

5 Feste Brennstoffe: Bereitstellung – Verbrennung – Kessel

5.1 Holz

5.1.1 Bereitstellung von Stückholz

Bevor Holz verbrannt werden kann, muss es erst austrocknen. Frisch geschlagenes Holz erreicht bei sachgemäßer Lagerung den Zustand „lufttrocken“ (ca. 20 % Restfeuchte) nach ca. 1...2 Jahren.

Wichtig für eine richtige Lagerung ist die Wahl des Lagerplatzes. Das Holzlager sollte sich an einer gut belüfteten, möglichst sonnigen und regen- geschützten Seite (Südseite) befinden (Bild 1). Damit das Holz schneller trocknet, sollte es im gebrauchsfertigen gespaltenen Zustand gelagert werden, weil Holzsplitte schneller trocknen als unge- spaltenes Holz.

Frisches Holz sollte nicht im Keller gelagert werden, weil es dort aufgrund fehlender oder unzu- reichender Belüftung nicht austrocknen kann.



1 Holzlager

5.1.2 Bereitstellung von Holzpellets

Grundsätzlich ist die Lagerung von Brennstoffen in der Musterfeuerungsverordnung (M-FeuVO) bzw. in den Feuerungsverordnungen der jeweiligen Bundesländer geregelt. Holzpellets werden zwar nicht ausdrücklich erwähnt, gehören aber zu den festen Brennstoffen. Grundsätzlich gilt, dass bei einer Lagermenge von weniger als 10 000 Litern oder 6,5 Tonnen (in einigen Bundesländern liegt die maßgebliche Menge bei 15 Tonnen) keine besonderen Brandschutzmaßnahmen zu beachten sind.

Bei sehr geringem Brennstoffbedarf können Holzpellets in Säcken und in Kartonagen auf Paletten

gekauft und bei Bedarf von Hand in den Vorratsbehälter des Kessels gefüllt werden. Ansonsten werden Holzpellets in besonderen Lagerräumen oder speziellen Fertiglagersystemen gelagert.

5.1.2.1 Pellet-Lagerräume

Grundsätzlich können neben Kellerräumen auch andere Räumlichkeiten, wie z. B. Garagen, Dachböden oder Nebengebäude zur Pelletlagerung verwendet werden. Wird beispielsweise die Heizung von Heizöl auf Pellets umgestellt, kann auch der vorhandene Öllagerraum zum Pelletlagerraum umgebaut werden.

Die Holzpellets werden im Tankwagen geliefert und über ein Schlauchsystem in den Lagerraum eingeblasen. Die Tankwagen verfügen über einen Pumpschlauch mit einer Länge von maximal 30 Metern. Die Befüllstutzen bzw. -kupplungen sollten deshalb max. 30 Meter von der Zufahrtmöglichkeit für Pellet-Tankwagen entfernt sein. Vorteilhaft ist, wenn der Lagerraum an die entsprechende Außenwand grenzt. Bei innen liegendem Lagerraum müssen die Einblas- und Abluftrohre bis an die Außenwand geführt werden.

5.1.2.1.1 Anforderungen an den Lagerraum

Das Volumen des Lagerraumes sollte so gewählt werden, dass die Brennstoffmenge für mindestens ein Jahr gelagert werden kann. Das notwendige Raumvolumen richtet sich nach der Heizlast des Gebäudes und kann mit folgender Faustformel berechnet werden:

$$V = \Phi_{HL} \cdot \frac{0,9 \text{ m}^3}{\text{kW}}$$

V: Lagerraumvolumen in m³

Φ_{HL} : Heizlast in kW

Bei einem Pelletlagerraum mit Schrägböden sind allerdings nur $\frac{2}{3}$ des Lagerraumvolumens nutzbar.

Der Lagerraum sollte möglichst trocken sein, da Pellets bei Berührung mit Wasser oder feuchten Wänden aufquellen, zerfallen und unbrauchbar werden. Bei Gefahr von feuchten Wänden ist eine hinterlüftete Vorwandschalung anzubringen oder ein Fertiglagersystem zu verwenden.

Wände und Decken müssen so beschaffen sein, dass die Pellets nicht durch Abrieb und Ablösungen verunreinigt oder beschädigt werden.

Die Umschließungsflächen müssen neben der Gewichtsbelastung durch die Pellets auch der Belastung von kurzzeitigen Druckschwankungen während der Befüllung Stand halten.

Der Lagerraum muss wegen der Staubentwicklung beim Einblasen gut abgedichtet sein.

Türen und Einstiegluken müssen sich nach außen öffnen lassen und mit einer umlaufenden, staubundurchlässigen Dichtung versehen sein. Auf der Innenseite der Türen und Luken sind Holzbretter anzubringen, damit die Pellets nicht dagegen drücken bzw. dass diese zur Restmengenkontrolle geöffnet werden können. Vorhandene Türschlösser sind staubdicht von innen zu verschließen.

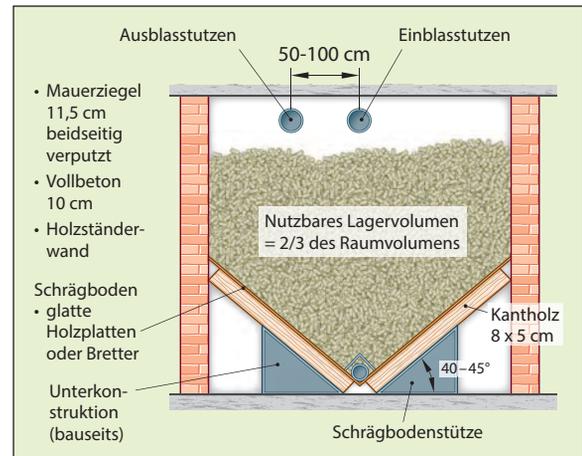
Im Pelletlager sollen weder Wasser führende Rohrleitungen noch elektrische Leitungen vorhanden sein. Bestehende und nicht entfernte Kaltwasserleitungen sind zu dämmen, um Schwitzwasserbildung zu vermeiden. Rohrleitungen, die sich im Füllstrom der Pellets befinden, sind zu verkleiden.

Im Pelletlager dürfen sich keine Elektroinstallationen wie z.B. Schalter befinden. Unvermeidbare Installationen sind luft- u. feuchtedicht sowie explosionsgeschützt auszuführen. Damit der Lagerraum komplett entleert werden kann, muss er in der Regel sowohl bei der Schneckenaustragung als auch bei der Sondenaustragung mit Schräglflächen mit 40°-Neigung versehen werden (Bild 1). Der Schrägboden soll zu den Umschließungsflächen dicht sein, damit keine Pellets in den Leerraum fallen. Zu beachten gilt:

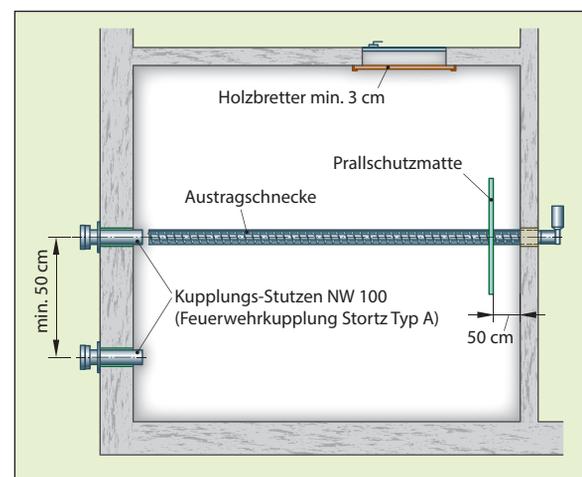
- Vor einer Neubefüllung sollten die Staubablagerungen an den Schrägen entfernt werden, da diese ein Nachrutschen der Pellets in die Entnahmevorrichtung erschweren.
- Vor Betreten des Lagerraumes ist die Pelletheizung und Fördereinrichtung abzuschalten, sowie die Zugangstür eine Viertelstunde vorher zu öffnen.
- Beim Säubern des Lagerraumes vom Pelletstaub sollte eine Staubmaske getragen werden
- Fördereinrichtungen und elektrische Betriebsmittel sind regelmäßig vom Pelletstaub zu befreien.

5.1.2.1.2 Ausführung des Befüllsystems

Für das Einblasen werden an der Außenwand gut zugänglich zwei Kupplungsstutzen aus Metall mit 100 mm Innendurchmesser benötigt. Zur optimalen Verteilung der Pellets sollte das Einblasen vor-



1 Lagerraum für Holzpellets



2 Pellet-Lagerraum

zugsweise über die schmalere Außenwand des Lagerraumes erfolgen. In diesem Fall werden der Einblasstutzen mittig und der Abluftstutzen seitlich davon angeordnet (Bild 2). Beide Stutzen sind in einem Abstand von ca. 15 bis 20 cm unter der Lagerraumdecke anzubringen.

Gegenüber dem Einblasstutzen ist eine Prallschutzplatte anzubringen, um ein Zerschellen der Pellets an der Wand oder ein Beschädigen des Putzes zu verhindern.

Einblasstutzen und Absaugstutzen sind deutlich zu kennzeichnen und mit einem mindestens 4 mm²-Kupferdraht über die Hauspotentialausgleichschiene zu erden. Beide Kupplungsstutzen sollten mit Deckeln verschlossen werden, die Lüftungsöffnungen von je 20 cm² freie Öffnungsfläche aufweisen, um einen Luftaustausch zwischen Pelletlager und Außenluft zu gewährleisten und damit eine gefährliche Kohlenmonoxidkonzentration (CO) im Lagerraum zu verhindern. Im Bereich der Kupp-

lungsstützen sollte ein ausreichender Arbeitsbereich vorhanden sein. Werden die Kupplungsstützen in einem Lichtschacht eingebaut, ist darauf zu achten, dass der Füllschlauch in gerader Linie aus dem Schacht geführt werden kann.

Die inneren Befüllleitungen sollten so kurz wie möglich gehalten werden und möglichst wenige Richtungsänderungen aufweisen. Anstelle von 90°-Bögen sind zwei 45°-Bögen mit Zwischenstück zu verwenden.

Lange Einblasstrecke und Richtungsänderungen (Bögen) erhöhen den Abrieb.

Für das Befüllsystem dürfen nur druckfeste Metallrohre eingesetzt werden. Bei Kunststoffrohren besteht die Gefahr der elektrostatischen Aufladung und Funkenbildung.

Rohre und Bögen müssen innen glattwandig sein, um ein Beschädigen der Pellets zu verhindern. Bei geschweißten Rohren dürfen auf der Innenseite keine Schweißnähte hervorstehen.

Das Befüllsystem darf mit keinem Bogen enden. Um ein gerades Ausblasen der Pellets zu erzielen, ist nach dem Bogen ein gerades Rohrstück von 30 cm bis 50 cm Länge anzubringen.

Der Pelletkessel ist mindestens eine Stunde vor der Befüllung abzuschalten.

5.1.2.1.3 Raumaustragungssysteme

Die Zuführung der Holzpellets zum Vorratsbehälter bzw. Kessel kann durch ein Schneckensystem oder ein pneumatisches System (Saugsystem) oder durch eine Schnecken-Saugkombination erfolgen.

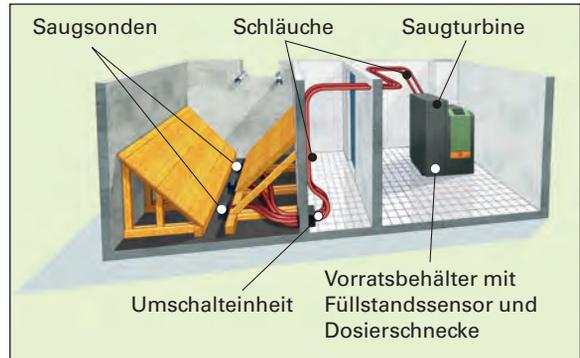
Schneckensystem

Voraussetzung für den Einsatz des Schneckensystems ist, dass der Lagerraum direkt neben dem Aufstellraum des Pelletkessels liegt. Mit der Förderschnecke werden die Pellets direkt zum Kessel transportiert. Damit der Lagerraum komplett entleert werden kann, sind Schrägböden mit 40°-Neigung erforderlich.

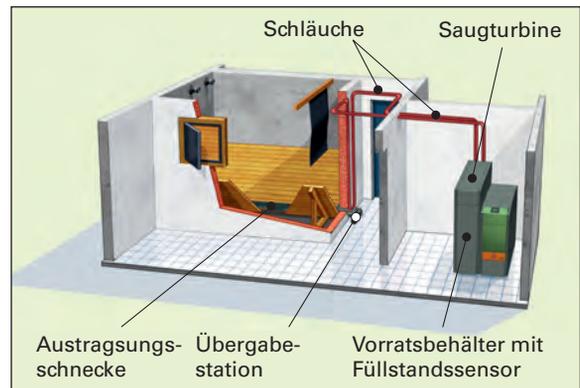
Saugsystem

Mit dem Saugsystem können Holzpellets über Entfernungen bis zu 30 m transportiert und Höhenunterschiede bis 6 m überwunden werden. Für kleine und quadratische Lagerräume eignet sich eine Punktabsaugung, die in der Mitte des Lagerraums angeordnet wird.

Bei größeren rechteckigen Lagerräumen werden häufig drei Saugsonden angeordnet und mit einer automatischen Umschalteneinheit zu einem System zusammengefasst (Bild 1). Der Lagerraum wird



1 Saugsystem mit drei Saugsonden



2 Saugsystem mit Austragungsschnecke

auf mindestens zwei Seiten mit einem 40°-Schrägboden versehen. Dieser garantiert einen störungsfreien Pellettransport und gewährleistet eine gute Entleerung des Lagerraumes.

Bei größeren Lagerräumen ohne Schrägböden werden bis zu acht Saugsonden im Raum verteilt, um eine gleichmäßige Entleerung sicherzustellen. Die außerhalb des Lagerraumes installierte Umschalteneinheit wechselt zudem automatisch zwischen den Sonden, damit eine gleichmäßige Entleerung möglich ist.

Schnecken-Saugkombination

Diese Austragungsvariante eignet sich für große oder längliche Lagerräume und größere Entfernungen (bis zu 30 m) zwischen Lagerraum und Kessel. Die Pellets werden mittels Austragungsschnecke aus dem Lagerraum in das Saugsystem und von diesem zum Kessel befördert (Bild 2). Die spezielle Form des Transporttrogs verhindert Überfüllstau und garantiert eine gleich bleibende und leicht transportierbare Fördermenge und die vollständige Entleerung des Lagers.

