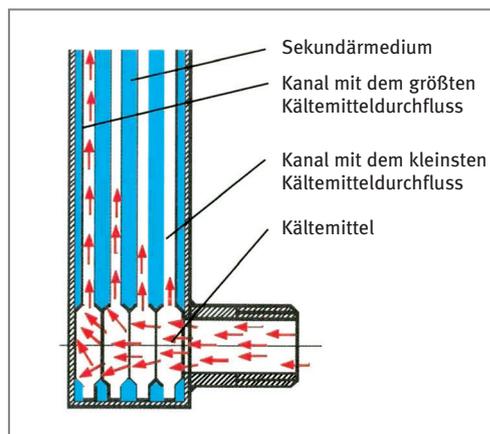
E-Ventile regeln die Einspritzung des flüssigen Kältemittels in den Verdampfer. Diese Einspritzung wiederum wird von der Überhitzung des Kältemittels hinter dem Verdampfer gesteuert. Bei einer Überhitzung hinter dem Verdampfer erfährt das Kältemittel nicht nur eine erneute Aggregatzustandsänderung, sondern auch eine Temperaturerhöhung (Überhitzung). Je höher diese Temperatur hinter dem Verdampfer ist (Überhitzung des Kältemittels), desto mehr öffnet das E-Ventil, um mehr Kältemittel einzusprühen. So wird mehr Kältemittel dem Verdampfer zugeführt, dadurch verringert sich die Temperatur hinter dem Verdampfer. Ist die Temperatur hinter dem Verdampfer zu gering, schließt das E-Ventil etwas, um weniger Kältemittel einzusprühen. Das E-Ventil hat somit die Aufgabe, die Kältemittelzufuhr zum Verdampfer zu regeln.

Im Wesentlichen differenziert man zwischen einem thermischen E-Ventil und einem elektronischen E-Ventil. Für den Bau von Wärmepumpen werden arbeitende E-Ventile meist eingesetzt. Bei dem thermischen E-Ventil wird die Temperatur vor dem Verdichter gemessen.

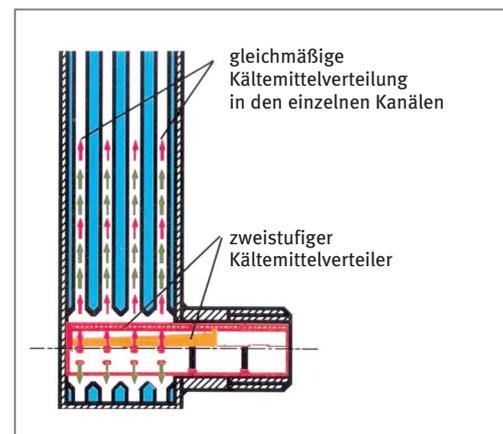
In den letzten Jahren wurden zunehmend mehr Wärmepumpen mit einer sogenannten Inverter-technik gebaut, in welche dann elektronisch geregelte Expansionsventile installiert sind.

### 4. Der Verdampfer

Der Verdampfer ist in der Regel ein Plattenwärmetauscher. Hier strömt das flüssige, sehr kalte Kältemittel mit Temperaturen von deutlich unter 0 °C in den Wärmetauscher. Durch das dem Wärmetauscher zugeführte Medium Sole (mit 0 °C – Sole-Wasser-Wärmepumpe) oder Wasser



**Bild 3.8:** Verdampfer ohne Kältemittelverteiler



**Bild 3.9:** Verdampfer mit zweistufigem Kältemittelverteiler

(10 °C – Wasser-Wasser-Wärmepumpe) oder Umgebungsluft (Luft-Wasser-Wärmepumpe) wird das Kältemittel entsprechend erwärmt und dadurch verdampft. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen ist der Wärmetauscher ein Lamellenwärmetauscher.

Bei diesem Vorgang ändert sich wieder der Aggregatzustand, jetzt vom flüssigen Zustand in den gasförmigen Zustand – es verdampft. Dabei wird von dem Kältemittel sehr viel Wärmeenergie aufgenommen, die später wieder zum Heizen zur Verfügung steht. Auch hier ist durch die Änderung des Aggregatzustandes die Energieaufnahme deutlich höher, als wenn das Kältemittel nur erwärmt würde.

Wird im Verdampfer die Temperatur des Kältemittels zusätzlich erwärmt, spricht man von einer Überhitzung des Kältemittels (umgekehrt wie die Unterkühlung hinter dem Verflüssiger).

Beim Verdampfer ist es wichtig, dass sich das Kältemittel im Wärmetauscher gleichmäßig verteilt – wie es in Bild 3.9 gezeigt ist.

Hinter dem Verdampfer wird das Kältemittel wieder zum Verdichter angesaugt. Es wird dort wiederum verdichtet und es schließt sich der Kältekreislauf. Allerdings sind im Kältekreislauf noch weitere Komponenten installiert, die einen sicheren und optimalen Betrieb ermöglichen:

### 5. Der Kältemittelsammler

Der Kältemittelsammler ist ein Puffer und nimmt das flüssige Kältemittel aus dem Kondensator auf. Es sorgt dafür, dass nur flüssiges Kältemittel zum Expansionsventil gelangt.

### 6. Der Trockner

Bei der Herstellung der Wärmepumpe kann trotz sorgfältigster Evakuierung immer noch eine Restfeuchtigkeit im Kältekreislauf verbleiben. Diese würde die Funktion empfindlich beeinträchtigen. Zur Entfernung / Bindung dieser Restfeuchtigkeit dient ein Trockner.

