

SKRIPT HEIZTECHNIK

Fachbereich Architektur

Fachgebiet

Technische Gebäudeausrüstung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen

Februar 1998

1 WÄRMEPHYSIOLOGIE	4
1.1 Temperatur	4
1.2 Wärme und Wärmetransport	4
1.3 Wärmeabgabe des Menschen	6
1.4 Behaglichkeit	7
1.5 Luftfeuchte	10
1.6 Gebäude / Heizung / Behaglichkeit	11
2 ENERGIE UND BRENNSTOFFE	15
2.1 Energieverbrauch	15
2.2 Energieträger	17
2.3 Maßeinheiten der Energiewirtschaft	19
2.4 Verbrennung	20
2.5 Heizwert/Brennwert	23
3 WÄRMEBEDARF VON GEBÄUDEN	24
3.1 Wärmebedarf / Wärmeverbrauch	24
3.2 Heizleistung / Heizwärme / Heizenergie	24
3.3 Heizlastberechnung nach DIN 4701	25
3.4 Jahres-Heizwärmebedarf nach Wärmeschutzverordnung (WSVO)	29
3.5 Warmwasser	30
4 HEIZSYSTEME	34
4.1 Warmwasser-Zentralheizung	34
4.2 Warmluftheizung	34
4.3 (Elektro-)Direktheizung	35

5 WÄRMEABGABE AN DEN RAUM	36
5.1 Heizkörper	36
5.2 Flächenheizungen	39
5.3 Strahlungsheizung	41
5.4 Luftheizung	41
6 WÄRMEVERTEILUNG	43
6.1 Horizontale / Vertikale Leitungsverlegung	43
6.2 Dämmung / Verlegung von Heizleitungen	43
6.3 Heizungs-Umwälzpumpen	47
6.4 Rohrnetzdimensionierung	48
7 WÄRMEERZEUGUNG	50
7.1 Heizkessel	50
7.2 Gas-Umlaufwasserheizer (Thermen)	52
7.3 Fern-/Nahwärme	53
7.4 Verluste einer Heizanlage	53
7.5 Abgastechnik	57
8 REGELUNG	61
8.1 Vorlauftemperaturregelung	61
8.2 Einzelraumregelung	63
8.3 Unterbrochner Heizbetrieb	65

9 WÄRMEPUMPE	66
9.1 Funktionsprinzip	66
9.2 Leistungsziffer	69
9.3 Einbindung in die Wärmeversorgung	69
9.4 Energiebilanzen von Ölheizung und Wärmepumpenheizung	70
10 SOLARENERGIE	71
10.1 Bemessung von Solaranlagen	73
10.2 Systemelemente von Solaranlagen	75
10.3 Systemvarianten	80
10.4 Ökonomische Aspekte zum Einsatz von Solaranlagen	81
11 WARMWASSERVERSORGUNG	82
11.1 Zentrale Versorgung	82
11.2 Dezentrale Versorgung	83
11.3 Wassererwärmer	84
11.4 Einbindung in Heizsystem	84
12 LITERATURVERZEICHNIS	86
13 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	89

1 Wärmephysiologie

1.1 Temperatur

Temperaturskalen:

Kelvin [K]; SI-Basis Einheit ($0\text{ K} = -273,16\text{ °C}$)

Grad Celsius [°C]; gebräuchlich im europäischen Raum

Grad Fahrenheit [°F]; gebräuchlich im angelsächsischen Raum

Die Temperatur ist ein Maß für den Wärmezustand eines Körpers [DIN 1345; Buderus]. Die Aufstellung einer Temperaturskala erfolgt durch Vergleiche mit Vorgängen in der Natur. Festpunkte auf Temperaturskalen sind zum Beispiel der Schmelzpunkt von Eis, Gold, Silber oder der Siedepunkt von Wasser, Sauerstoff, Schwefel.

1.2 Wärme und Wärmetransport

Wärme ist eine Energieform. Einen Körper erwärmen heißt, die Bewegungsenergie seiner Moleküle zu steigern. Wärme kann nur von einem warmen auf einen kälteren Stoff übertragen werden, also wenn ein Potentialgefälle vorhanden ist.