5.1.2.2 Fertiglagersysteme

Fertiglagersysteme beinhalten in der Regel neben dem eigentlichen Lagerbehälter auch die Befül-

lungseinrichtungen. Einige Ausführungen enthalten darüber hinaus auch die Entnahmevorrichtungen. Fertiglagersysteme werden zur Innen- und Außenaufstellung sowie zur unterirdischen Lagerung der Pellets angeboten.

5.1.2.2.1 Sacksilos/Gewebesilos

Sack-/Gewebesilos (Bild 1) bestehen aus reißfestem, antistatischem und staubdichtem Gewebe im Tragrahmen bzw. Gestell und haben ein Fassungsvermögen von 3 t bis 7 t; dies entspricht einer Heizöllagermenge von 1500 l bis 3500 l. Sie können sowohl im Aufstellraum des Heizkessels als auch in Nebenräumen oder Nebengebäuden aufgestellt werden. Bei Aufstellung im Freien ist auf einen stabilen Untergrund und allseitige Verkleidung zum UV- und Feuchtigkeitsschutz zu achten. Sack-/Gewebesilos können einfach und schnell aufgebaut werden und lassen sich sehr flexibel an die räumliche Situation anpassen. Darüber hinaus werden Pellets auf diese Weise trocken und staubfrei gelagert. Es ist nur ein Einblasstutzen mit Kupplung und Blinddeckel notwendig, da die Luft durch das Gewebe entweicht. Je nach Höhe des Aufstellraumes kann der Einblasstutzen oberhalb oder unterhalb des Stahlrohrgestells montiert werden.

5.1.2.2.2 Stahlblechtanks

Eine weitere Alternative für trockene und staubfreie Lagerung z. B. bei feuchten Kellerwänden sind Stahlblechtanks (Bild 2). Sie bestehen aus verzinktem Stahlblech und können in jedem Raum freistehend montiert werden.

Durch die Modulbauweise sind verschiedene Größen verfügbar. Der vorhandene Platz kann dadurch optimal ausgenutzt werden. Je nach verfügbarem Platz können 2 t bis 10 t Pellets gelagert werden.

5.1.2.2.3 Erdtanks (Erdsilos)

Die unterirdische Lagerung außerhalb des Gebäudes bietet sich an, wenn keine Lagermöglichkeit innerhalb des Hauses besteht. Erdtanks werden aus Beton oder Kunststoff angeboten (Bild 3). Sie müssen absolut wasserdicht sein. Die Entnahme erfolgt im Saugsystem entweder von oben über einen Pellet-Maulwurf (Bild 3 und Bild 1, nächste Seite) oder von unten. Erdtanks mit unterer Entnahme sind im unteren Bereich konus- oder trichterförmig, so dass die Pellets bis zum tiefsten Punkt nachströmen können. Je nach Hersteller werden die Pellets im Ansaugbereich z. B. durch Rückluft oder Rührwerke aufgelockert. Da Erdtanks luftdicht sind, muss die bei der Befüllung einströmende Einblasluft mittels Sauggebläse wieder abgesaugt werden.

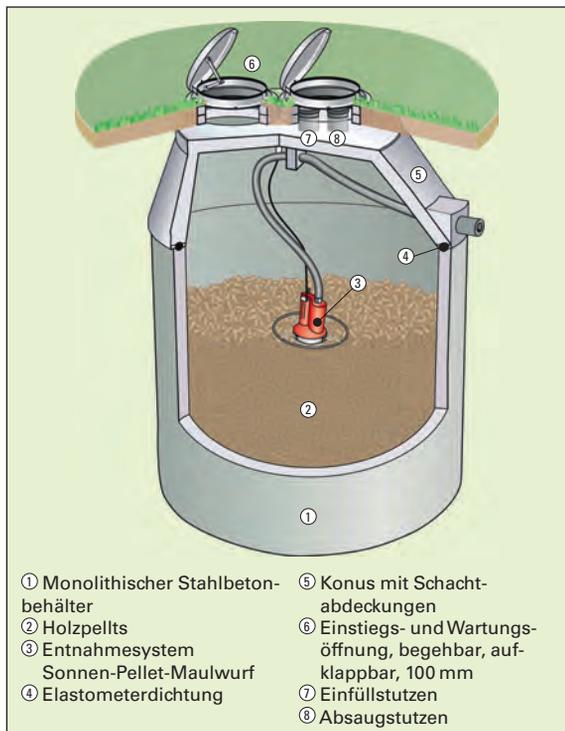
Durch die Lagerung der Pellets im Erdreich verliert man keinen Raum im Gebäude und Staub sowie Gerüche kommen beim Befüllen nicht ins Haus.



1 Gewebesilo



2 Stahlblechtank



3 Unterirdischer Holzpelletspeicher mit oberer Entnahme

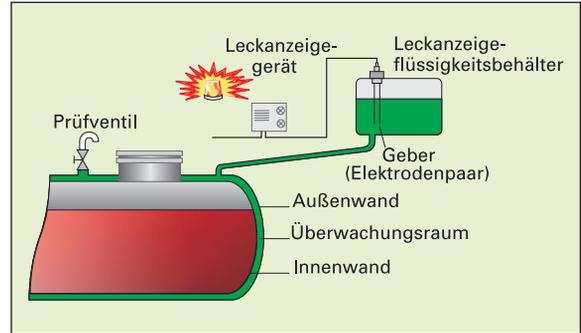
- | | |
|---|---|
| ① Monolithischer Stahlbetonbehälter | ⑤ Konus mit Schacht-abdeckungen |
| ② Holzpellets | ⑥ Einstiegs- und Wartungsöffnung, begehbar, aufklappbar, 100 mm |
| ③ Entnahmesystem Sonnen-Pellet-Maulwurf | ⑦ Einfüllstutzen |
| ④ Elastometerdichtung | ⑧ Absaugstutzen |

6.1.2.5 Leckanzeigergeräte

Bei doppelwandigen Öllagerbehältern und einwandigen Öllagerbehältern mit einer Kunststoff-Innenhülle wird der Raum zwischen den Wänden bzw. der Wand und der Hülle mit einem Leckanzeigergerät überwacht. Tritt eine Undichtigkeit an einer Behälterwand bzw. an der Hülle auf, löst das Gerät Alarm aus. Die zweite, noch intakte Wand bzw. Hülle verhindert ein Auslaufen des Heizöls.

Leckanzeigergeräte, die den Zwischenraum mithilfe einer **Kontrollflüssigkeit** überwachen (Bild 1), werden bei doppelwandigen Öllagerbehältern eingesetzt. Oberhalb des Öllagerbehälters ist ein Kontrollflüssigkeitsbehälter angebracht, der mit dem Zwischenraum verbunden ist. In die Flüssigkeit des Kontrollbehälters tauchen zwei Elektroden ein. Sinkt bei einer Leckage an einer Behälterwand der Flüssigkeitsspiegel im Kontrollbehälter unter die Elektrodenspitzen ab, wird durch die Widerstandsänderung am Signalteil ein optischer und akustischer Alarm ausgelöst.

Daneben gibt es Leckanzeigergeräte zur Überwachung doppelwandiger Behälter, die im Zwi-



1 Leckanzeigergerät

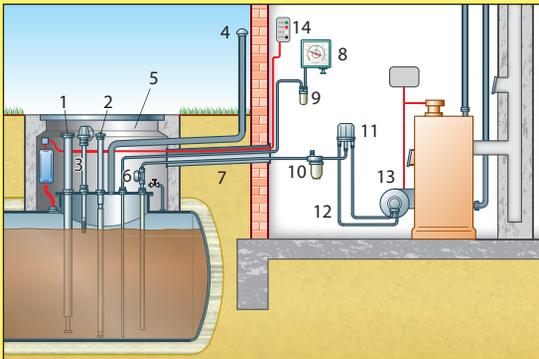
chenraum einen **positiven Überdruck** erzeugen. Fällt dieser bei einem Leck unter einen Mindestwert, wird Alarm ausgelöst.

Leckanzeigergeräte die im Zwischenraum einen **negativen Überdruck** erzeugen, werden bei doppelwandigen Behältern und einwandigen Behältern mit Kunststoff-Innenhülle eingesetzt. Bei einer Undichtigkeit der Außen- oder Innenwand bzw. Innenhülle bricht der negative Überdruck zusammen und Alarm wird ausgelöst.

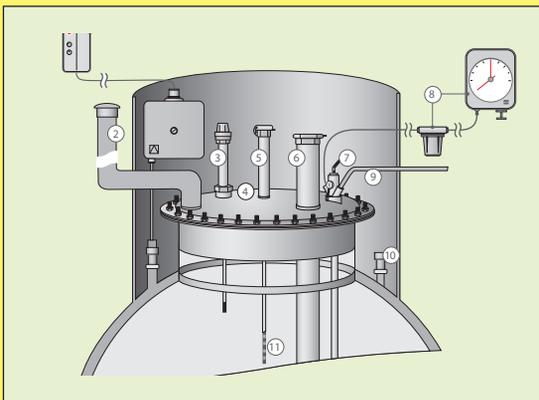
Übungen

1. Nennen Sie zwei grundsätzliche Anforderungen, die an Anlagen zur Lagerung von Heizöl gestellt werden.
2. Welche Öllagerbehälter sind zur unterirdischen Lagerung von Heizöl im Freien zugelassen?
3. Geben Sie Einbauvorschriften unterirdischer Öllagerbehälter an.
4. Welche Behälter werden zur Heizöllagerung im Freien eingesetzt?
5. Wie viele Liter Heizöl dürfen im Aufstellraum des Heizkessels gelagert werden?
6. Geben Sie fünf bauliche Bedingungen an, die ein Heizöllagererraum erfüllen muss.
7. Nennen Sie Anforderungen, die an eine bauseitige Auffangwanne gestellt werden.
8. Welche Lagerbehälter werden zur Heizöllagerung in Gebäuden verwendet?
9. Erläutern Sie die Unterschiede zwischen kommunizierenden und nicht kommunizierenden Batteriebehältern.
10. Drei oberirdische Öllagerbehälter sind in einer Auffangwanne aufgestellt. Sie hat eine Länge von 2,80 m und eine Breite von 2,50 m.
 - a) Bestimmen Sie die Mindesthöhe des Schutzanstrichs, wenn es sich um kommunizierende Behälter handelt und das Volumen eines Behälters 1500 l beträgt.
 - b) Bestimmen Sie die Mindesthöhe des Schutzanstrichs, wenn es sich um nicht kommunizierende Behälter handelt und das Volumen eines Behälters 2000 l beträgt.
11. Welche Anforderungen werden an die Füllleitung gestellt?
12. Wozu dient die Lüftungsleitung?
13. Wie ist die Lüftungsleitung zu dimensionieren?
14. Auf welcher Höhe ist die Mündung der Lüftungsleitung bei Öllagerbehältern in Kellerräumen vorzusehen?
15. Welche Rohrwerkstoffe werden für die Ölleitungen verwendet?
16. Wonach richtet sich die Dimensionierung der Entnahmeleitung (Saugleitung)?
17. Welchen Vorteil hat die schwimmende Ansaugung?
18. Nennen Sie drei verschiedene Ölstandanzeiger.
19. Erklären Sie das Funktionsprinzip eines pneumatischen Ölstandsanzeigers.
20. Welche Aufgabe erfüllt der Grenzwertgeber.
21. Beschreiben Sie die Wirkungsweise des Grenzwertgebers.
22. Nennen Sie drei verschiedene Arten von Leckanzeigergeräten.
23. Beschreiben Sie das Funktionsprinzip der Leckanzeigergeräte, die den Zwischenraum mithilfe einer Kontrollflüssigkeit überwachen.

24. Bezeichnen Sie die nummerierten Leitungen und Zubehörteile des abgebildeten unterirdischen Heizöllagerbehälters.

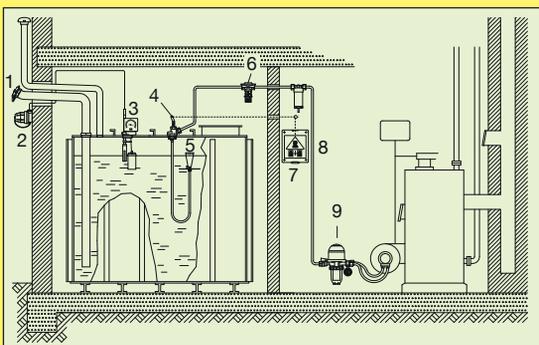


25. Bezeichnen Sie die nummerierten Leitungen und Zubehörteile des doppelwandigen Stahlbehälters mit Leckanzeigergerät.



26. Ein standortgefertigter einwandiger Heizöllbehälter mit einer Länge von 2,50 m, einer Breite von 2,00 m und einer Höhe von 1,80 m soll in einer Auffangwanne aufgestellt werden. Bestimmen Sie die Mindestabmessungen.

27. Bezeichnen Sie die nummerierten Leitungen und Zubehörteile des abgebildeten standortgefertigten Stahlbehälters.

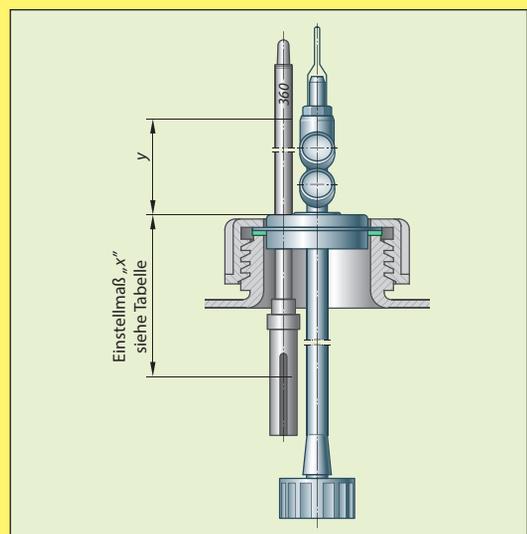


28. Ermitteln Sie mithilfe der folgenden Tabelle das Einstellmaß x für den Grenzwertgeber

a) wenn drei verbundene (kommunizierende) Batteriebehälter einreihig aufgestellt sind und das Volumen eines Behälters 2000 l beträgt.

b) wenn in zwei verbundenen (kommunizierenden) Batteriebehältern im Aufstellraum der Feuerstätte insgesamt 3000 l gelagert werden.