### 7. Das Schauglas

Das Schauglas dient in erster Linie dem Kälteanlagenbauer oder Servicetechniker, um die Kältemittelmaschine richtig einzufahren. Hier kann der Techniker optisch erkennen, ob die Kältemittelmaschine in den verschiedenen Betriebspunkten optimal arbeitet.

Außerdem kann im Schauglas noch eine Restfeuchte durch Verfärbung des Indikatorringes festgestellt werden.

### 8. Der Niederdruckschalter

Dieser Schalter ist ein wichtiges Sicherheitsorgan. Er hat die Aufgabe, die Kältemittelmaschine abzuschalten, wenn der Kältemitteldruck auf der Seite der Wärmequelle zu niedrig ist. Das würde einer zu starken Unterkühlung des Kältemittels entsprechen.

Es gibt prinzipiell zwei Ursachen, wenn dieser Schalter eine Störung signalisiert:

1. Der Kältekreislauf ist undicht und Kältemittel entweicht. Dann muss der Niederdruckschalter den Verdichter abschalten, damit dieser nicht beschädigt wird.
2. Die Abkühlung auf der Seite der Wärmequelle ist zu stark, sodass das Kältemittel nicht ausreichend verdampft. Auch hier schaltet der Niederdruckschalter ab, um den Verdichter vor einer Überhitzung zu schützen.

In diesem Fall ist zu überprüfen, ob die Wärmequelle ausreichend groß dimensioniert ist. Bei Sole-Wasser-Wärmepumpen sind dann meistens die Erdsonden oder Erdkollektoren nicht ausreichend groß dimensioniert. Bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen ist der Wasserzufluss unzureichend.

Achtung! Bei einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe besteht Vereisungsgefahr!

Es muss auf jeden Fall seitens der Wärmequelle (Sole- oder Wasserzuführung, Erdsonden oder Erdkollektoren) nachgebessert werden.

### 9. Der Hochdruckschalter

Auch dieser Schalter ist ein wichtiges Sicherheitsorgan. Er hat die Aufgabe, den Verdichter abzuschalten, wenn der Kältemitteldruck hinter dem Verdichter auf der Hochdruckseite zu hoch wird, um so den Kompressor und den Kondensator zu schützen.



**Bild 3.10:** Kältemittelsammler

Dies geschieht, wenn am Verflüssiger nicht genügend Wärme abgenommen wird. Dadurch wird dann zu wenig Kältemittel, das sogenannte Heißgas, verflüssigt und der Druck auf der Heißgas-seite steigt. Bei ausreichender Verflüssigung (Kondensation) passiert dies nicht.

Tritt eine sogenannte Hochdruckstörung ein, muss diese nicht zwangsläufig unmittelbar zu einer Abschaltung und Hochdruckstörung führen. Einige Regler ermöglichen es, dass eine Hochdruckstörung erst mit einer kleinen Verzögerung von wenigen Sekunden erfasst wird. Weil der Hochdruckschalter eine Sicherheitsabschaltung ist, sollte eine sofortige Abschaltung bei Überschreitung des Hochdrucks erfolgen. Weiterhin besteht die Möglichkeit (je nach Reglertyp), eine Abschaltung mit Verriegelung der Wärmepumpe erst nach z. B. zwei oder drei Hochdruckstörungen pro Tag zu aktivieren.

Der Hochdruckschalter ist ein Sicherheitsorgan und dient in erster Linie zum Schutz des Kompressors.

### 10. Fühler Verdampfer

Mithilfe dieses Fühlers (wenn vorhanden) wird die Ausgangstemperatur im Verdampfer vom Regler erfasst. Ist diese Temperatur zu gering, erfolgt eine Sicherheitsabschaltung, um eine Vereisung möglichst zu verhindern. Um eine möglichst schnelle Sicherheitsabschaltung zu realisieren, sollte dieser Fühler bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen im Verdampfer eingebaut sein.

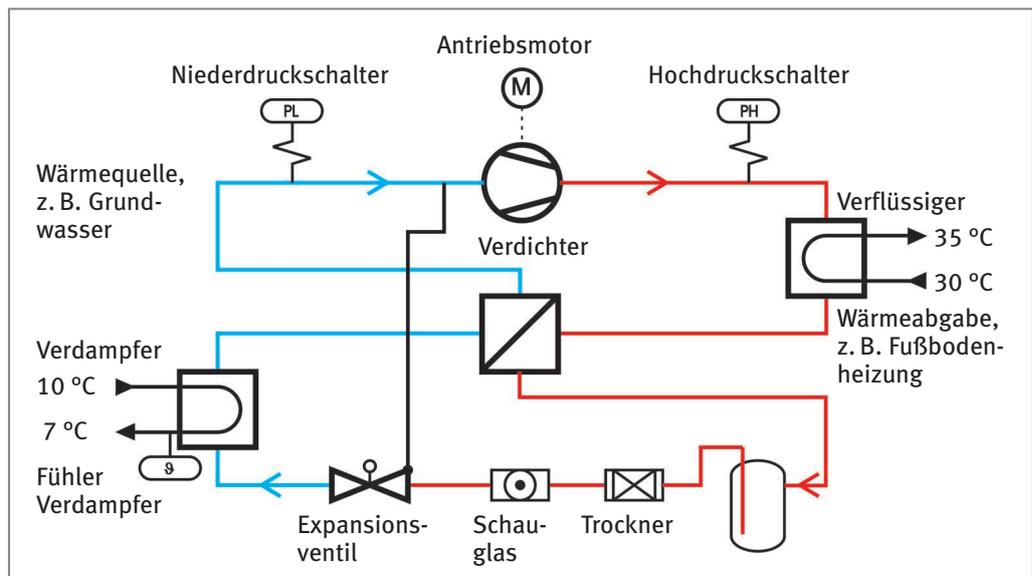
Dieser Sicherheitsfühler ersetzt jedoch nicht einen Strömungswächter, der zum Schutz einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe unbedingt zu empfehlen ist.