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Formen des Wärmetransports kurz dargestellt. Wärmetransportphänomäne sind in der Realität aber nicht getrennt voneinander anzutreffen, sondern wirken i.d.R. zusammen.

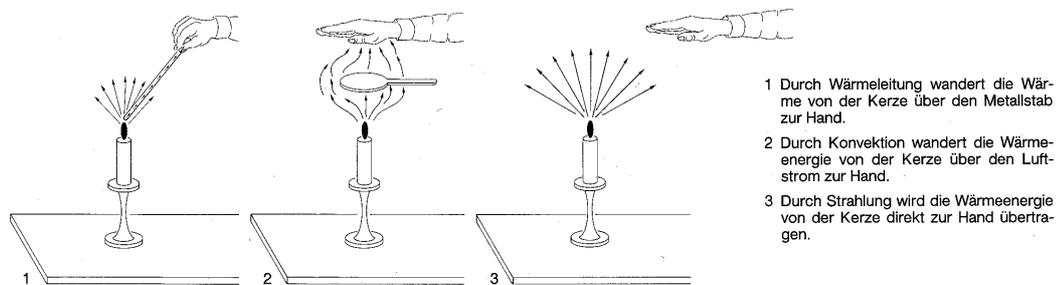


Abbildung 1-1: Wärmeübertragung durch Leitung, Konvektion und Strahlung am Beispiel einer Kerze

Wärmeleitung

Wärmeleitung ist der Wärmetransport innerhalb von festen Körpern. Hierbei wird die Wärme von Molekül zu Molekül weiter gegeben.

Beispiele: Wärmeleitung durch Mauerwerk oder Herdplatte

Konvektion (Wärmeströmung)

Konvektion ist der Wärmetransport mit Hilfe eines bewegten Mediums. Sie findet deshalb nur innerhalb von flüssigen oder gasförmigen Stoffen statt.

Es wird unterschieden [RWE-Energie]:

- Freie oder natürliche Konvektion, erzeugt durch Dichteunterschiede bei der Erwärmung (z.B. das Aufsteigen erwärmter Luft an Heizkörpern)
- Erzwungene Konvektion (z.B. Ventilatorlüftung; Wasser in Zentralheizung durch Pumpe)
- Mischkonvektion (z.B. Zugluft)

Wärmeübergang

Wärmeübergang findet im Grenzbereich zwischen fester Materie und einem Fluid statt. Es ist eine Zwischenform von Wärmeleitung und Konvektion.

Wärmestrahlung

Jeder Körper strahlt elektromagnetische Wellen ab, deren Intensität von Oberflächentemperatur und -beschaffenheit abhängt.

Wärmestrahlung ist physikalisch dem sichtbaren Licht ähnlich. Daher können Oberflächen nur dann Wärmestrahlung austauschen, wenn sie nicht voneinander abgeschattet sind (direkter Sichtkontakt). Da selbst Luft optisch nicht ganz rein ist, ist der Wärmetransport im leeren Raum (Vakuum) am effektivsten.

Wärmeleitung:	Es erfolgt kein Materietransport
Konvektion:	Mit Materietransport
Wärmeübergang:	Wärmetransport zwischen einem Fluid und einem festen Stoffen
Wärmestrahlung:	Wärmetransport durch elektromagnetische Wellen

1.3 Wärmeabgabe des Menschen

Tätigkeit	W/Person	met	W/m ²
liegen	83	0,8	46
entspanntes Sitzen	104	1,0	58
entspanntes Stehen	126	1,2	70
sitzende Tätigkeit (Büro, zu Hause, Schule, Labor)	146	1,2	70
leichte Tätigkeit im Stehen (Einkauf, Labor, Industrie)	167,4	1,6	93
mittelschwere körperliche Anstrengung (Verkäufer, Hausarbeit, Arbeit an der Maschine)	208,8	2,0	116
große körperliche Anstrengung (Arbeit an schweren Maschinen, Kfz-Reparatur)	313	3,0	174

Tabelle 1-1: Wärmeproduktion des Körpers bei verschiedenen Tätigkeiten. Gültig für eine Person mit 1,8 m² Körperoberfläche (z.B. 1,7m groß, 69kg schwer) [Oswalt, S.35; erweitert]

Der Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung wird durch die Art seiner Kleidung (Einheit clo¹), durch seine Tätigkeit, und durch die Temperatur seiner Umgebung bestimmt. Das Raumklima muß so regulierbar sein, daß der Mensch die durch Stoffwechselfvorgänge (Einheit met²), produzierte Körperwärme gerade abgeben kann.