Tank-Anzahl	Tank-Inhalt in m ³	Einstellmaß x in mm	Kontrollmaß y in mm
1	1,0	329	21
	1,1	285	65
	1,5	271	79
	1,665	260	90
	2,0	240	110
	2,5	281	69
	3,0	258	92
	4,0	218	132
2	2,0	293	57
	2,2	250	100
	3,0	243	107
	3,3	240	110
	4,0	226	124
	5,0	260	70
	6,0	262	88
	8,0	202	148
3	3,0	258	92
	3,3	239	111
	4,5	236	114
	4,995	220	130
	6,0	226	124
	7,5	279	71
	9,0	263	87
12,00	202	148	



2.3 Wärmelehre (Kalorik)

2.3.1 Temperatur

Die Temperatur spielt in der Heizungs- und Klimatechnik eine bedeutende Rolle. An vielen Stellen wird sie gemessen (z. B. Außentemperatur, Raumtemperatur, Vorlauftemperatur), überwacht (z. B. höchstzulässige Vorlauftemperatur, Mindesttemperatur wegen Frostgefahr) und geregelt.

Die Temperatur ist ein Maß für den Wärmezustand eines Körpers.

Wird einem Stoff Energie zugeführt, erhöht sich dessen Temperatur und damit auch die Bewegungsenergie der Moleküle bzw. Atome (Brown'sche¹⁾ Molekularbewegung) (Bild 1). Je niedriger die Temperatur eines Stoffes ist, desto geringer ist die Molekularbewegung, bis sie schließlich bei $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$ (**absoluter Nullpunkt**) völlig aufhört.

2.3.1.1 Temperaturskalen

Celsiuskala

In den meisten Ländern der Erde wird die von Andreas Celsius²⁾ aufgestellte und nach ihm benannte Celsiuskala (Bild 2) benutzt. Bei ihr entspricht

- 0 °C dem **Gefrierpunkt von Wasser** bzw. dem **Schmelzpunkt von Eis** und
- 100 °C dem **Siedepunkt von Wasser** bzw. dem **Kondensationspunkt von Wasserdampf** bei einem Druck von 1013 mbar.

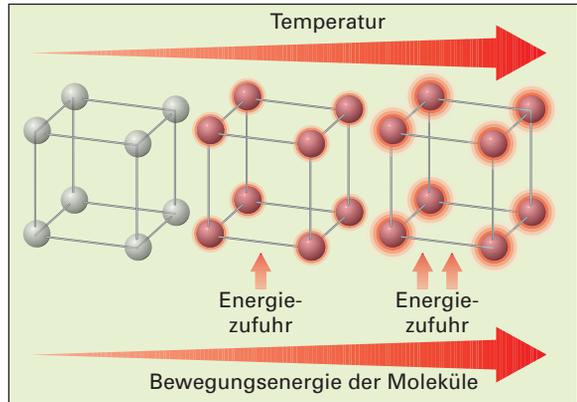
Der Bereich zwischen diesen beiden Temperaturpunkten ist in 100 gleiche Teile aufgeteilt. Temperaturen oberhalb 0 °C werden mit einem Pluszeichen (z. B. $+20\text{ °C}$) und Temperaturen unterhalb 0 °C mit einem Minuszeichen (z. B. -10 °C) versehen. Für Temperaturen in Grad Celsius (°C) werden die Formelzeichen ϑ , θ (Klein-Theta mit unterschiedlichen Schreibweisen) oder t verwendet.

Kelvinskala

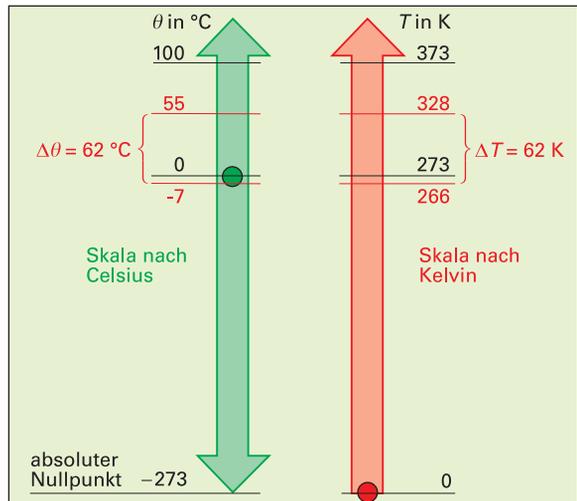
In der Wissenschaft und häufig auch in der Technik wird statt der Celsiuskala die **thermodynamische Temperaturskala** verwendet. Hierbei wird die Temperatur in **Kelvin**³⁾ angegeben (Bild 2). Die Einheit Kelvin (Einheitenzeichen K) ist im internationalen Einheitensystem (SI-System) die Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur.

Die Kelvinskala wird auch **absolute Temperaturskala** genannt, weil sie vom absoluten Nullpunkt

¹⁾ Robert Brown, britischer Botaniker, 1773–1858
²⁾ Anders Celsius, schwedischer Astronom, 1701–1744
³⁾ Lord William Thomas Kelvin, britischer Mathematiker und Physiker, 1824–1907



1 Bewegungsenergie der Moleküle



2 Temperaturskalen

der Temperatur ($\Delta 0\text{ K}$) ausgeht. Negative Kelvin-Temperaturen sind folglich nicht möglich.

Die Kelvinskala der thermodynamischen Temperatur kennt nur positive Temperaturwerte.

$$T = (\vartheta + 273)\text{ K}$$

T : thermodynamische Temperatur in K
 ϑ : Celsius-temperatur in °C

Temperaturdifferenzen werden im Allgemeinen in K angegeben, können aber auch in °C angegeben werden. Ein Temperaturunterschied von 1 K ist gleich dem von 1 °C . Es gilt die Beziehung:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \Delta\theta = \vartheta_2 - \vartheta_1$$

ΔT : Temperaturdifferenz in K
 T_2 : höhere Temperatur in K
 T_1 : niedrigere Temperatur in K
 $\Delta\theta$: Temperaturdifferenz
 ϑ_2 : höhere Temperatur in °C
 ϑ_1 : niedrigere Temperatur in °C

Beispiel:

- a) Wie viel K entsprechen 55 °C?
- b) Wie viel °C entsprechen 294 K?

Lösung:

- a) $T = (\theta + 273) \text{ K}$
 $T = (55 + 273) \text{ K}$
 $T = 328 \text{ K}$
- b) $\theta = (T - 273) \text{ °C}$
 $\theta = (294 - 273) \text{ °C}$
 $\theta = 21 \text{ °C}$

2.3.2 Thermische Ausdehnung

Die meisten Stoffe (z. B. Luft, Alkohol, Stahl) dehnen sich bei Erwärmung in alle Richtungen gleichmäßig aus und ziehen sich bei Abkühlung wieder zusammen. Diese Eigenschaft macht man sich bei der Messung von Temperaturen zunutze (vgl. Kap. 2.3.3). Die thermische Ausdehnung muss auch berücksichtigt werden, wenn in einem technischen System (z. B. Niederdruckdampfanlage) große Temperaturunterschiede vorkommen. In längeren Rohrleitungen ohne Richtungsänderungen müssen deshalb Dehnungsausgleicher (Bild 1) eingebaut werden.

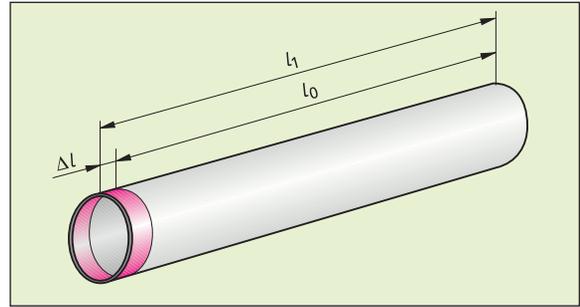
Die thermische Ausdehnung eines Körpers (Bild 2) hängt ab von seinem Werkstoff, der Temperaturdifferenz und seiner Länge bzw. seinem Volumen.

Die werkstoffspezifische **Längenänderung** eines Stoffes beschreibt der **Längenausdehnungskoeffizient** α_l (Bild 3) und seine **Volumenänderung** beschreibt der **Volumenausdehnungskoeffizient** α_v .

Der Längenausdehnungskoeffizient α_l eines Stoffes gibt an, um welchen Bruchteil eines m er sich bei Erwärmung um 1 K pro 1 m Länge ausdehnt.



1 Dehnungsausgleicher



2 Längenausdehnung

Werkstoff	α_l in $\frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}} = \frac{1}{\text{K}}$	Werkstoff	α_l in $\frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}} = \frac{1}{\text{K}}$
Aluminium	0,000023	Polyethylen	0,000200
Beton	0,000013	Polypropylen	0,000195
Blei	0,000029	PVC	0,000080
Glas	0,000010	Verbundrohr	
Gusseisen	0,000011	PE-X/AL/PE-HD	0,000026
Kupfer	0,000016	Stahl	0,000011
Messing	0,000018	Zink	0,000029

3 Längenausdehnungskoeffizienten verschiedener Werkstoffe

Mit dem Längenausdehnungskoeffizienten α_l wird gerechnet, wenn die Ausdehnung in eine Richtung gelenkt wird (z. B. Fadenthermometer) oder wenn nur die Längenänderung bedeutsam ist (thermische Ausdehnung von Rohrleitungen).

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha_l \cdot \Delta \theta$$

l_0 : Anfangslänge in m
 l_1 : Länge nach Ausdehnung in m
 Δl : Längenänderung in m
 α_l : Längenausdehnungskoeffizient in $\frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}} = \frac{1}{\text{K}}$
 $\Delta \theta$: Temperaturdifferenz in K

$$l_1 = l_0 + \Delta l$$

Beispiel:

Ein Stahlrohr von 8 m Länge wird von 10 °C auf 90 °C erwärmt. Um wie viele mm dehnt es sich aus?

Lösung:

geg.: $l_0 = 8 \text{ m}$; $\Delta \theta = 80 \text{ K}$;

$$\alpha_l = 0,000011 \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

(vgl. Seite 18; Tabelle Bild 2)

ges.: Δl in mm

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha_l \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta l = 8 \text{ m} \cdot 0,000011 \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 80 \text{ K}$$

$$\Delta l = 0,00704 \text{ m}$$

$$\Delta l = 7,04 \text{ mm}$$

8 Energieeinsparung, erneuerbare Energien

8.1 Energieeinsparverordnung (EnEV)

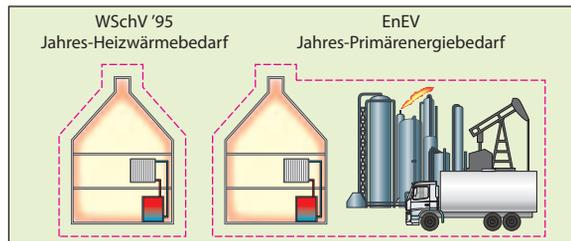
Die am 1. Februar 2002 erstmals in Kraft getretene und zuletzt am 1. Mai 2014 novellierte Energieeinsparverordnung (EnEV) ist Teil eines von der damaligen Bundesregierung verabschiedeten **Klimaschutzprogramms** und steht in einer Reihe mit weiteren Maßnahmen zur **Begrenzung** des CO₂-Ausstoßes. Hinsichtlich des Energieverbrauchs für Wohnraumbeheizung und Trinkwarmwasserbereitung sollte damit bei Neubauten bis Ende 2010 gegenüber dem damaligen Stand eine Qualitätssteigerung von ca. 30 % erreicht werden. Verbindlich vorgeschriebene Planungs- und Projektierungsverordnungen legen **Mindeststandards** fest, auf deren Grundlage im **bedarfbezogenen Energieausweis** Aussagen über die Qualität des Bauwerks sowie der Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung getroffen werden. Mit dem erstmaligen Erscheinen der EnEV wurde ein neuer Weg bei der Bilanzierung der Energien beschränkt: Es wird nicht mehr ausschließlich der Energiebedarf in der Gebäudehülle betrachtet, sondern der Brennstoff von seiner Förderung bis zur eigentlichen Verwertung einschließlich sämtlicher Umwandlungswirkungsgrade (Bilder 1 und 2). Im Gegensatz zur damaligen Wärmeschutzverordnung steht nicht mehr der benötigte Heizwärmebedarf, sondern der **zulässige Primärenergiebedarf**¹⁾ eines Gebäudes im Vordergrund. Nach der Projektierung des Gebäudes und seiner Haustechnik kann eine Aussage über den Bedarf an Primärenergie und die Qualität der Gebäudehülle gemacht werden. Diese Daten bzw. Kennwerte werden in einen Energieausweis übertragen, der bei einem Eigentümer- und Mieterwechsel dem neuen Eigner/Mieter auf Verlangen ausgehändigt wird. Energieausweise für Wohngebäude ab Baujahr 1965 sind seit dem 01. 01. 2009 Pflicht.

Der Energieausweis wird in zwei Hauptvarianten angeboten:

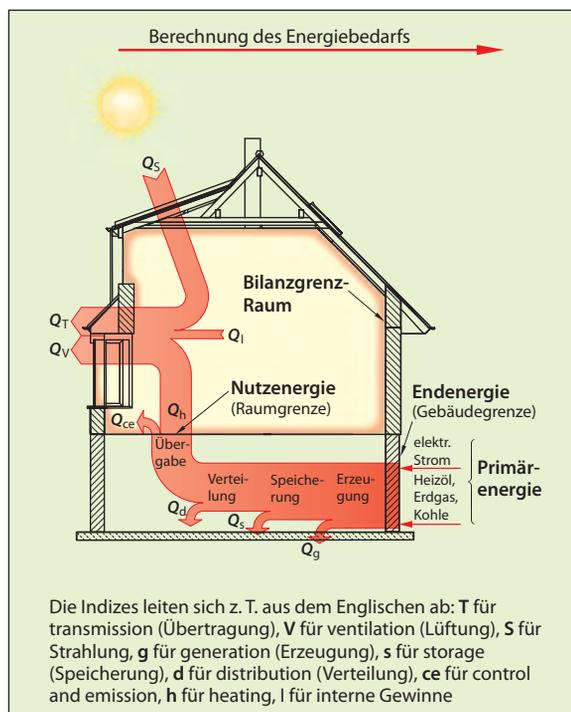
- Energieausweis für Wohngebäude
- Energieausweis für Nichtwohngebäude

Diese werden unterteilt in

- bedarfsbezogener Energieausweis; der Primärenergiebedarf wird über Normenwerke berechnet (Bild 1, nächste Seite sowie Bild 1+2, übernächste Seite).
- verbrauchsbezogener Energieausweis (Bild 1, nächste Seite); bestehende Gebäude können z.T. nach Verbrauch beurteilt werden. Ein direkter Vergleich mit Referenzgebäuden ist hier schwierig, da das Nutzerverhalten eine große Rolle spielen kann.