### 11. Regler und Fühler

Der Regler ist das Gehirn einer Wärmepumpe. Mithilfe der Fühler erfasst der Regler wesentliche Informationen, steuert die Wärmepumpe und regelt die vorgegebenen Temperaturen für die gesamte Wärmepumpenanlage. Weitere Informationen siehe nachfolgendes Kapitel zum Regler. Nachfolgend werden einige abweichende Varianten von Kältekreisläufen dargestellt und diskutiert:

#### 3.3.1 Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Unterkühlung und Überhitzung

Eine andere Möglichkeit des Aufbaus des Kältekreislaufs besteht in folgendem Aufbau (Bild 3.11):



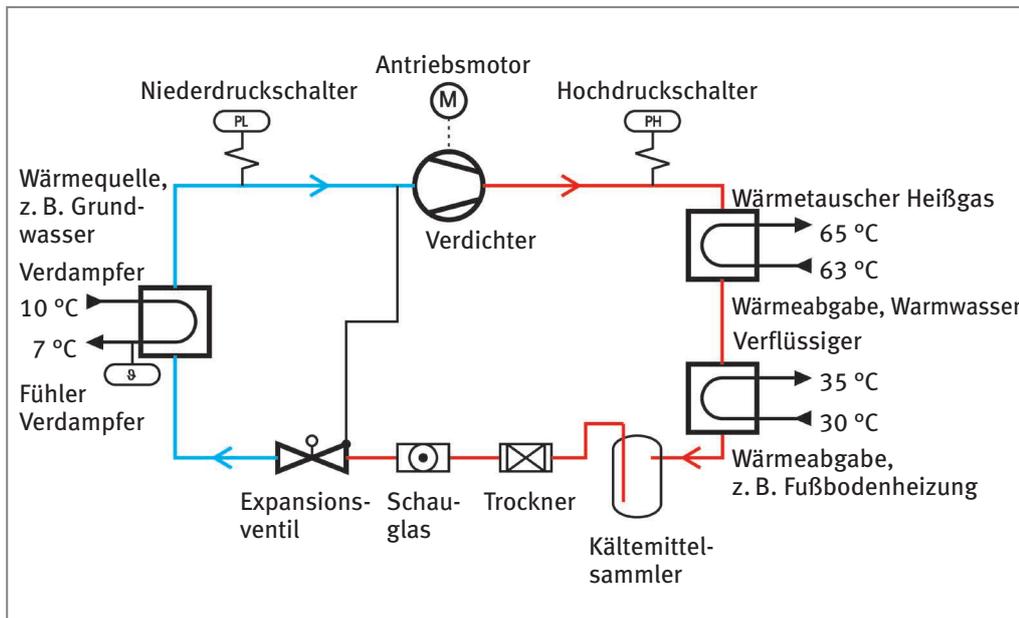
**Bild 3.11:** Wärmepumpe und deren Komponenten mit Zwischenwärmetauscher

Bei diesem Kältekreislauf wird das eventuell nicht vollständig kondensierte Kältemittel in dem Zwischenwärmetauscher durch Unterkühlung weiter abgekühlt, sodass das Kältemittel vollständig kondensiert. Die dabei abgegebene Wärme wird saugseitig dem Kältemittel wieder zugeführt. Dieses wird dadurch überhitzt.

Dieser Kältekreislauf hat gleich mehrere Vorteile: Die Überhitzung des Kältemittels vor dem Kompressor gewährleistet dauerhaft einen sicheren Betrieb für den Kompressor. Dadurch werden Kältemittelschläge sicherer vermieden, weil kein flüssiges Kältemittel in den Kompressor gelangt. Und die höhere Unterkühlung verbessert den Wirkungsgrad. Außerdem kann hierbei der Sammler entfallen.

### 3.3.2 Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Heißgasnutzung

Weiterhin werden einige Wärmepumpen mit einem zusätzlichen Wärmetauscher zur Heißgasnutzung ausgestattet (siehe Bild 3.12).



**Bild 3.12:** Wärmepumpe und deren Komponenten mit Heißgastechnik

Das heiße Gas, welches aus dem Kompressor austritt, hat in der Regel recht hohe Temperaturen – es ist also heiß. Damit lässt sich das Warmwasser entsprechend höher erwärmen. Es ist dabei zu beachten, dass, wenn im Wärmetauscher Heißgas das Kältemittel kondensiert, der Druck des Kältemittels zuvor entsprechend hoch sein muss. Dadurch würde der Gesamtwirkungsgrad der Wärmepumpe verringert, weil die Stromaufnahme des Kompressors entsprechend ansteigt. Wird in diesem Wärmetauscher „nur“ etwas Wärme zum Erhöhen der Warmwassertemperatur abgegeben, ist die abgegebene Wärmemenge entsprechend gering, denn erst durch die Änderung des Aggregatzustandes können große Wärmemengen abgegeben werden. Diese entspricht dann nur der Wärmemengenabgabe eines Gases, mit entsprechend für Gase typisch geringer spezifischer Wärmekapazität. Erst bei der Änderung des Aggregatzustandes kann eine entsprechend große Wärmemenge übertragen und abgegeben werden. Dies ist allein die Aufgabe des Verflüssigers.