Art der Bekleidung	Wärmedurchlaßwiderstand der Bekleidung	
	[m ² K/W]	[clo]
unbekleidet	0	0
kurze Hose	0,015	0,1
typische Tropenbekleidung (Unterhose, kurze Hose, kurzärmeliges Hemd mit offenem Kragen, leichte Socken und Sandalen)	0,045	0,3
leichte Sommerbekleidung (Unterhose, lange leichte Hose, kurzärmeliges Hemd mit offenem Kragen, leichte Socken und Schuhe)	0,08	0,5
leichte Arbeitsbekleidung (leichte Unterwäsche, langärmeliges Baumwollhemd, lange Arbeitshose, Wollsocken, Schuhe)	0,11	0,7
typische Bekleidung für Aufenthalt in Räumen, im Winter (Unterwäsche, langärmeliges Hemd, lange Hose, Jackett oder langärmeliger Pullover, dickere Socken, Schuhe)	0,16	1,0

Tabelle 1-2: Wärmedämmwerte verschiedener Bekleidungen [Oswalt]

¹ clothing ⇒ engl. für Bekleidung

² Metabolismus ⇒ Stoffwechsel

Die Körpertemperatur des Menschen entsteht durch Umwandlung chemischer Energie in Gewebe, Organen und Muskeln in Wärme (Stoffwechsel) und beträgt 37°C. Die Oberflächentemperatur des Körpers ist geringer. Sie hängt ab von:

- Stoffwechselumsatz (produzierte Wärmemenge), er wird bestimmt von der Tätigkeit
- Raumlufttemperatur und -feuchte, Luftgeschwindigkeit (beeinflussen die Wärmeabgabe durch Konvektion)
- Oberflächentemperatur der Raumhüllflächen (beeinflusst die Wärmeabgabe durch Strahlung)

1.4 Behaglichkeit

Bei leichter Tätigkeit produziert ein durchschnittlicher Mensch eine Wärme von ca. 120 W, die er an seine Umgebung abgeben muß, um seine Körpertemperatur konstant zu halten. Die Wärmeabgabe des Menschen erfolgt überwiegend durch:

- Konvektion,
- Wärmestrahlung,
- Verdunstung von Hautfeuchte, Atmung

Bei zu niedrigen Umgebungstemperaturen wird durch Konvektion und Strahlung so viel Wärme abgegeben, daß der Körper langsam auskühlt, und der Mensch friert.

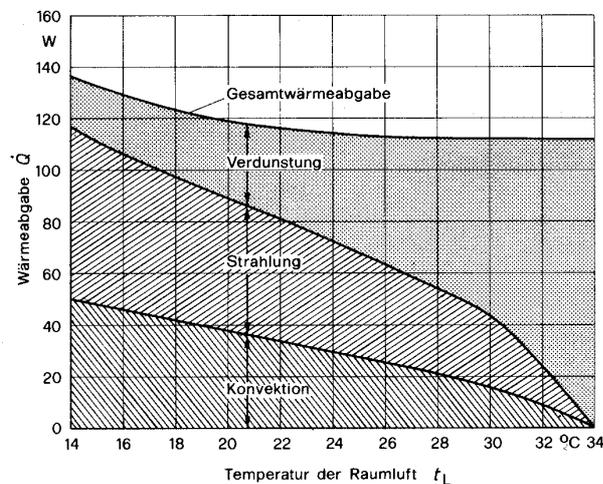


Abbildung 1-2: Wärmeabgabe des Menschen in Abhängigkeit von der Lufttemperatur bei sitzender Tätigkeit mit normaler Bekleidung [HdK]

Bei zu hohen Umgebungstemperaturen (nahe Körpertemperatur) können nur noch geringe Mengen an Wärme durch Konvektion und Strahlung abgeführt werden. Der Körper versucht das über erhöhte Verdunstung von Hautfeuchte auszugleichen, er schwitzt.