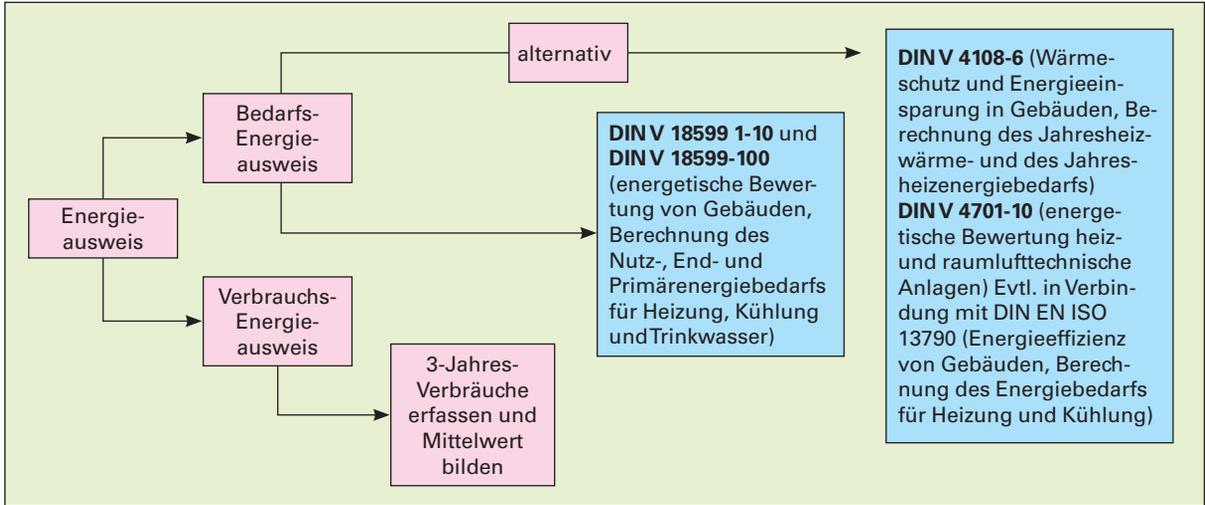
1 Gesamtbilanzierung des Energiebedarfs von Gebäuden nach EnEV



2 Berechnung des Energiebedarfs nach DIN V 4701-10

Energieausweise können für bereits bestehende Häuser in den meisten Fällen verbrauchsbezogen oder alternativ bedarfsbezogen ausgestellt werden. Bei der verbrauchsbezogenen Ermittlung der Energien werden die letzten (zusammenhängenden) 36 Monate herangezogen, wobei das Jahresmittel gebildet wird. Energieausweise für neu zu erstellende Gebäude müssen immer bedarfsbezogen ausgestellt werden, d. h. es sind umfangreiche Berechnungen erforderlich (Bild 1, übernächste Seite).

¹⁾ Bedarf an der Energie, die vor der Umwandlung in die Sekundärenergie (z. B. Heizöl EL, Flüssiggas, Koks, Strom) benötigt wird, wie z. B. Öl, Naturgas, Kohle und Uran.



1 Möglichkeiten der Datenermittlung für den Energieausweis

Übungen

- Erläutern Sie, zu welchem Zweck die EnEV geschaffen wurde.
- Was hat sich bei der Betrachtung der Energiebilanzen nach alter und neuer Rechenweise verändert?
- Nennen Sie die einzelnen Energiemengen, die an dem Prozess der Wärmeübergabe an den Raum und an dessen Verlusten beteiligt sind und erläutern Sie deren Kurzzeichen.
- Nennen Sie die unterschiedlichen Energieausweise.
- Machen Sie den Unterschied zwischen dem Bedarfs-Energieausweis und dem Verbrauchs-Energieausweis deutlich.

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 1. 2014

Gültig bis:

1

Registrierungsnummer: ²

(ober-, Registrierungsnummer wurde beantragt am...)

Gebäude		Gebäudefoto (freiwillig)
Gebäudetyp		
Adresse		
Gebäudeteil		
Baujahr Gebäude ³		
Baujahr Wärmeerzeuger ^{3, 4}		
Anzahl Wohnungen		
Gebäudenutzfläche (A _N)	□ nach § 19 EnEV aus der Wohnfläche ermittelt	
Wesentliche Energieträger für Heizung und Warmwasser ³		
Erneuerbare Energien	Art	Verwendung:
Art der Lüftung/Kühlung	<input type="checkbox"/> Fensterlüftung <input type="checkbox"/> Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung <input type="checkbox"/> Anlage zur Schachtlüftung <input type="checkbox"/> Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung <input type="checkbox"/> Kühlung	<input type="checkbox"/> Sonstiges (freiwillig)
Anlass der Ausstellung des Energieausweises	<input type="checkbox"/> Neubau <input type="checkbox"/> Modernisierung (Änderung/Erweiterung)	<input type="checkbox"/> Vermietung/Verkauf (freiwillig)

Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes

Die energetische Qualität eines Gebäudes kann durch die Berechnung des **Energiebedarfs** unter Annahme von standardisierten Randbedingungen oder durch die Auswertung des **Energieverbrauchs** ermittelt werden. Als Bezugsfläche dient die energetische Gebäudenutzfläche nach der EnEV, die sich in der Regel von den allgemeinen Wohnflächenangaben unterscheidet. Die angegebenen Vergleichswerte sollen überschlägliche Vergleiche ermöglichen (**Erläuterungen – siehe Seite 5**). Teil des Energieausweises sind die Modernisierungsempfehlungen (**Seite 4**).

- Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Berechnungen des **Energiebedarfs** erstellt (**Energiebedarfsausweis**). Die Ergebnisse sind auf **Seite 2** dargestellt. Zusätzliche Informationen zum Verbrauch sind freiwillig.
- Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Auswertungen des **Energieverbrauchs** erstellt (**Energieverbrauchsausweis**). Die Ergebnisse sind auf **Seite 3** dargestellt.

Datenerhebung Bedarf/Verbrauch durch Eigentümer Aussteller

Dem Energieausweis sind zusätzliche Informationen zur energetischen Qualität beigefügt (freiwillige Angabe).

Hinweise zur Verwendung des Energieausweises

Der Energieausweis dient lediglich der Information. Die Angaben im Energieausweis beziehen sich auf das gesamte Wohngebäude oder den oben bezeichneten Gebäudeteil. Der Energieausweis ist lediglich dafür gedacht, einen überschläglichen Vergleich von Gebäuden zu ermöglichen.

Aussteller

Ausstellungsdatum

Unterschrift des Ausstellers

¹ Datum der angewendeten EnEV, gegebenenfalls angewendeten Änderungsverordnung zur EnEV ² Bei nicht rechtzeitiger Zuteilung der Registrierungsnummer (§ 17 Absatz 4 Satz 4 und 5 EnEV) ist das Datum der Antragstellung einzutragen, die Registrierungsnummer ist nach deren Eingang nachträglich einzusetzen. ³ Mehrfachangaben möglich

2 Energieausweis; Datenblatt des Gebäudes (aus: Energieeinsparverordnung 2013 (gültig ab Mai 2014))

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 1. []

Erläuterungen

5

Angabe Gebäudeteil – Seite 1

Bei Wohngebäuden, die zu einem nicht unerheblichen Anteil zu anderen als Wohnzwecken genutzt werden, ist die Ausweisung des Energieausweises gemäß dem Muster nach Anlage 6 auf das Gebäudeteil zu beschränken, der getrennt als Wohngebäude zu behandeln ist (siehe im Einzelnen § 22 EnEV). Dies wird im Energieausweis durch die Angabe „Gebäudeteil“ deutlich gemacht.

Erneuerbare Energien – Seite 1

Hier wird darüber informiert, wofür und in welcher Art erneuerbare Energien genutzt werden. Bei Neubauten enthält Seite 2 (Angaben zum EEWärmeG) dazu weitere Angaben.

Energiebedarf – Seite 2

Der Energiebedarf wird hier durch den Jahres-Primärenergiebedarf und den Endenergiebedarf dargestellt. Diese Angaben werden technisch ermittelt. Die angegebenen Werte werden auf der Grundlage der Baunormen (z.B. gebäudebezogener Primärenergiebedarf, Standardisierter Wärmeenergieverbrauch) und B-Standards (Klimatisierung, Lüftung, Verfeuchten, standardisierte Innentemperatur und im wesentlichen Gewinn usw.) berechnet. So lässt sich die energetische Qualität des Gebäudes unabhängig vom Nutzerverhalten und von der Weitergabe beurteilen. Insbesondere wegen der standardisierten Randbedingungen, insbesondere wegen der standardisierten Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch.

Primärenergiebedarf – Seite 2

Der Primärenergiebedarf bildet die Energieeffizienz des Gebäudes ab. Er berücksichtigt neben der Endenergie auch die so genannte „Vorkette“ (Erkundung, Gewinnung, Verteilung, Umwandlung) der jeweils eingesetzten Energieträger (z. B. Heizöl, Gas, Strom, erneuerbare Energien etc.). Ein kleiner Wert signalisiert einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz sowie eine gute Ressourcennutzung und Umweltchonanz der Energieerzeugung. Kosten können angegeben, wenn freiwillig angegeben werden.

Energetische Qualität der Gebäudehülle – Seite 2

Angaben sind für die spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust (Formelzeichen in der EnEV: H_T). Er beschreibt die durchschnittliche energetische Qualität aller wärmeübertragenden Umfassungsflächen (Außenwände, Decken, Fenster etc.) eines Gebäudes. Ein kleiner Wert signalisiert einen guten baulichen Wärmeschutz. Außerdem stellt die EnEV Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Schutz vor Überhitzung) eines Gebäudes.

Endenergiebedarf – Seite 2

Der Endenergiebedarf gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung an. Er wird unter Standardklima- und Standardnutzungsbedingungen errechnet und ist ein Indikator für die Energieeffizienz eines Gebäudes und seiner Anlage. Der Endenergiebedarf ist die Energiemenge, die dem Gebäude unter der Annahme von standardisierten Bedingungen und unter Berücksichtigung der Endenergieverluste zugeführt werden muss, damit die standardisierte Innentemperatur, die Warmwasserbereitung und die notwendige Lüftung sichergestellt werden können. Ein kleiner Wert signalisiert einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz.

1 siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises

Angaben zum EEWärmeG – Seite 2

Nach dem EEWärmeG müssen Neubauten in bestimmtem Umfang erneuerbare Energien zur Deckung des Wärme- und Kältebedarfs nutzen. In dem Feld „Angaben zum EEWärmeG“ sind die Art der eingesetzten erneuerbaren Energien und der prozentuale Anteil der Pflichterfüllung abzulesen. Das Feld „Ersatzmaßnahmen“ wird ausgefüllt, wenn die Anforderungen des EEWärmeG teilweise oder vollständig durch Maßnahmen zur Einsparung von Energie erfüllt werden. Die Angaben dienen gegenüber der zuständigen Behörde als Nachweis des Umfangs der Pflichterfüllung durch die Ersatzmaßnahmen und der Einhaltung der für das Gebäude geltenden verschärften Anforderungswerte der EnEV.

Endenergieverbrauch – Seite 3

Der Endenergieverbrauch wird für das Gebäude auf der Basis der Abrechnungen von Heiz- und Warmwasserkosten nach der Heizkostenverordnung oder auf Grund anderer geeigneter Verbrauchsdaten ermittelt. Dabei werden die Energieverbrauchsdaten des gesamten Gebäudes und nicht der einzelnen Wohneinheiten zugrunde gelegt. Der erfasste Energieverbrauch für die Heizung wird anhand der konkreten örtlichen Wetterdaten und mithilfe von Klimafaktoren auf einen deutschlandweiten Mittelwert umgerechnet. So läßt beispielsweise ein hoher Verbrauch in einem einzelnen heißen Winter nicht zu einer schlechteren Beurteilung des Gebäudes. Der Endenergieverbrauch gibt Hinweise auf die energetische Qualität des Gebäudes und seiner Heizungsanlage. Ein kleiner Wert signalisiert einen geringen Verbrauch. Ein Wärmeschutz nach EnEV ist zu berücksichtigen, wenn die Verbrauchsdaten sich so stark differenzieren, weil sie von der Lage der Wohneinheiten im Gebäude, von der jeweiligen Nutzung und dem individuellen Verhalten der Bewohner abhängen. Im Fall längerer Leerstände wird hierfür ein pauschaler Zuschlag rechnerisch bestimmt und in die Verbrauchserfassung einbezogen. Im Interesse der Vergleichbarkeit wird bei dezentralen, in der Regel elektrisch betriebenen Warmwasseranlagen der typische Verbrauch über eine Pauschale berücksichtigt. Gleiches gilt für den Verbrauch von eventuell vorhandenen Anlagen zur Raumkühlung. Ob und inwieweit die genannten „Verbrauchserfassung“ zu entnehmen.

Primärenergieverbrauch – Seite 3

Der Primärenergieverbrauch geht aus dem für das Gebäude ermittelten Endenergieverbrauch hervor. Wie der Primärenergiebedarf wird er mithilfe von Umrechnungsfaktoren ermittelt. Die Vorkette der jeweils eingesetzten Energieträger berücksichtigt.

Pflichtangaben für Immobilienanzeigen – Seite 2 und 3

Nach der EnEV besteht die Pflicht, in Immobilienanzeigen die in § 16 Absatz 1 genannten Angaben zu machen. Die dafür erforderlichen Angaben sind dem Energieausweis zu entnehmen, je nach Ausweisart der Seite 2 oder 3.

Vergleichswerte – Seite 2 und 3

Die Vergleichswerte auf Endenergiebasis sind modellhaft ermittelte Werte und sollen lediglich Anhaltspunkte für grobe Vergleiche der Werte dieses Gebäudes mit den Vergleichswerten anderer Gebäude sein. Es sind Bereiche, die innerhalb derer ungefähr die Werte für die einzelnen Vergleichskategorien liegen.