### 3.3.3 Beispiel zum prinzipiellen Aufbau einer Wärmepumpe

Bild 3.13 zeigt den Aufbau einer typischen Wärmepumpe als Einzelgerät. Die einzelnen Komponenten sind gut erkennbar.

Einblick in das Innere einer **Geo-Max**<sup>®</sup>-Wärmepumpe:

#### Elektrotechnik

- ① Hauptschalter
- ② Wärmepumpenregler

#### Kältetechnik

- ③ 2-schaliges Stahlblechgehäuse, besonders schalldämmend
- ④ Verdampfer
- ⑤ Kondensator
- ⑥ Trockner
- ⑦ Chassis
- ⑧ Schauglas
- ⑨ Scroll-Verdichter
- ⑩ Sammler
- ⑪ Schwingungsdämpfer, 3-fach schwingungsgedämpft



**Bild 3.13:** Kältetechnik einer Wärmepumpe

Sie ist besonders leise durch das 2-schalige Stahlblechgehäuse mit innerem Lochblech und hochwertiger Schalldämmung plus 3-facher Schwingungsdämpfung.

Bei dieser Wärmepumpe ist die Kältetechnik von der Elektrotechnik räumlich gut getrennt. Im unteren Teil befindet sich die Kältetechnik und im oberen die Elektrotechnik. Für eventuelle Servicearbeiten sind alle Teile gut zugänglich.

Im oberen Teil dieser Wärmepumpe in Bild 3.14 befindet sich die Elektrotechnik mit einer durchgehenden Klemmleiste als Schnittstelle für alle elektrischen Anschlüsse.

- ① Leistungsschütze und
- ② Motorschutzschalter
- ③ Klemmleisten
- ④ Kabeldurchführungen



**Bild 3.14:** Elektrotechnik einer Wärmepumpe

Für die Regelung gibt es weitere Sicherheitseinrichtungen, wie Strömungswächter und ggf. Trockenlaufschutz (bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen) bzw. Strömungs- und/oder Druckwächter (bei Sole-Wasser-Wärmepumpen) sowie Motorschutzschalter.

- Besonders wichtig für nicht unterkellerte Häuser ist eine möglichst geringe Schallemission! Eine gut schalldämmte Wärmepumpe ist auch ein gutes Qualitätsmerkmal.

### 3.4 Der Regler

Jede Heizungswärmepumpe muss über einen Regler gesteuert werden. Dieser Regler übernimmt vielfältige und wichtige Aufgaben. In der Regel nicht nur zur Regelung der Wärmepumpe, sondern auch zur Regelung der gesamten Wärmepumpenanlage, einschließlich der Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung.

Die wesentliche Aufgabe eines Reglers ist die witterungsgeführte Regelung. Diese sorgt dafür, dass je nach Außentemperatur der Pufferspeicher respektive die Fußbodenheizung nur so weit aufgewärmt wird, wie es für den Wohnkomfort erforderlich ist. Würde die Heizungswassertemperatur höher erwärmt, müsste die Wärmepumpe mehr „pumpen“ und bräuchte dafür mehr Strom. Darüber hinaus sollten unbedingt individuelle Einstellmöglichkeiten für den Betreiber möglich sein. Der Betreiber sollte eine Möglichkeit haben, die Heiztemperatur am Regler einfach und bedienerfreundlich verändern zu können.

Die untere Abbildung zeigt einen Regler mit aufgeklapptem Deckel. Ist der Deckel zugeklappt, hat der Betreiber die Möglichkeit, am oberen Wahlschalter die gewünschte Betriebsart und am unteren Drehknopf die Temperatur um +3 °C vom Sollwert zu verändern.

Regler von *ELESTA*:

- ① Wahlschalter
- ② Temperatureinstellung
- ③ Display mit diversen Anzeigen
- ④ Schnittstelle



**Bild 3.15:** Regler einer Wärmepumpe



**Bild 3.16:** Fernbedienung

Moderne Wärmepumpen bieten mittlerweile noch etliche weitere Bedien- und Informationsmöglichkeiten.

Für den Anwender gibt es bei guten Reglern folgende Funktionen:

- Partyfunktion
- Ferienprogramm
- Kühlfunktion
- Abfrage diverser Parameter wie Wärmemengen, Laufzeiten etc.
- Abfrage der Jahresarbeitszahl
- und vieles mehr.

Für den Servicetechniker gibt darüber hinaus noch sogenannte „Serviceebenen“, in die man über einen Code gelangt. In dieser Ebene können anlagenspezifische Werte und Parameter eingegeben und geändert werden. In diese Serviceebene sollte jedoch nur der „Fachmann“ Zugriff haben, der den Regler genau kennt. Falsche Eingaben können zu Fehlfunktionen bis hin zum Ausfall der gesamten Wärmepumpenanlage führen!

Für kleinere Wärmepumpenanlagen sind o. g. Einstellmöglichkeiten völlig ausreichend.

Weiterhin übernimmt der Regler auch wichtige Überwachungsfunktionen. Grundsätzlich muss der Druck auf der Niederdruckseite sowie der Hochdruckseite überwacht werden. Darüber hinaus sollte der Regler auch über entsprechende Eingänge für Motorschutzschalter und andere Überwachungssensoren, z. B. Strömungswächter und Druckwächter, verfügen. So kann dann der Regler die gesamte Wärmepumpenanlage regeln, steuern und überwachen.