Die Temperatur der Raumumschließungsflächen, mit denen es zum Strahlungsaustausch kommt, ist für das Behaglichkeitsempfinden des Menschen genau so bedeutsam, wie die Raumlufttemperatur.

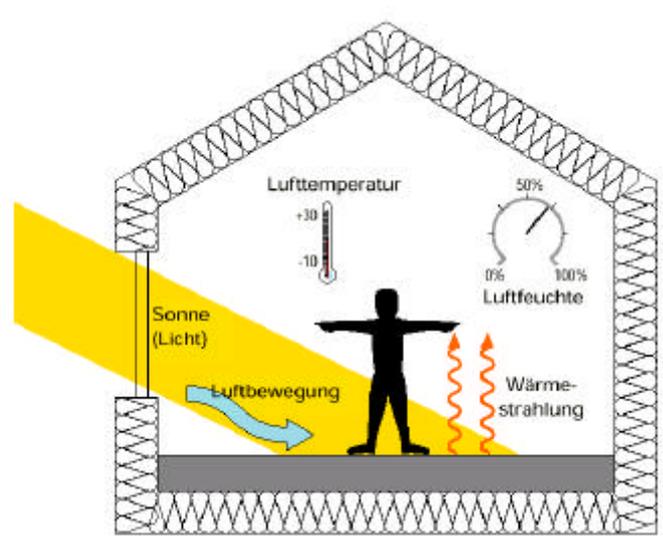


Abbildung 1-3: Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit [EBuM]

Der Mensch reagiert empfindlich auf Zugluft, weil hauptsächlich durch sie die Wärmeabgabe durch Konvektion und die Verdunstung von Hautfeuchte erhöht wird. Eine dauerhafte Luftgeschwindigkeit von mehr als 0,2 m/s empfindet er als unangenehm (außer an warmen Tagen).

Eine spürbare Luftbewegung im Raum kann schon entstehen, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Wandoberflächen und Raumluft um ein paar Grad differiert. Wichtig ist daher die richtige Anordnung von Heizkörpern und Fensterflächen im Raum.

Für die Behaglichkeit des Menschen ist auch die Qualität der Atemluft von Bedeutung. So werden Kohlendioxidkonzentrationen (CO_2) ab ca. 0,1 bis 0,15% (Maximalwert für Büroräume) bereits als schlechte Luft empfunden. Konzentrationen von ca. 2% sind kurzzeitig tolerierbar, ab 3-4% treten zunehmend Atembeschwerden auf. Daher ist es notwendig, Räume gut zu lüften. Der notwendige Frischluftbedarf pro Person hängt dabei von der einzuhaltenden Frischluftqualität und der Tätigkeit der Personen ab.

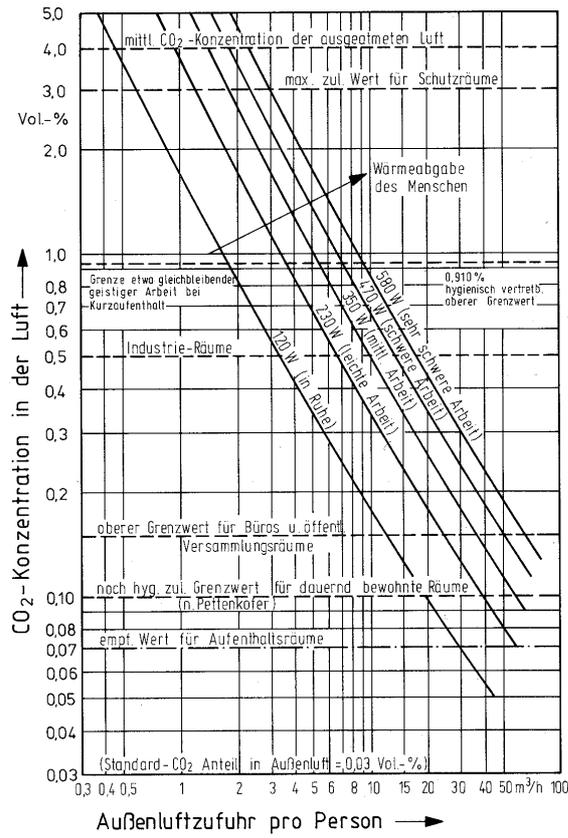


Abbildung 1-4: Erforderliche Außenluftfrate [Ruhrgas]

1.5 Luftfeuchte

Luft enthält immer eine mehr oder weniger große Menge Wasserdampf. Je höher die Temperatur, desto mehr Dampf kann aufgenommen werden.