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 1. []

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

2

Registriernummer ² []
(od. „Registriernummer wurde beantragt am...“)

Energiebedarf

CO₂-Emissionen ³ [] kg/(m²·a)

Endenergiebedarf dieses Gebäudes

[] kWh/(m²·a)



[] kWh/(m²·a)

Primärenergiebedarf dieses Gebäudes

Für Energiebedarfsberechnungen verwendetes Verfahren

- Anforderungen gemäß EnEV ⁴
- Primärenergiebedarf
- ist-Wert [] kWh/(m²·a) Anforderungswert [] kWh/(m²·a) Verfahren nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10
 - Energetische Qualität der Gebäudehülle ⁵ [] W/(m²·K) Anforderungswert [] W/(m²·K) Regelung nach § 3 Absatz 5 EnEV
 - Sommerlicher Wärmeschutz (bei Neubau) eingehalten Vereinfachungen nach § 9 Absatz 2 EnEV

Endenergiebedarf dieses Gebäudes

[] kWh/(m²·a)

Angaben zum EEWärmeG ⁵

Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kältebedarfs auf Grund des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG)

Art:	Deckungsanteil:	%
[]	[]	[]
[]	[]	[]
[]	[]	[]

Ersatzmaßnahmen ⁶

Die Anforderungen des EEWärmeG werden durch die Ersatzmaßnahmen nach § 7 Absatz 1 Nummer 2 EEWärmeG erfüllt.

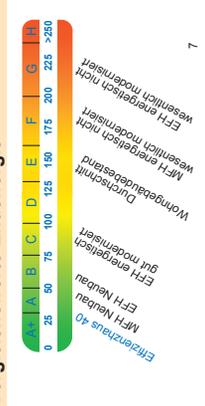
- Die nach § 7 Absatz 1 Nummer 2 EEWärmeG verschärften Anforderungswerte der EnEV sind eingehalten.
- Die in Verbindung mit § 8 EEWärmeG um verschärften Anforderungswerte der EnEV sind eingehalten.

Primärenergiebedarf: [] kWh/(m²·a)

Verschärfte Anforderungswerte für die energetische Qualität der Gebäudehülle ⁵ [] W/(m²·K)

[] W/(m²·K)

Vergleichswerte Endenergie



Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Die Energieeinsparverordnung lässt für die Berechnung des Energiebedarfs unterschiedliche Verfahren zu, die im Einzelnen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Insbesondere wegen standardisierter Randbedingungen erlauben die angegebenen Werte keine Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Die angegebenen Bedarfswerte der Seite sind spezifische Werte nach der EnEV pro Quadratmeter Außenumschließfläche (A_h), die im Allgemeinen größer ist als die Wohnfläche des Gebäudes.

¹ siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises
² siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises
³ freiwillige Angabe
⁴ nur bei Neubau sowie bei Modernisierung im Fall des § 16 Absatz 1 Satz 3 EnEV
⁵ nur bei Neubau
⁶ nur bei Neubau im Fall der Anwendung von § 7 Absatz 1 Nummer 2 EEWärmeG
⁷ EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus

1 Bedarfsbezogener Energieausweis für Wohngebäude (aus: Energieeinsparverordnung 2013 (gültig ab Mai 2014))

2 Erläuterungen zum Energieausweis (aus: Energieeinsparverordnung 2013 (gültig ab Mai 2014))

Ort	Durchschnittliche Globalstrahlung pro Tag in $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$												pro Jahr in $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$
	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	
Berlin	0,54	1,14	2,47	3,72	4,83	5,56	5,02	4,21	3,16	1,59	0,64	0,39	1 015
Hamburg	0,48	1,01	2,13	3,60	4,65	5,29	4,66	3,89	2,82	1,39	0,58	0,33	940
Köln	0,62	1,26	2,42	3,91	4,73	4,95	4,58	4,10	3,04	1,78	0,79	0,51	996
München	0,77	1,44	2,60	3,83	4,72	5,27	5,25	4,41	3,48	2,06	0,87	0,57	1 076
Würzburg	0,65	1,33	2,63	3,94	4,99	5,40	5,26	4,37	3,20	1,76	0,76	0,51	1 062

1 Globalstrahlung einiger ausgesuchter Orte in Deutschland

durchschnitt liefern Übersichten, wie auszugsweise in Tab. Bild 1 gezeigt. Hier werden die erheblichen jahreszeitlichen Schwankungen deutlich und man kann z. B. die Sonnenstrahlungsstärke in Würzburg für das Sommerhalbjahr ermitteln. Die Strahlungsdaten von Würzburg entsprechen annähernd dem Durchschnitt aller deutschen Orte und werden gelegentlich für eine grobe Überschlagsberechnung herangezogen.

Für die **mittlere tägliche Globalstrahlung** ergeben sich folgende Näherungswerte:

$$\text{Winter: } 1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

$$\text{Übergang: } 2,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

$$\text{Sommer: } 55 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

Beispielsweise für die Warmwasserbereitung ist die mittlere tägliche Globalstrahlung der Sommermonate Mai bis August von zentraler Bedeutung, da die Kollektorfläche so dimensioniert sein sollte, dass für diese Monate ca. eine 100 %ige solare Bedarfsdeckung erreicht wird (vgl. Kap. 8.2.2.3) und in dieser Zeit auf konventionelle Heizung völlig verzichtet werden kann.

8.2.2 Aufbau, Wirkungsweise und Betriebsweise einer thermischen Solaranlage

Mithilfe einer thermischen Solaranlage wird die Strahlungsenergie der Sonne aktiv genutzt und vom Absorber, der sich im Kollektor befindet, in Wärmeenergie umgewandelt.

Eine solarthermische Anlage, z. B. zur Trinkwassererwärmung, besteht aus folgenden Hauptteilen (Seite 213; Bild 1):

- Kollektoren
- Solarkreis und Sicherheitseinrichtungen
- Solarspeicher
- Regelung
- Nachheizung

Ihre Wirkungsweise lässt sich wie folgt beschreiben:

Die einfallenden Sonnenstrahlen erhitzen im **Kollektor** den Absorber. Dieser gibt die aufgenommene Wärmeenergie an einen flüssigen Wärmeträger ab, der häufig aus Wasser-Glykolkemisch oder Wärmeträgeröl besteht (beide frieren bei niedrigen Temperaturen nicht ein und auch die Siedetemperatur ist höher als die von Wasser). Die Solarpumpe transportiert den Wärmeträger vom Kollektor zum **Solarspeicher**. Hier wird die mitgeführte Wärme über einen Wärmeübertrager an das kältere Trinkwasser abgegeben. Der abgekühlte Wärmeträger wird zurück in den Kollektor gepumpt, wieder erwärmt und der Vorgang beginnt von neuem. Um die Solarpumpe vor Verschleiß durch hohe Temperaturen zu schützen, wird sie stets in den **Rücklauf** eingebaut. Die elektronische **Regelung** sorgt dafür, dass die Pumpe den Solarkreislauf nur in Gang setzt, wenn die Temperatur des Wärmeträgers im Kollektor höher ist als im Speicher. Wenn nicht genügend Solarenergie zur Verfügung steht (geringe Strahlungsintensität, hoher Warmwasserbedarf), sorgt bei bivalenten Solarspeichern die vorhandene **Nachheizung** über einen weiteren Wärmeübertrager für die benötigte Energiezufuhr. Dieser ist meist im, aber auch neben dem Warmwasserspeicher untergebracht. Befindet sich der Wärmeübertrager im oberen Bereich innerhalb des Warmwasserspeichers, wo das Warmwasser entnommen wird, muss nur ein Teil des Speichervolumens nachgeheizt werden (vgl. Kap. 8.2.2.4).

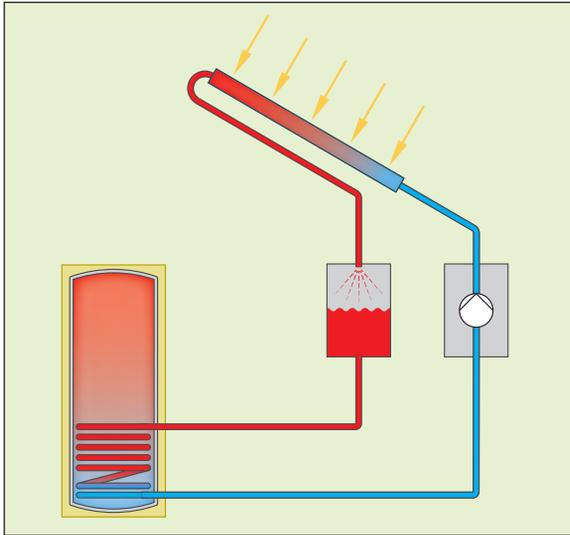
Bei den pumpenbetriebenen solarthermischen Anlagen sind zwar die Wirkungsweisen gleich, doch die Betriebsweisen nicht.

Man unterscheidet drei Betriebsweisen:

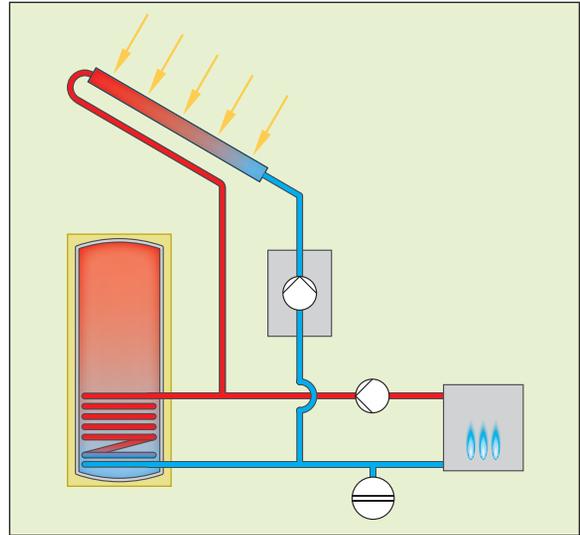
- Drainback Systeme
- Unter Druck stehende Anlagen ohne Frostschutzmittel
- Unter Druck stehende Anlagen mit Frostschutzmittel

Drainback-Systeme

Bei Drainback-Systemen **entleeren** sich die Kollektoren bei Stillstand der Anlage in einen Vorratsbe-



1 Drainback-System



2 Thermische Solaranlage ohne Frostschutzmittel

hälter, deswegen können sie auch nicht bei Frost einfrieren (Bild 1). Da Drainback-Systeme in der Regel mit Wasser betrieben werden, muss sichergestellt sein, dass alle wasserführenden Teile mit Gefälle ausgeführt werden, damit sie leerlaufen können. Vorteilhaft ist, dass kein Frostschutzmittel benötigt wird und Wasser eine ca. 20 % höhere Wärmekapazität hat. Sobald die Anlage wieder in Betrieb geht, wird die Wärmeträgerflüssigkeit mittels einer Pumpe in die Kollektoren zurückgepumpt. Die eingesetzte Hilfsenergie, die benötigt wird, um die Kollektoren jedes Mal bei Betriebsbeginn zu füllen, ist erheblich höher als bei unter Druck stehenden Anlagen. Da die Anlage nicht unter Druck steht, werden weder ein Ausdehnungsgefäß noch ein Sicherheitsventil benötigt.

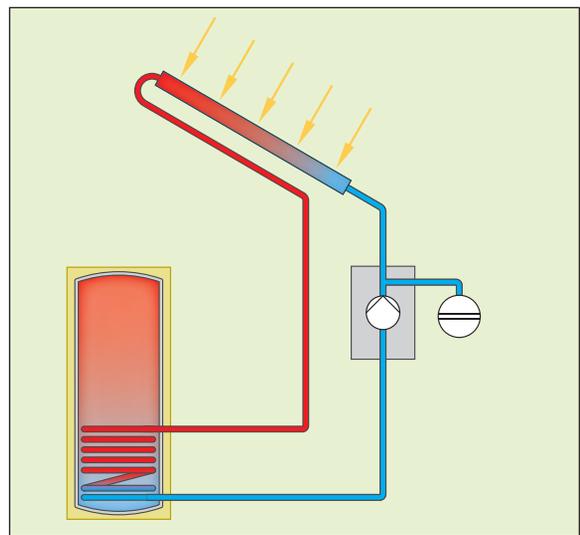
Unter Druck stehende Anlagen ohne Frostschutzmittel

Unter Druck stehende Anlagen mit Wärmeträgerflüssigkeit **ohne** Frostschutzmittel sind ähnlich aufgebaut wie Anlagen mit Frostschutzmittel (Bild 2).

Sie unterscheiden sich dadurch, dass die Wärmeträgerflüssigkeit nur aus Wasser besteht und deswegen im Winter warmes Wasser vom Heizkreis in die Kollektoren transportiert werden muss, damit das Wasser nicht einfriert. Die Energie, die zur Beheizung der Kollektoren im Winter benötigt wird, reduziert den Gesamtenergiegewinn.