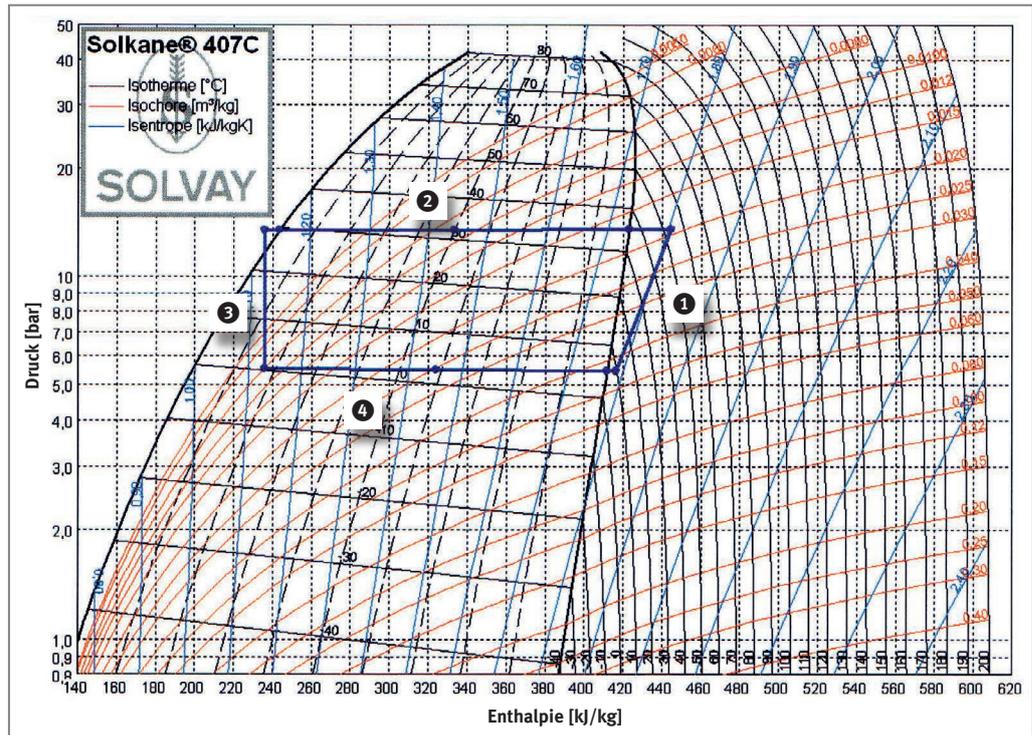
Es gibt jedoch komplexere Anlagen, deren Regelung ein Wärmepumpenregler, je nach Anwendungsfall, ebenfalls übernehmen sollte. Ein einfaches Beispiel: Ein Altbau mit einer Fußbodenheizung im Erdgeschoss und Heizkörper im Obergeschoss soll mit einer Wärmepumpe beheizt werden. Um die Wärmepumpenanlage optimal zu betreiben, sind zwei Pufferspeicher erforderlich. Ein Pufferspeicher, der mit niedriger Temperatur für die Fußbodenheizung (z. B. 40 °C), und

ein zweiter, der mit der höheren Temperatur für die Radiatoren (z. B. 50 °C) im Obergeschoss geladen wird. Dazu kommt natürlich noch der Warmwasserspeicher.

Darüber hinaus sollte ein Wärmepumpenregler für größere Wärmepumpenanlagen erweiterbar bzw. einsetzbar sein, z. B. für mehrere gemischte und ungemischte Heizkreise mit Fernbedienungen + Schwimmbad etc. Hier sind bei vielen Reglern sehr schnell die Grenzen der Möglichkeiten erreicht.

Der Betreiber muss die Möglichkeit haben, in jedem Raum über die Einzelraumregelung die Temperatur individuell und bedarfsgerecht einstellen zu können.

### 3.5 Der Kältekreislauf im p-h-Diagramm



**Bild 3.17:** Kreisprozess mit dem Kältemittel R 407C

① Das Kältemittel wird im Kompressor von ca. 5,5 bar auf ca. 14 bar verdichtet. Dabei erwärmt es sich von 5 °C auf 35 °C. ② Das Kältemittel strömt durch den Kondensator und gibt Energie ab. ③ Das Kältemittel strömt durch das E-Ventil und entspannt von ca. 14 bar auf 5,5 bar. Dabei kühlt es von 30 °C auf 0 °C ab. ④ Das Kältemittel strömt durch den Verdampfer und nimmt Energie auf.

- ① Bei den Betrachtungen beginnen wir mit dem Kompressor: In dem Kompressor wird das Kältemittel komprimiert und dabei stark erwärmt. Weil diese Zustandsänderung nahezu parallel der Isentropen (blaue Linien) verläuft, bezeichnet man diesen Vorgang als isentrope Zustandsänderung.
- ② Im Kondensator verflüssigt sich das Kältemittel. Dabei bleibt die Temperatur in etwa gleich. Daher spricht man hier von einer isothermen Zustandsänderung. Je weniger diese Zustandsänderung parallel zu den Isothermen verläuft, desto größer ist der Temperatur-Glide. Die Nachteile des Temperatur-Glides werden im nachfolgenden Kapitel diskutiert.
- ③ An dieser Stelle wird das Kältemittel durch das Expansionsventil gepresst. Es expandiert. Der Druck des Gases nimmt stark ab. Dabei kühlt das Kältemittel sehr stark ab und hat noch einen hohen Flüssigkeitsanteil.

- ④ Hier strömt das Kältemittel durch den Verdampfer. Dabei wird aus der Wärmequelle dem Kältemittel Wärmeenergie zugeführt. Dabei verdampft das Kältemittel bei nahezu gleichbleibender Temperatur vollständig. Daher stricht man hier ebenfalls von einer isothermen Zustandsänderung.