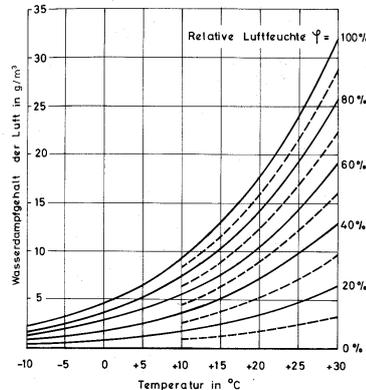


Abbildung 1-5: Wasserdampfgehalt der Luft [LdB]

Wie aus der Abbildung 1-5 ersichtlich, kann 1 m³ Luft bei z.B. -10°C 2,14 g Wasser aufnehmen, bei +20°C steigt dieser Wert auf 17,3 g/m³.

Die **relative Luftfeuchte** φ bezeichnet das Verhältnis von tatsächlichem Dampfgehalt der Luft zu der Dampfmenge, die bei der momentanen Lufttemperatur maximal aufgenommen werden könnte. Sie wird meistens in % angegeben:

$$\varphi = \frac{\text{tatsächlicher Wasserdampfgehalt} \times 100}{\text{max. möglicher Wasserdampfgehalt}} [\%]$$

Die **absolute Luftfeuchte** f_{abs} ist die Masse des Wasser in Gramm die in einem m³ Luft enthalten ist [Moor]:

$$f_{\text{abs}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{V} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \quad [\text{g} / \text{m}^3]$$

Beispiel:

In einem Raum mit einer **absoluten Luftfeuchtigkeit** von 8 g/m³ verändert sich die **relative Luftfeuchtigkeit** mit zunehmender Temperatur wie folgt:

$$\varphi_{10^\circ\text{C}} = \frac{8 \text{ g} / \text{m}^3 \times 100}{9,41 \text{ g} / \text{m}^3} = 85 \%$$

$$\varphi_{20^\circ\text{C}} = \frac{8 \text{ g} / \text{m}^3 \times 100}{17,31 \text{ g} / \text{m}^3} = 46 \%$$

Eine **relative Luftfeuchte** von 40-60% gilt als guter Kompromiß zwischen Lufthygiene und gesundheitlichen Auswirkungen. Zu trockene Luft bewirkt eine übermäßige Staubentwicklung und Austrocknung der Schleimhäute, zu feuchte Luft kann Schimmelpilzbildung und damit Sporenflug verursachen und die Bausubstanz beschädigen.

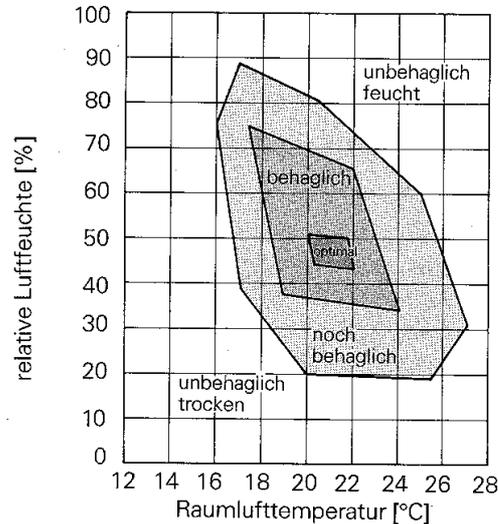


Abbildung 1-6: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit [Ruhrgas]

Bedingungen	relative Luftfeuchte %
<u>In der freien Atmosphäre</u>	
Mittelwert für Hannover im Winterhalbjahr	~ 87
Mittelwert für Hannover im Sommerhalbjahr	~ 78
Mittelwert für 15 europäische Städte im Winterhalbjahr	84,5
Mittelwert für regenfreie Juninächte bei Stuttgart	~ 90
Mittelwert für regenfreie Junitage bei Stuttgart	~ 55
<u>In geschlossenen Räumen bei 20 °C</u>	
Kaufhäuser	50 - 70
Maschinenfabriken und ähnliche Betriebe	40 - 50
Wohn- und Arbeitszimmer im Sommerhalbjahr	50 - 70
Wohn- und Arbeitszimmer im Winterhalbjahr	30 - 55
Kühl- und Lagerräume für Lebensmittel	75 - 100
Badezimmer	65 - 100
Chemische Betriebe	35 - 50
Theater, Turnhallen	50 - 80
Wäschereien, Schwimmbäder	80 - 95