Unter Druck stehende Anlagen mit Frostschutzmittel

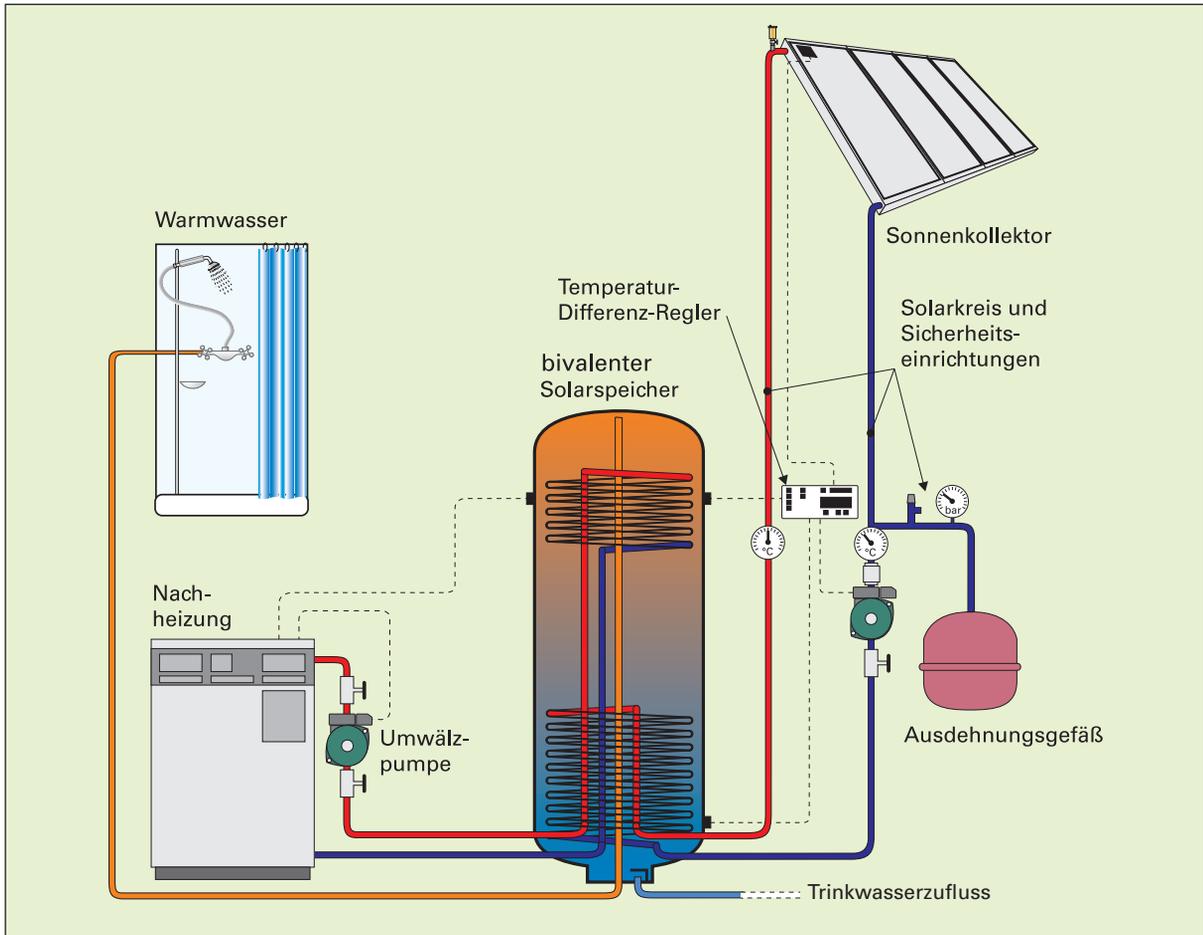
Die Wärmeträgerflüssigkeit dieser Anlagen ist ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel (meist Glykol), damit das System im Winter vor dem Einfrieren geschützt ist. Die Flüssigkeit verbleibt das ganze Jahr über im System. Zum Korrosionsschutz



3 Thermische Solaranlage mit Frostschutzmittel

sind handelsübliche Wärmeträgerflüssigkeiten mit **Inhibitoren**¹⁾ versetzt. Unter Druck stehende Anlagen benötigen immer ein **Ausdehnungsgefäß mit Sicherheitsventil**, um die Ausdehnung der sich stark erwärmenden Wärmeträgerflüssigkeit und das Volumen von eventuell verdampfender Wärmeträgerflüssigkeit aufnehmen zu können (Bild 3). In etwa 95 % aller Anlagen in Mitteleuropa wird diese Betriebsweise verwendet.

¹⁾ Inhibitoren: Chemikalien, die den Sauerstoff binden



1 Aufbau einer Solaranlage

8.2.2.1 Sonnenkollektoren

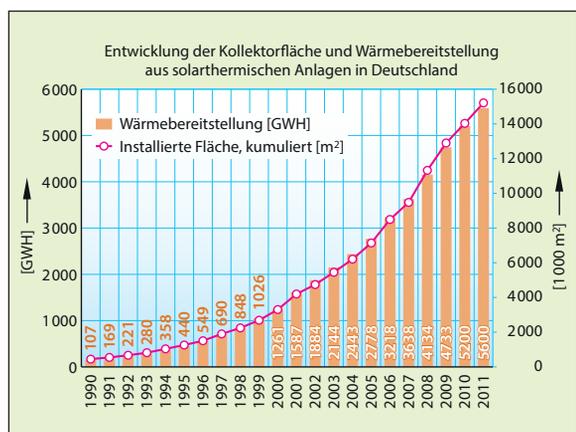
Der Sonnenkollektor ist eines der wichtigsten Bauteile der thermischen Solaranlage. Er hat die Aufgabe, die Sonnenstrahlen zu absorbieren (vgl. Kap. 2.3.7), in Wärme umzuwandeln und an einen strömenden Wärmeträger abzugeben.

Ende 2009 waren rund 1,4 Millionen Solarkollektoranlagen in Deutschland installiert, was bedeutet, dass sich seit 1999 die Anzahl der Anlagen vervierfacht hat. Die Kollektorfläche hat sich seit 1999 von etwa 2,5 Mio. m² bis 2011 auf etwa 15 Mio. m² erhöht (Bild 2). Alle Solarthermieanlagen zusammen sparen in Deutschland jährlich über 500 Mio. Liter leichtes Heizöl bzw. über 550 Mio. m³ Erdgas ein und der CO₂-Ausstoß reduziert sich dadurch um mehr als 1 Mio. Tonnen.

Flächenbezeichnung

In den Herstellerunterlagen dienen die **Flächenbezeichnungen** als Bezugsgrößen für Leistungs- und Ertragsangaben und den Vergleich von Kollektoren. Sie werden jedoch nicht immer einheitlich verwen-

det. Es ist deshalb wichtig, dass sich alle Beteiligten auf die gleichen Bezugsflächen beziehen. Nach EN 12975, EN 12976 und VDI 6002 werden **Bruttofläche**, **Aperturfläche** und **Absorberfläche** unterschieden (Bilder 1 und 2, nächste Seite).



2 Installierte Kollektorfläche in Deutschland

Temperaturdifferenzregler geregelt. Dieser vergleicht über zwei Temperaturfühler die Kollektortemperatur mit der Speichertemperatur im Bereich des Solar-Wärmeübertragers. Bei ausreichender Temperaturdifferenz von 7...10 K schaltet der Temperaturdifferenzregler die Umwälzpumpe ein. Ist die Temperaturdifferenz zu gering (z. B. trüber, sonnenarmer Tag), wird die Pumpe ausgeschaltet.

Ein weiterer Temperaturfühler im oberen Speicherbereich, wo sich die Wasserentnahme befindet, spricht an, wenn die eingestellte Temperatur von z. B. 45°C unterschritten wird. In diesem Fall schaltet der Regler die **Nachheizung** ein.

Der Solarregler sollte über folgende Schaltfunktionen verfügen:

- Überhitzungsschutz
- Begrenzung der maximalen Speichertemperatur
- Verbrühungsschutz (vgl. Dreiwegemischer im unteren Bereich von Bild 1, vorherige Seite)
- Schutz vor Legionellenbildung (vgl. Kap. 2.1.1)

8.2.3 Solare Heizungsunterstützung

Nachdem der Gesetzgeber die Vorgaben für den baulichen Wärmeschutz immer weiter verschärft hat, ist der Energiebedarf für die Erwärmung von Wohnhäusern deutlich gesunken. In modernen Niedrigenergiehäusern kann bis zu 40 % des Gesamtenergiebedarfs zur **Trinkwassererwärmung** und **Raumheizung** durch eine **Kombisolaranlage mit Kurzzeitspeicher** gewonnen werden (Bilder 1 u. 2).

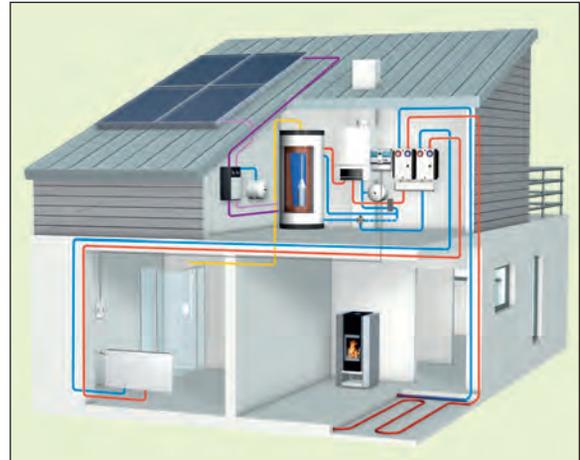
Neben der Einsparung an Energie haben Kombisolaranlagen weitere Vorteile wie z. B.

- geringerer Bedarf an fossilen Brennstoffen
- weniger Brennerstarts (geringere Schadstoffemissionen)
- Förderung durch den Staat (nur Kombisolaranlagen) und
- Möglichkeit der Anrechnung solarer Gewinne im Rahmen des Gebäude-Primärenergiebedarfs

Solaranlagen, die nicht nur das Trinkwasser erwärmen, sondern auch einen Teil des Heizwassers, sind heute **Stand der Technik**.

Mehr als die **Hälfte** aller in Deutschland installierten Solaranlagen unterstützen neben der Trinkwassererwärmung auch die Raumheizung. Vorrangig ist in der Regel die Trinkwassererwärmung.

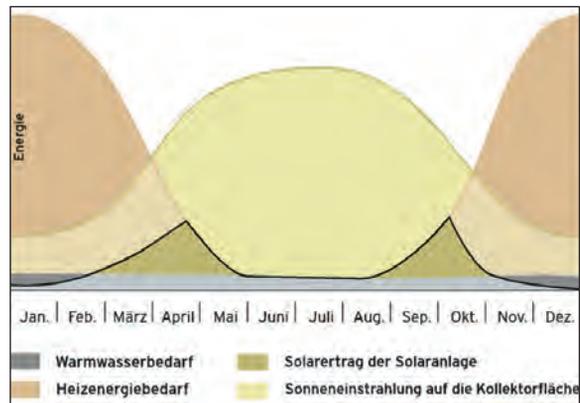
Es ist **zu beachten**, dass der größte Bedarf an Heizenergie und der größte solare Ertrag nicht zusammenfallen. Nur in der **Übergangszeit** und an **klaren**



1 Kombisolaranlage



2 Solarer Deckungsanteil



3 Solarertrag und Heizenergiebedarf

Sonnetagen im Winter kann ein erheblicher Teil des Energiebedarfs der Raumheizung mit **Kurzzeitspeichern** gedeckt werden (Bild 3).

Erst Solaranlagen mit **Langzeitspeichern** ab ca. 10000 l in Niedrigenergiehäusern mit sehr viel Platz, sehr geringem Energieverbrauch und südlich ausgerichteten Kollektoren können den überwiegenden Teil des Heizenergiebedarfs decken. Langzeitspeicher werden wegen des großen Platzbedarfs und der hohen Kosten noch wenig genutzt, deswegen werden im Folgenden nur **Kurzzeitspeicher** behandelt.

8.2.3.1 Komponenten einer Kombisolaranlage

Im Wesentlichen bestehen Kombisolaranlagen aus den gleichen Komponenten wie Solaranlagen, die nur zur Trinkwassererwärmung genutzt werden (vgl. Kap. 8.2). Die Auswahl des passenden Speichers ist allerdings etwas schwieriger, da es im Vergleich zu reinen Trinkwassersystemen eine größere Auswahl unterschiedlicher Speichersysteme gibt.

8.2.3.1.1 Solarspeicher

Grundsätzlich werden für Kombisolaranlagen in Ein- oder Zweifamilienhäusern **zwei Speicher** (ein Trinkwasserspeicher, ein Pufferspeicher) für das Heizungswasser) oder ein **Kombispeicher** mit eingebauter Trinkwassererwärmung verwendet. Aus Platz- und Kostengründen, wegen der einfacheren Verrohrung und der größeren Wärmeverluste durch die größere Oberfläche zweier Speicher werden überwiegend Kombispeichersysteme installiert. Im Folgenden werden deswegen nur Kombispeichersysteme vorgestellt.

Kombispeichersysteme

Bei Kombispeichersystemen werden zwei unterschiedliche Konzepte (wie das solarerwärmte Heizungswasser dem Heizkreis zugeführt wird) unterschieden

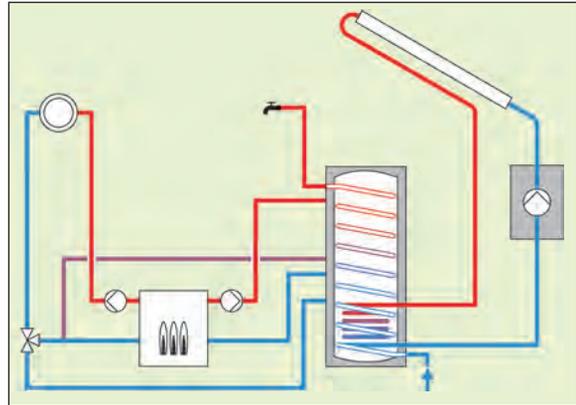
- Systeme mit Vorwärmung (Rücklauf-temperaturerhöhung) des vom Heizkreis kommenden kalten Rücklaufwassers (Bild 1) oder
- Systeme mit direkter Anbindung des Heizkreises an den Speicher (Bild 2).

Rücklauf-temperaturerhöhung

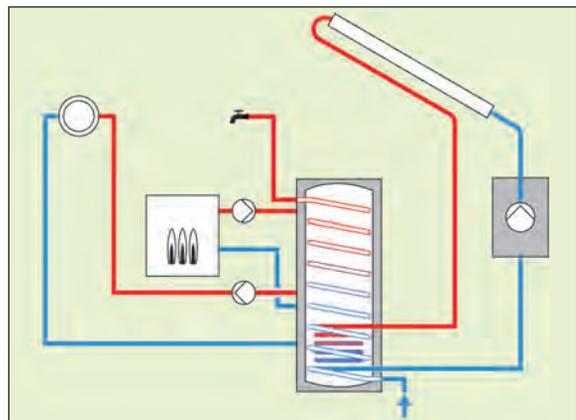
Bei Systemen mit Rücklauf-temperaturerhöhung wird das Rücklaufwasser des Heizkreises über ein Umschaltventil durch den Speicher geleitet und nicht direkt zum Kessel, wenn die Temperatur im unteren Bereich des Speichers etwa $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ höher ist als die Rücklauf-temperatur des Heizkreises. Dadurch wird die Temperatur des Rücklaufwassers angehoben, bevor es im Kessel auf Vorlauf-temperatur erwärmt wird. Der Brenner verbraucht weniger Brennstoff.