### 3.6 Das Kältemittel

Für Wärmepumpen gibt es verschiedene Kältemittel, die zum Einsatz kommen. Die einzusetzenen Kältemittel haben Vor- und auch Nachteile. So soll hier nur auf ein paar Merkmale dreier verschiedener Kältemittel eingegangen werden.

#### Das Kältemittel R 407C

Dieses Kältemittel wird sehr häufig für Wärmepumpen eingesetzt. Es ist ein Gemisch aus mehreren Gasen und wird durch die nachfolgend abgebildete Kurve beschrieben. Im Diagramm (Bild 3.18) ist der Kältekreislauf, z. B. für einen Heizbetrieb, erkennbar.

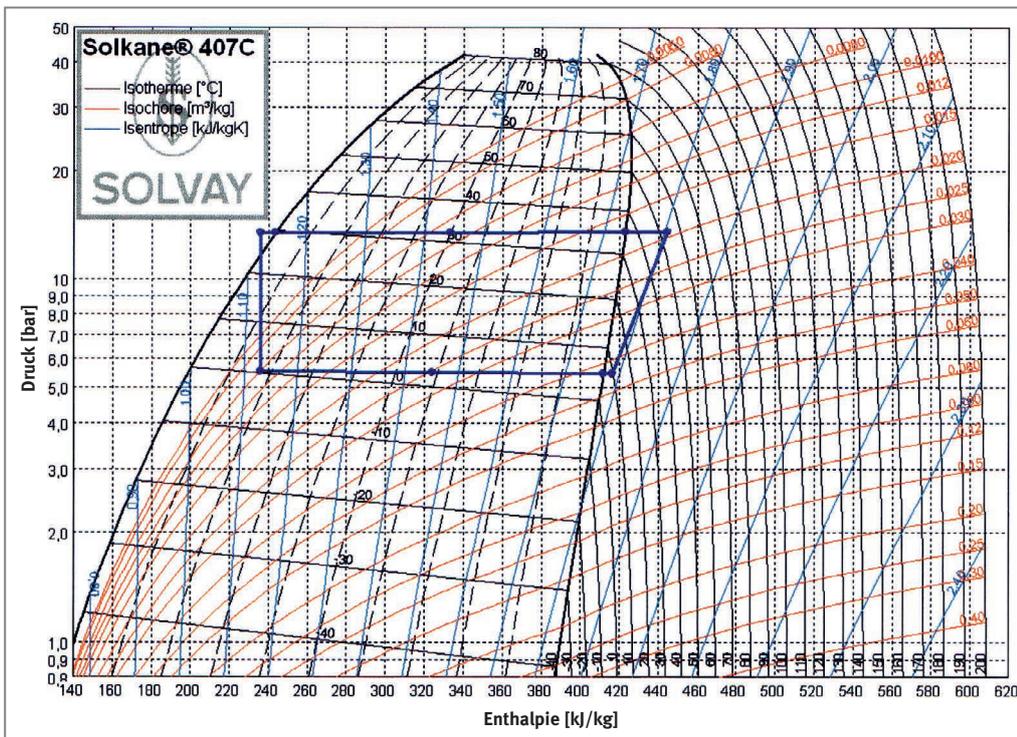
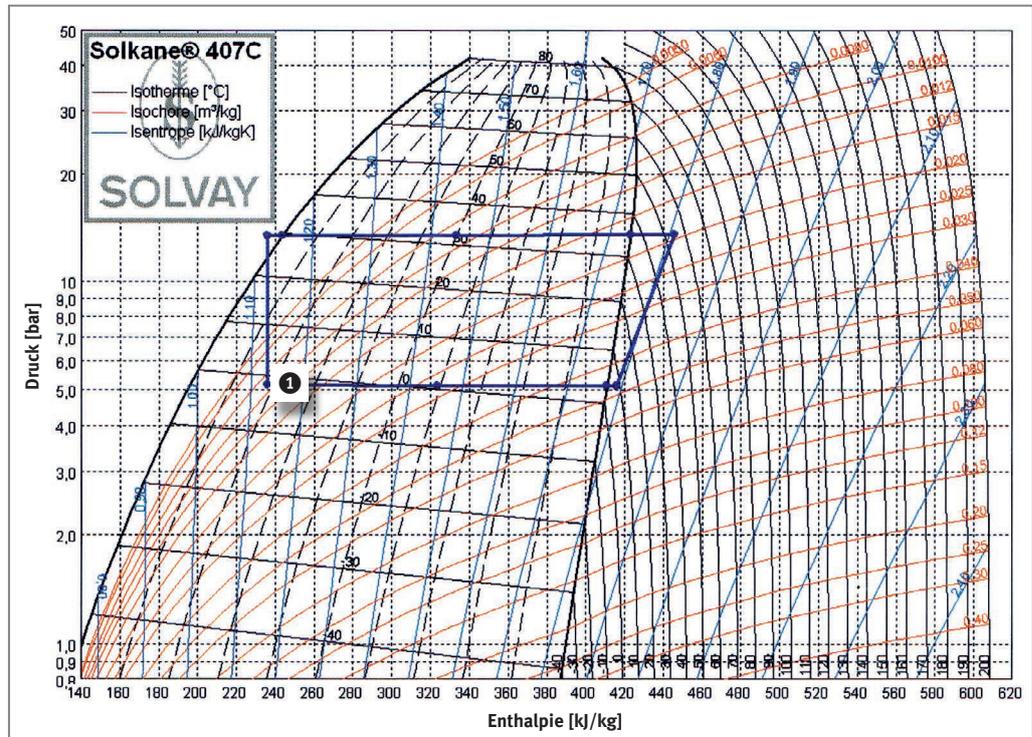