Tabelle 1-1: Typische Werte der relativen Luftfeuchtigkeit [LdB]

1.6 Gebäude / Heizung / Behaglichkeit

Aus den vorigen Kapiteln lassen sich einige Schlüsse ableiten, wie man ein behagliches Raumklima herstellen kann.

Grundsätzlich läßt sich sagen, daß gut gedämmte Außenwände, gute Fensterverglasungen und winddichte Fensterrahmen der thermischen Behaglichkeit im Raum zuträglich sind.

Außenwände mit hohem k-Wert haben auf der Raumseite eine Oberflächentemperatur, die nur wenig unter der Raumlufttemperatur liegen.

Das bedeutet:

- Die Raumluft kühlt an Fenster- und Wandoberfläche nur geringfügig ab. Daher kommt es in viel geringerem Maß zu Absinken kalter Luft (Kaltluftabfall), und daher auch weniger zu Zugscheinungen.
- Aus dem gleichen Grund kommt es zu weniger ausgeprägten Temperaturschichtungen über die gesamte Raumhöhe.

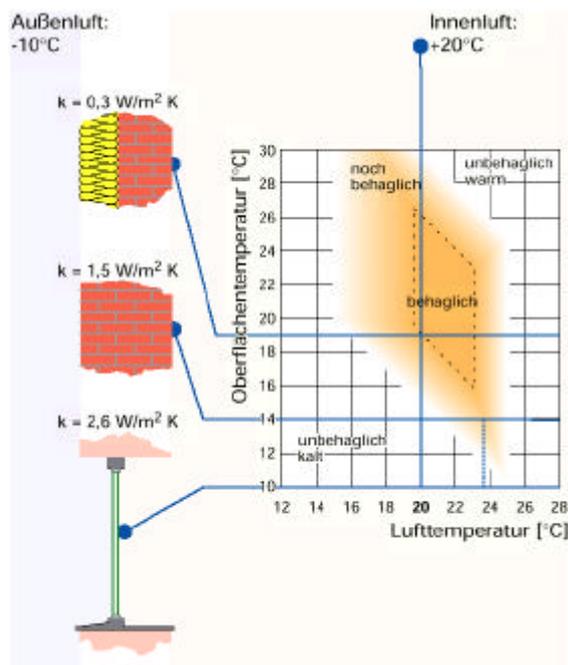


Abbildung 1-7: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von Oberflächentemperatur der Außenwand [EBuM]

Durch die höhere Wandoberflächentemperatur wird weniger Wärme vom Menschen an die Wand abgestrahlt.

Mit der bis heute üblichen Anordnung von Heizkörpern (siehe Abbildung 1-8) lassen sich die nachteiligen Auswirkungen von schlecht gedämmten Außenbauteilen zum Teil kompensieren:

Die sich am schlecht dämmenden Fenster stark abkühlende Luft fällt mit hoher Geschwindigkeit, wird aber vom warmen Heizkörper „aufgefangen“, und steigt zur Raumdecke. Dort kühlt sie langsam ab, sinkt zu Boden und wird am Heizkörper wieder erwärmt. Eine ähnliche, aber viel schnellere und in der Richtung entgegengesetzte Luftwalze, entsteht zwischen Fenster und Heizkörper.