Direkte Anbindung des Heizkreises

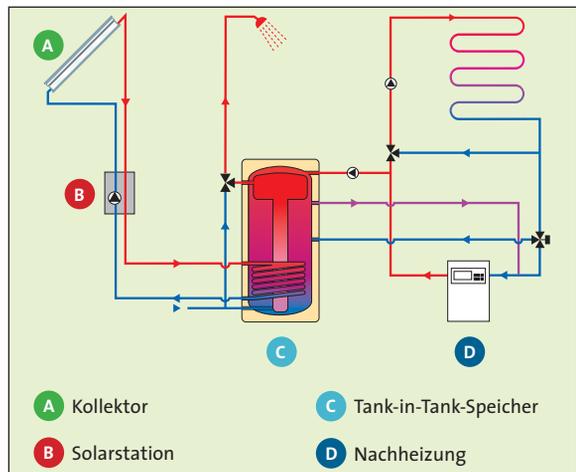
Bei direkter Anbindung des Heizkreises an den Speicher wird das notwendige Temperaturniveau (Solltemperatur Vorlauf) entweder über die Solaranlage oder den Wärmeerzeuger erreicht. Reicht die Energie der Solaranlage aus, kann der Brenner ausbleiben. Die Höhe der Anschlüsse des Heizkreises an den Speicher hängt z. B. davon ab, ob eine Flächenheizung (z. B. Fußbodenheizung) oder Flachheizkörper installiert sind, aber auch vom Bereitschaftsvolumen für die Trinkwassererwärmung.



1 Kombisolaranlage mit Rücklaufanhebung



2 Kombisolaranlage mit direkter Anbindung des Heizkreises



3 Kombisolaranlage mit Tank-in-Tank – Speicher

Kombispeicher

Kombispeicher unterscheiden sich hinsichtlich der Trinkwassererwärmung in

- **Tank-in-Tank-Systeme**, bei denen ein kleinerer **Trinkwasserspeicher** in den mit Heizungswasser gefüllten großen Kombispeicher eingebaut ist (Bild 3)

- Kombispeicher, die das Trinkwasser mittels innenliegender **Rohrsträngen** (Bild 1) oder externer Plattenwärmeübertrager im Durchflussprinzip erwärmen oder
- Kombispeicher mit eingebauter **konventioneller Nachheizung** (Bild 3).

Da in Kombispeichersystemen sehr hohe Temperaturen von ca. 90 °C im Trinkwasserbereich auftreten können, muss ein Thermostatmischventil eingebaut werden, um auf Trinkwarmwassertemperaturen von z. B. 60 °C zu kommen (Bild 2).

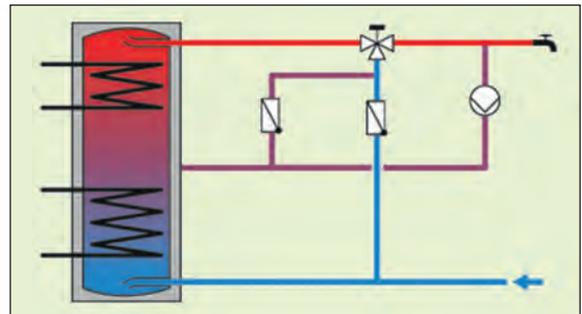
Durch eine gute **Abstimmung** aller **Komponenten** einer Kombisolaranlage und die Berücksichtigung einer Vielzahl von **Einflussfaktoren** wie z. B.

- Komfort (Bereitschaftszeiten, Trinkwarmwassertemperatur, Raumtemperaturen)
- Energiebedarf für die Trinkwassererwärmung
- Heizlast
- passive Solarenergienutzung
- Kollektorfläche
- Kollektorausrichtung
- Kollektorneigung
- niedrige Systemtemperaturen (z. B. 60 °C/40 °C)
- hydraulischer Abgleich
- Flächenheizungen, Flachheizkörper und
- Art des Speichers (Kurzzeit- oder Langzeitspeicher)

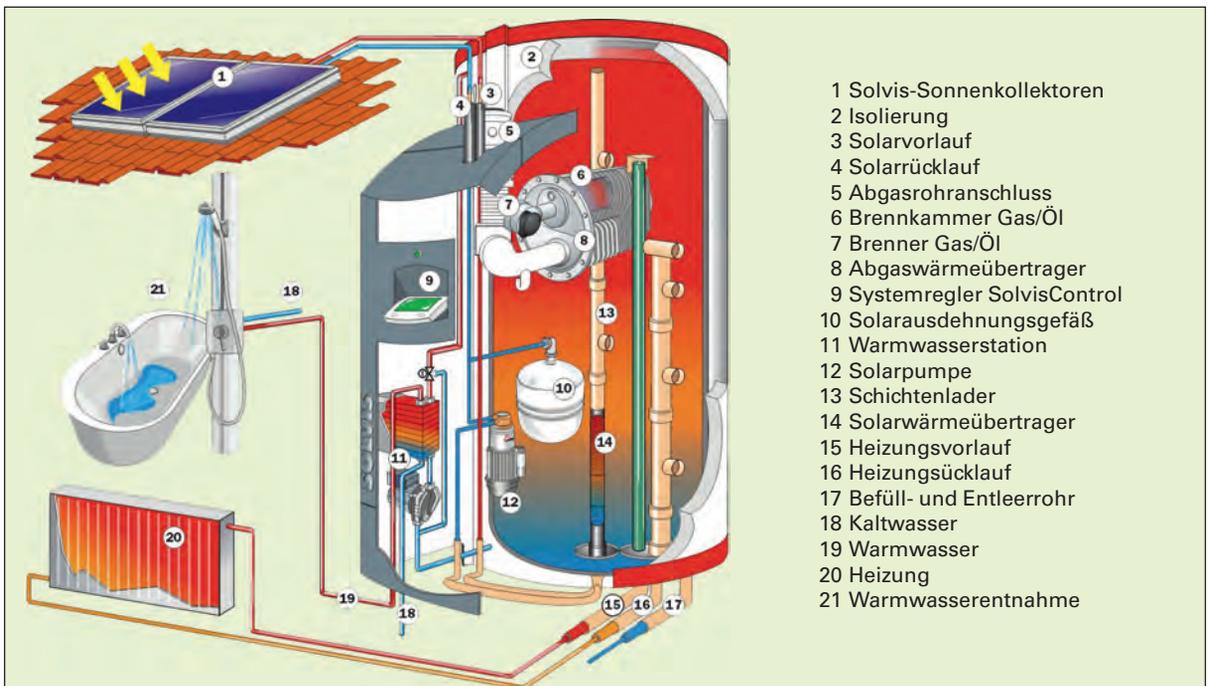
kann ein guter Wirkungsgrad der Anlage erreicht werden.



1 Kombisolaranlage mit Wellrohrschlange zur Trinkwassererwärmung im Durchfluss



2 Verbrühungsschutz



- 1 Solvis-Sonnenkollektoren
- 2 Isolierung
- 3 Solarvorlauf
- 4 Solarrücklauf
- 5 Abgasrohranschluss
- 6 Brennkammer Gas/Öl
- 7 Brenner Gas/Öl
- 8 Abgaswärmeübertrager
- 9 Systemregler SolvisControl
- 10 Solarausdehnungsgefäß
- 11 Warmwasserstation
- 12 Solarpumpe
- 13 Schichtenlader
- 14 Solarwärmeübertrager
- 15 HeizungsVorlauf
- 16 HeizungsSücklauf
- 17 Befüll- und Entleerrohr
- 18 Kaltwasser
- 19 Warmwasser
- 20 Heizung
- 21 Warmwasserentnahme

3 Kombispeicher mit Nachheizung

8.4 Wärmepumpen

8.4.1 Einleitung

Wärmepumpen dienen dazu, die Temperatur eines Arbeitsmediums (Kältemittels) mit Hilfe der Wärmeenergie der Umwelt, z. B. Luft, und der zugeführten elektrischen Energie von einem niedrigen Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau anzuheben, um so den Wärmeinhalt des Mediums zur Beheizung von Gebäuden und für die Trinkwassererwärmung nutzen zu können.

Nach der Bauart und dem Funktionsprinzip werden hauptsächlich Kompressions-, Absorptions- und Adsorptions-Wärmepumpen unterschieden. Kompressions-Wärmepumpen sind die am häufigsten eingesetzten Wärmepumpen und deshalb werden nur diese im Folgenden beschrieben.

8.4.2 Aufbau und Funktionsweise

Kompressions-Wärmepumpen bestehen im Wesentlichen aus folgenden Bauteilen (Bild 1).

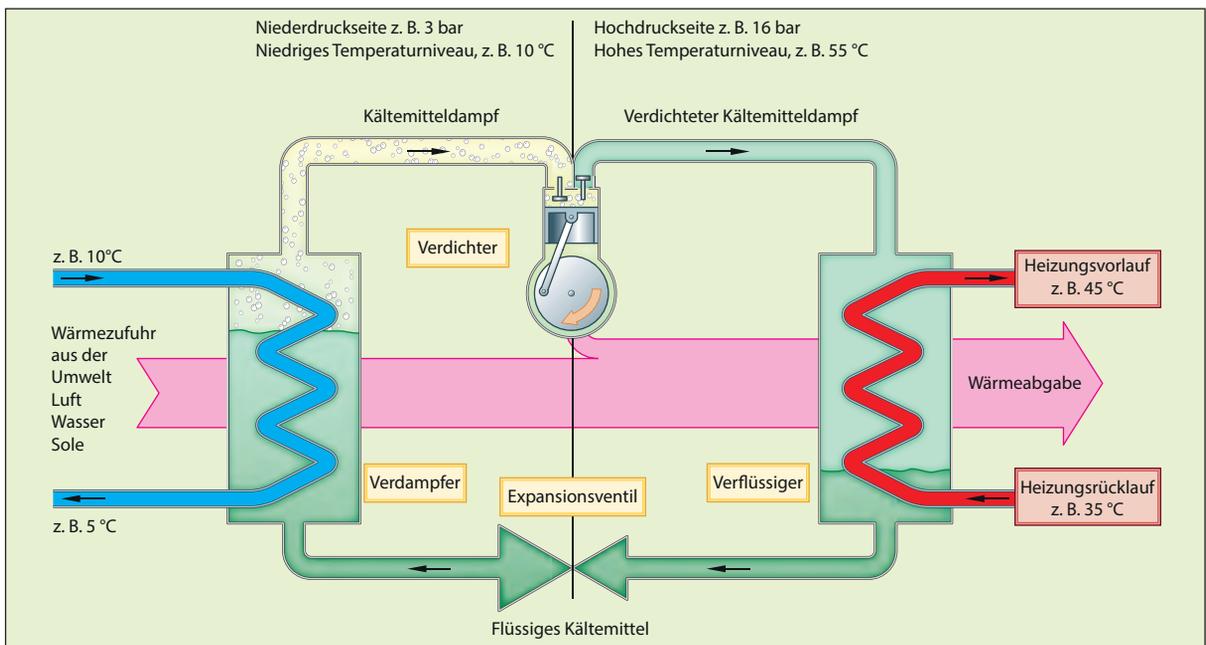
- Verdampfer
- Verdichter (Kompressor)
- Verflüssiger (Kondensator)
- Expansionsventil
- Rohrsystem mit dem Kältemittel (Kältekreis)

Kompressions-Wärmepumpen arbeiten nach dem Funktionsprinzip eines Kältschranks. In ihm wird den Lebensmitteln Wärmeenergie entzogen und auf der Rückseite durch einen Wärmeübertrager an den Aufstellraum abgegeben. In ähnlicher Weise entzieht die Wärmepumpe der Umwelt (Luft, Wasser, Erde) Wärmeenergie, die z. B. zur Beheizung eines Gebäudes genutzt wird.

Auf der **Niederdruckseite** der Wärmepumpe (= Bereich zwischen Expansionsventil und Verdichter mit niedrigem Temperaturniveau) gelangt das flüssige Kältemittel in den Verdampfer, wo es durch die Wärmeenergie der Umwelt bei niedrigem Druck und niedriger Temperatur verdampft.

Der Verdichter (Kompressor) saugt das verdampfte Kältemittel an und verdichtet es; dabei steigen der Druck und die Temperatur des Kältemitteldampfes (vgl. Luftpumpe).

Auf der **Hochdruckseite** der Wärmepumpe (= Bereich zwischen Verdichter und Expansionsventil mit hohem Temperaturniveau) strömt der verdichtete und dadurch auf ein höheres Temperaturniveau angehobene Kältemitteldampf in den Verflüssiger (Kondensator) und gibt dort die im Verdampfer aufgenommene Wärmeenergie sowie die zusätzlich durch das Verdichten (Komprimieren) zugeführte Energie z. B. an das Heizwasser ab. Der Kältemitteldampf kühlt sich dabei ab und wird wieder flüssig.



1 Funktionsweise der Wärmepumpe

Im Expansionsventil wird das flüssige Kältemittel vom hohen Druck des Kondensators auf den niedrigen Druck des Verdampfers entspannt. Das Kältemittel kühlt dabei weiter ab und kann wieder Wärmeenergie aus der Umwelt aufnehmen. Der Kreislauf beginnt von neuem.

8.4.2.1 Verdampfer

Die Verdampfer von Wärmepumpen, die dem Erdreich oder dem Wasser Wärmeenergie entziehen, sind in der Regel **Plattenwärmeübertrager**, die meist mit geriffelten Edelstahlplatten ausgerüstet sind (Bild 1). Diese ermöglichen bei vergleichsweise kompakter Bauweise hohe Wärmeübertragungsleistungen.

In Wärmepumpen, die der Luft Wärme entziehen, kommen **Lamellenwärmeübertrager** zum Einsatz. Diese weisen auf der Primärseite eine sehr große Oberfläche auf, da Luft eine wesentlich geringere Wärmekapazität als Wasser oder Glykol-Wassergemische hat. Durch große Lamellenabstände soll die Vereisung des Verdampfers hinausgezögert werden. Eingefrorene Wärmeübertrager mindern die Wärmeübertragungsleistung, erhöhen die Betriebsgeräusche und die Leistungsaufnahme des Ventilators.

Sie müssen deshalb in regelmäßigen Abständen abgetaut werden.