Bild 3.18: Das Kältemittel R 407C im Kreisprozess einer Wärmepumpe

Dieses Kältemittel R 407C verfügt über viele gute Eigenschaften, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Nachteilig ist jedoch das „Temperatur-Glide“ dieses Kältemittels. Im Bild 3.19 lässt sich erkennen, dass bei dem Kältemittel R 407C durch das Temperatur-Glide die Temperatur am Eintritt des Verdampfers sehr schnell unter 0 °C sinken kann. Hier ist erkennbar, dass die untere Linie des Kreisprozesses die 0 °C-Linie schneidet. Ab da, wo die 0 °C-Linie unterschritten wird, besteht Vereisungsgefahr!



**Bild 3.19:** Vereisung im Verdampfer möglich

❶ Dort, wo die Isotherme für 0 °C unterschritten wird, besteht Vereisungsgefahr im Verdampfer!

Anmerkung zum Temperatur-Glide:

Das Temperatur-Glide ist daran erkennbar, dass die Isotherme nicht parallel (waagrecht) zur Geraden des Verdampfers verläuft. Dies sieht bei vielen anderen Kältemitteln, wie z. B. beim Kältemittel R 134a, ganz anders aus (siehe nächste Abbildung). Hier verlaufen die Isothermen waagrecht.

Aus diesem Grunde stellt das Kältemittel R 407 C für Wasser-Wasser-Wärmepumpen ein Sicherheitsrisiko dar. Daher sind entsprechende Sicherheiten zu berücksichtigen, insbesondere bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen der Minstdurchfluss des Brunnenwassers. Ein in die Wärmepumpe integrierter Saugdruckregler kann hier ebenfalls das Risiko der Vereisung vermindern.

Für Sole-Wasser-Wärmepumpen bedeutet dies weniger ein Problem, weil die Sole durch ihr Frostschutzmittel (Antifogen N oder L) erst bei sehr niedrigen Temperaturen vereisen kann. Bei richtiger Mischung des Frostschutzmittels wird die Wärmepumpe dann eher aufgrund einer Niederdruckstörung abschalten.

Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Maximaltemperatur bei 30 bar etwa bei 65 °C begrenzt ist. Hier erreicht der Kompressor allmählich seine Leistungsgrenze. Ein entsprechender Hochdruckschalter schützt den Kompressor sowie auch den Verflüssiger vor Überlastung. Natürlich können bei höheren Drücken auch höhere Temperaturen erreicht werden, was in der Praxis jedoch bei diesem Kältemittel nicht sinnvoll ist.

Das Kältemittel R 134a

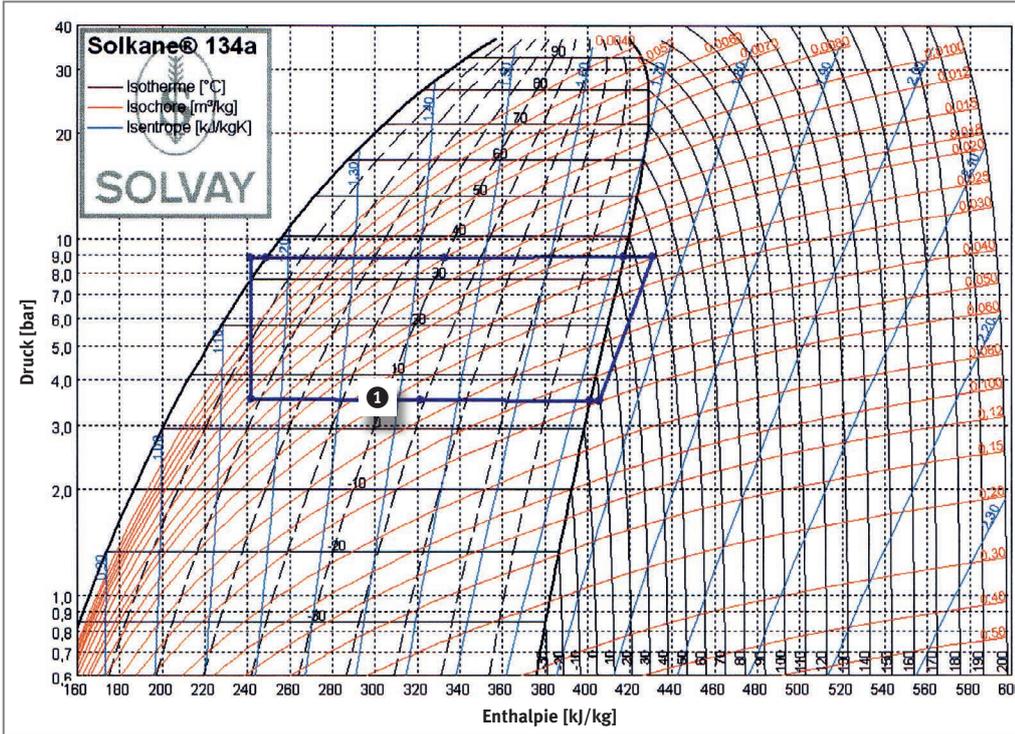


Bild 3.20: Kreisprozess mit dem Kältemittel R 134a

❶ Der Kältekreislauf im Diagramm Bild 3.20 zeigt, dass die Isothermen nahezu waagrecht verlaufen, weil dieses Kältemittel kein Temperatur-Glide hat. Es ist daher gut für Wasser-Wasser-Wärmepumpen geeignet.