8.4.2.2 Verdichter (Kompressor)

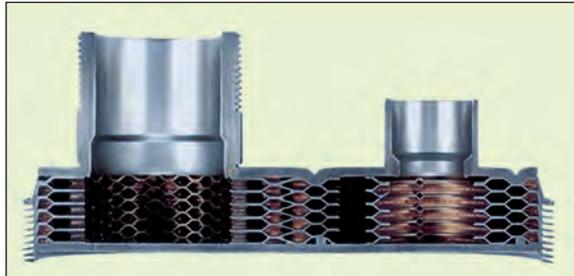
Als Verdichter kommen im kleineren und mittleren Leistungsbereich hauptsächlich Scroll-Verdichter zum Einsatz (Bild 2).

Die Verdichtung erfolgt dabei zwischen zwei ineinander greifenden Spiralblöcken, von denen einer fest sitzt und der andere exzentrisch auf einer Welle rotiert. Da sich die Spiralen immer gegenseitig an zwei gegenüberliegenden Flanken berühren, entstehen jeweils zwei halbmondförmige Kammerpaare, die sich von außen nach innen bewegen. Dabei verkleinert sich das Kammervolumen in Richtung Zentrum der Spiralen, wodurch der Kältemitteldampf verdichtet wird. Im Zentrum wird der verdichtete Kältemitteldampf in axialer Richtung ausgestoßen (Bild 3).

Scroll-Verdichter arbeiten sehr geräusch- und vibrationsarm, sind wartungsfrei und haben eine lange Lebensdauer.

8.4.2.3 Verflüssiger (Kondensator)

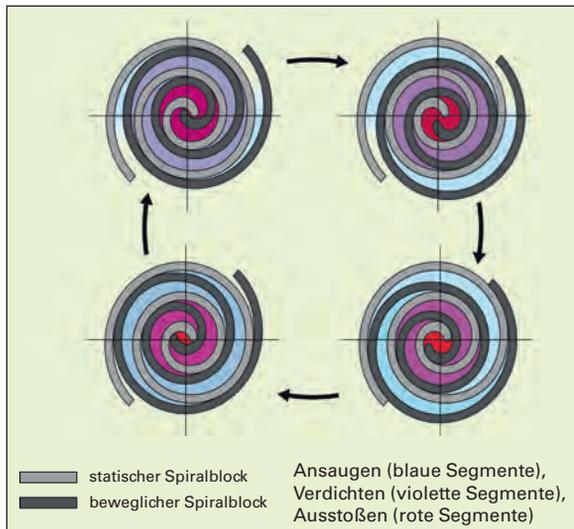
Da die Energieübertragung von einem flüssigen Medium auf ein anderes flüssiges Medium erfolgt, werden im kleinen und mittleren Leistungsbereich fast ausschließlich Plattenwärmeübertrager ver-



1 Querschnitt durch einen Plattenwärmeübertrager (Alfa Laval) einer Sole-Wasser-Wärmepumpe



2 Scroll-Verdichter



3 Funktionsweise des Scroll-Verdichters

wendet, die sich durch hohe Wärmeübertragungsleistungen auszeichnen.

8.4.2.4 Expansionsventil

Das Expansionsventil entspannt das flüssige, aber noch unter hohem Druck stehende Kältemittel und sorgt dafür, dass nur so viel Kältemittel in den Verdampfer gelangt, wie dort vollständig verdampfen kann und somit ausschließlich überhitzter Dampf in den Verdichter gelangt. Bei geringerer Verdampfungsenergie muss der Durchfluss des Kältemittels

Der Widerstand, den eine Wand dem Wärmeübergang entgegensetzt, wird durch den **Wärmeübergangswiderstand** ausgedrückt. Auf der Wandinnenseite wird er mit $R_{si}^{1)}$ und auf der Wandaußenseite mit $R_{se}^{2)}$ bezeichnet (Tab. Bild 1).

Wenn die Richtung des Wärmestroms von den Angaben in Tab. Bild 1 abweicht, wird empfohlen, die Werte für den horizontalen Wärmestrom zu verwenden (vgl. EN ISO 6946).

Innen- bzw. Außenwand	Richtung des Wärmestroms		
	aufwärts	horizontal	abwärts
R_{si} in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$	0,10	0,13	0,17
R_{se} in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$	0,04	0,04	0,04

1 Wärmeübergangswiderstände nach DIN EN ISO 6946 : 2008-04

Windgeschwindigkeit v in $\frac{m}{s}$	R_{se} in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4 ... 5	0,04
7	0,03
10	0,02

2 Wärmeübergangswiderstände R_{se} für unterschiedliche Windgeschwindigkeiten v nach DIN EN ISO 6946 : 2008-04

2.3.9 Wärmedurchgang

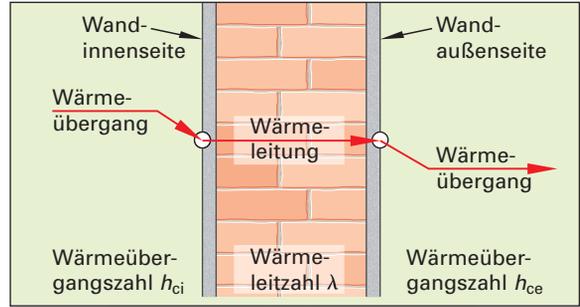
Wird Wärmeenergie von einer Flüssigkeit oder einem Gas durch eine **Wand** hindurch an eine andere Flüssigkeit oder ein anderes Gas übertragen, spricht man vom **Wärmedurchgang**. Vom Medium mit höherer Temperatur gelangt die Wärmeenergie über die Wand zum Medium mit der tieferen Temperatur (Bild 3). Jedem Wärmedurchgang steht der **Wärmedurchgangswiderstand** R_T entgegen:

$$R_T = R_{si} + R_{se} + \sum R$$

- R_T : Wärmedurchgangswiderstand in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$
- R_{si} : innerer Wärmeübergangswiderstand
- R_{se} : äußerer Wärmeübergangswiderstand in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$
- $\sum R$: Summe der Wärmeleitwiderstände
- $R_1 + R_2 + \dots R_n$ in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$

Der **Wärmedurchgangswiderstand** R_T ist abhängig vom inneren und **äußeren Wärmeübergangswiderstand** und den Wärmedurchlasswiderständen R (auch Wärmeleitwiderstände genannt). Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sind Tab. Bild 1 zu entnehmen. Die Summe der Wärmedurchlass-

1) si: engl.: surface interior: innere Oberfläche
 2) se: engl.: surface exterior: äußere Oberfläche



3 Wärmedurchgang

widerstände $\sum R$ hängt von der Dicke der Wand und ihrem Aufbau (Wärmeleitfähigkeit) ab (Bild 4). Die **Wärmeleitfähigkeit** λ eines Stoffes bezeichnet seine Fähigkeit, die Wärme zu leiten.

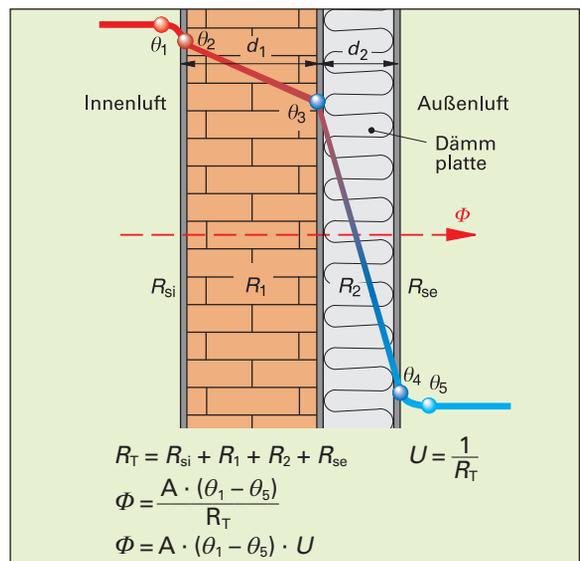
Die Wärmeleitfähigkeit λ eines Stoffes gibt an, welcher Wärmestrom durch $1 m^2$ eines Stoffes mit $1 m$ Dicke hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied zwischen beiden Oberflächen $1 K$ beträgt.

Jedes Material setzt dem Durchgang des Wärmestroms den **Wärmedurchlasswiderstand** R entgegen. Er entspricht dem Verhältnis von Schichtdicke d zur Wärmeleitfähigkeit λ :

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

- R : Wärmedurchlasswiderstand in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$
- d : Schichtdicke in m
- λ : Wärmeleitfähigkeit in $\frac{W}{m \cdot K}$

Je **kleiner** die Wärmeleitfähigkeit des Stoffes ist, desto **besser** ist seine **Dämmwirkung**. Abgesehen vom Vakuum ist **ruhende Luft** der beste Wärmedämmstoff.



$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_{se} \quad U = \frac{1}{R_T}$$

$$\Phi = \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_5)}{R_T}$$

$$\Phi = A \cdot (\theta_1 - \theta_5) \cdot U$$

4 Wärmestrom durch eine zweischichtige Wand

Der gesamte Wärmestrom, der bei 1 K Temperaturunterschied zwischen Wandinnen- und -außenseite durch 1 m² Wandfläche strömt, wird als **Wärmedurchgangskoeffizient U** bezeichnet. Er ist der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes R_T :

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ bzw. } R_T = \frac{1}{U}$$

U : Wärmedurchgangskoeffizient in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
 R_T : Wärmedurchgangswiderstand in $\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$

Der **Wärmestrom Φ** (Bild 4, vorherige Seite) durch eine beliebig große Wandfläche A mit einer beliebigen Temperatur berechnet sich nach folgender Formel:

$$\Phi = A \cdot U \cdot \Delta\theta$$

Φ : Wärmestrom in W
 A : Fläche in m²
 U : Wärmedurchgangskoeffizient in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
 $\Delta\theta$: Temperaturdifferenz in K

Übungen

1. Welche physikalische Größe kennzeichnet den Wärmezustand eines Stoffes?
2. Wovon hängt die Höhe der Temperatur ab?
3. Welche Temperaturskala wird in den meisten Ländern der Welt benutzt?
4. Nennen Sie die Celsiusstemperatur, die dem absoluten Nullpunkt entspricht.
5. Nennen Sie die Einflussgrößen für die thermische Ausdehnung eines Stoffes.
6. Wie groß ist die Längenänderung einer 9 m langen Leitung aus Verbundrohr (PE-X/AL/PE-HD) in m, wenn das Rohr bei einer Umgebungstemperatur von 12 °C verlegt wurde und die maximale Betriebstemperatur 50 °C beträgt.
7. Ein 7 m langes nicht rostendes Stahlrohr wird von 15 °C auf 65 °C erwärmt. Um wie viele mm dehnt es sich aus?
8. Erklären Sie die Anomalie des Wassers.
9. Ein Speicher-Trinkwassererwärmer ohne MAG enthält 200 l Wasser. Die Wassertemperatur beträgt 20 °C.
Wie viele Liter Wasser strömen am Sicherheitsventil aus, wenn das Wasser auf 60 °C erwärmt wird?
10. In einen Speicher-Trinkwassererwärmer werden 400 l Wasser von 10 °C eingelassen. Auf welche Temperatur wird das Wasser erwärmt, wenn während der Erwärmung 6,65 l über das Sicherheitsventil abtropfen?
11. Um wie viel dehnt sich ein Gas bei Erwärmung um 1 K bei konstantem Druck aus?
12. Ein Raum hat ein Volumen von 52 m³, die Lufttemperatur beträgt 12 °C. Wie viele m³ Luft müssen aus dem Raum entweichen, wenn bei gleich bleibendem Druck die Temperatur auf 22 °C ansteigt?
13. Welche temperaturabhängigen Eigenschaften von Stoffen werden bei der Messung von Temperaturen genutzt?
14. Erklären Sie den Unterschied zwischen einem Thermometer und einem Temperaturfühler.
15. Erklären Sie die Funktion eines Bimetallthermometers.
16. Wie ändern sich die Widerstände von NTC- und PTC-Widerständen bei steigenden Temperaturen?
17. Wozu werden Messing-Invar-Thermostate genutzt?
18. Nennen Sie unterschiedliche Erscheinungsformen der Energie.
19. Definieren Sie „spezifische Wärmekapazität“.
20. Nennen Sie den Unterschied zwischen Wärmeleistung und Wärmemenge.
21. Welche Wärmemenge in kJ und in kWh ist erforderlich, um 55 l Wasser von 8 °C auf 100 °C zu erwärmen?
22. Welche Wärmemenge in Wh ist erforderlich, um einen Stahlheizkessel mit einer Masse von 77,5 kg von 20 °C auf 70 °C zu erwärmen?
23. Der Wasserinhalt einer Heizungsanlage hat eine Masse von 735 kg. Um das Wasser von 10 °C auf 70 °C aufzuheizen, steht eine Wärmeleistung von 40 kW zur Verfügung.
Wie viel Zeit in h vergeht, bis das Wasser die gewünschte Temperatur erreicht hat?
24. In einem Speicher-Wassererwärmer werden 500 l Wasser in 36 min von 6 °C auf 60 °C erwärmt. Wie groß ist die Wärmeleistung in kW?
25. Nennen Sie die drei Aggregatzustände.
26. Definieren Sie „spezifische Schmelzwärme“.
27. Welche Wärmemenge ist erforderlich, um 60 kg Eis von –10 °C in Wasser von 0 °C umzuwandeln?
28. Eine 5m lange Rohrstrecke mit 5 l Wasserinhalt ist eingefroren.
Die Temperatur der Rohrstrecke beträgt –1 °C.
a) Welche Wärmemenge in kJ ist notwendig, um das Eis zu schmelzen?
b) Wie viele min dauert das Auftauen, wenn zum Schmelzen des Eises eine Wärmeleistung von 2,5 kW zur Verfügung steht?
29. Wovon hängen Siedepunkt und Verdampfungswärme von Wasser in starkem Maße ab?
30. 125 kg Wasser von 8 °C sollen bei 100 °C verdampft werden. Welche Wärmemenge ist dazu notwendig?
31. Nennen Sie die Wärmeübertragungsarten.
32. Was ist die Besonderheit der Wärmestrahlung?
33. Nennen Sie den Unterschied zwischen Wärmeübergang und Wärmedurchgang.
34. Berechnen Sie den U-Wert einer 11,5 cm dicken Innenwand aus Kalksandstein, die beidseitig mit 15mm Putzmörtel aus Kalk verputzt ist.
35. Eine Außenwand aus 20 cm dickem Vollziegel ist beidseitig mit 1 cm Kalkputzmörtel versehen. Wie groß ist ihr Wärmedurchgangskoeffizient?
36. Wie groß ist der Wärmedurchgangskoeffizient einer unverputzten Innenwand aus Gipskartonplatten?