Des Weiteren zeigt dieses Diagramm, dass mit diesem Kältemittel problemlos höhere Temperaturen erzielt werden können. Dies wäre für den Betrieb einer Wärmepumpe für hohe Vorlauf-temperaturen sehr vorteilhaft. Allerdings ist dabei zu beachten, dass sich der Wirkungsgrad der Wärmepumpe bei hohen Temperaturen erheblich reduziert.

Nachteilig ist bei diesem Kältemittel, dass sehr große Kompressoren benötigt werden. Dies erhöht den Preis, nicht nur den der Kompressoren, sondern auch der größeren Gehäuse.

Dieses Kältemittel wird daher nur bei wenigen Wärmepumpen eingesetzt.

### Das Kältemittel R 410A

Auch dieses Kältemittel wird oft bei Wärmepumpen eingesetzt. Es verfügt ebenfalls über viele gute Eigenschaften für den Betrieb einer Wärmepumpe.

Bei diesem Kältemittel verlaufen die Isothermen ebenfalls nahezu waagrecht (kein Temperatur-Glide), sodass auch dieses Kältemittel ebenfalls sehr gut für Wasser-Wasser-Wärmepumpen geeignet ist. Vorteilhaft ist bei diesem Kältemittel, dass die Kompressoren deutlich kleiner sind. Nachteilig sind die hohen Betriebsdrücke bis etwas über 40 bar. Deswegen müssen die Kondensatoren sowie der Verflüssiger und die nachfolgenden Komponenten für diese Drücke ausgelegt sein.

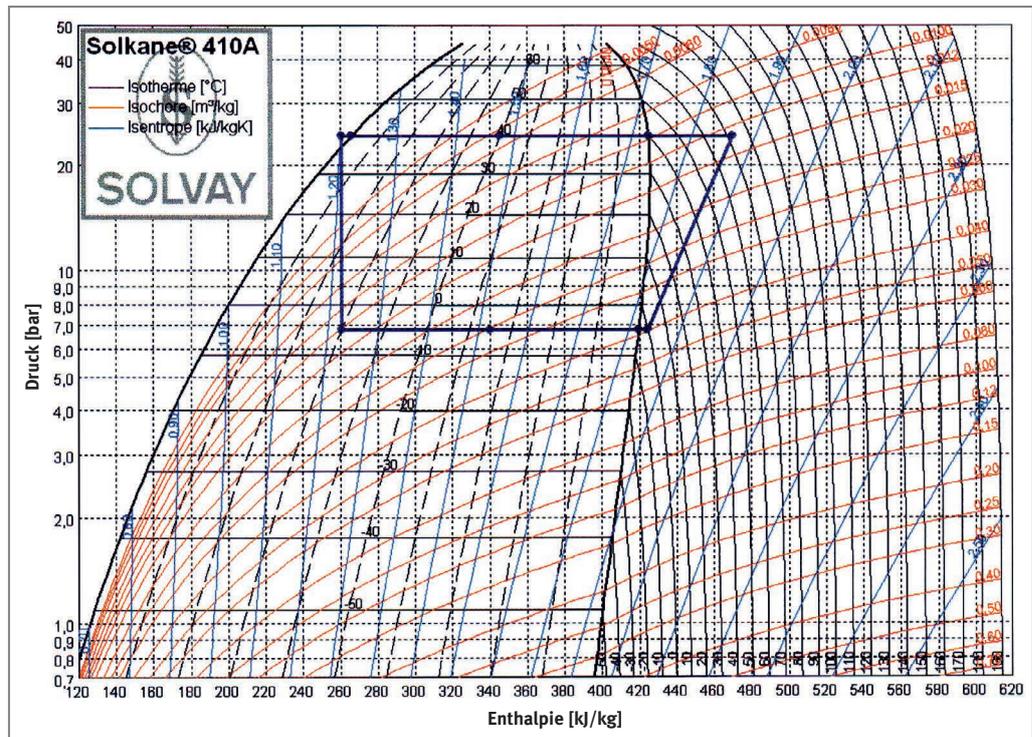


Bild 3.21: Kreisprozess mit dem Kältemittel R 410A

Vorteilhaft ist eine mögliche kleine Bauweise der Kompressoren. Dafür müssen die Wärmetauscher etwas größer und insbesondere für die höheren Drücke ausgelegt werden. Dies erhöht natürlich auch die Kosten der Wärmetauscher.

Des Weiteren dürfen gem. Chemikalien-Ozonschicht-Verordnung (ChemOzonSchichtV) nur chlorfreie bzw. FCKW-freie Kältemittel eingesetzt werden. Die ChemOzonSchichtV ist seit dem 12. Oktober 2006 gültig. Sie enthält chemikalien- und abfallrechtliche Regelungen, die darauf zielen, die Einträge von ozonschädlichen Stoffen zu mindern. Sie leistet daher einen wichtigen Beitrag zum Schutz der Ozonschicht. Diese ChemOzonSchichtV ist bei der Herstellung sowie bei Reparatur- und Wartungsarbeiten an Kältemaschinen zu beachten.

Mittlerweile sind auf dem Markt einige Kältemittel, z. B. R 507, nicht mehr erhältlich, weil deren CO<sub>2</sub>-Äquivalent zu hoch ist. Dies dient dem Umweltschutz, weil freigesetzte Kältemittel erheblich die Ozonschicht verstören, was unbedingt zu vermeiden ist – siehe Normen und Richtlinien.