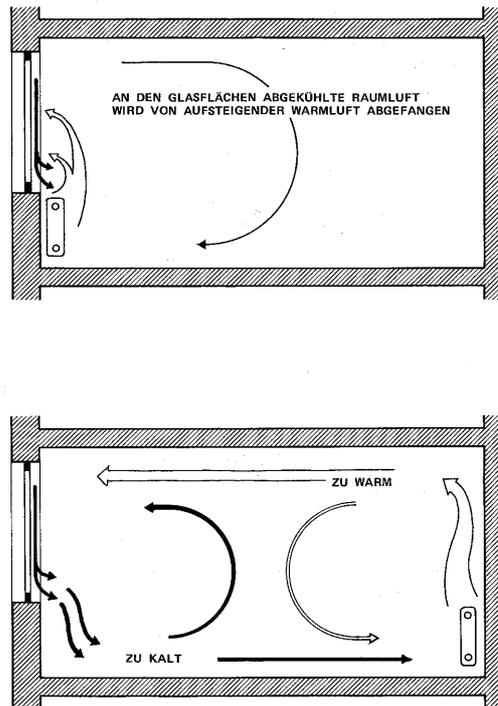


Abbildung 1-8: Luftströmungen im Raum bei unterschiedlicher Heizkörperanordnung [Wellpott]

Ohne Heizkörper würde die kalte Luft vom Fenster aus am Boden entlang in den Raum strömen und zu Zugscheinungen führen. Durch einen an der Innenwand angebrachten Heizkörper würde dieser Effekt sogar noch verstärkt, da er die Luft bei der Aufwärtsbewegung zusätzlich beschleunigen würde.

Durch verbesserten Wärmeschutz steigen die Oberflächentemperaturen der Wände und Fenster. Der Kaltluftabfall sinkt und die in Abbildung 1-8 (unteres Bild) dargestellte Kaltluftwalze bleibt aus, auch wenn der Heizkörper nicht mehr unter dem Fenster steht. Durch optimierten Wärmeschutz sind zukünftig auch andere Anordnungen möglich

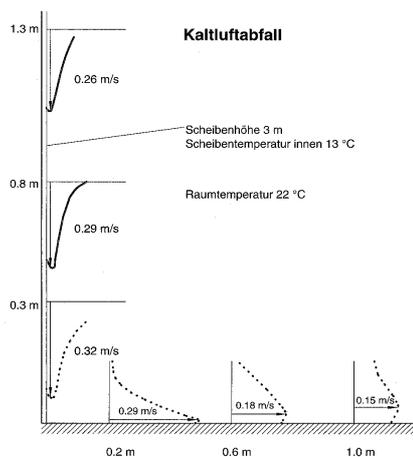


Abbildung 1-9: Kaltluftabfall an Fassaden [TAB]

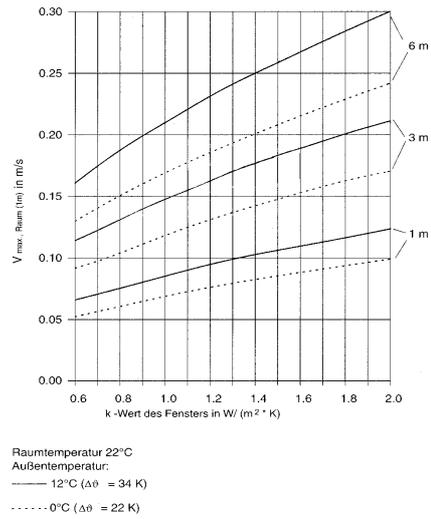


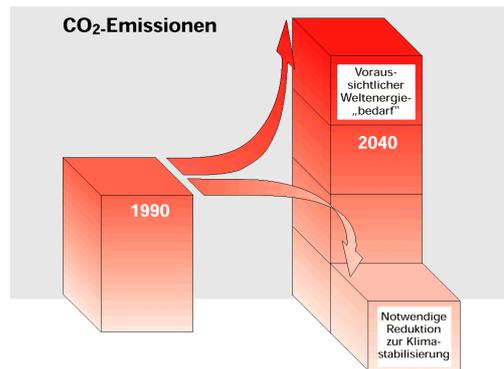
Abbildung 1-10: Maximale Raumluftgeschwindigkeit [TAB]

2 Energie und Brennstoffe

2.1 Energieverbrauch

Primärenergieverbrauch der Erde

Der Weltenergiebedarf wird nach Schätzungen der Internationalen Energieagentur auch zukünftig weiter steigen.



Der weltweite heutige CO₂-Ausstoß müßte bis 2040 mindestens halbiert werden

Abbildung 2-1: CO₂ -Emissionen: Prognose und Anforderung zur Klimastabilisierung [EBuM]

Die Vorräte an fossilen und nuklearen Brennstoffen sind nicht unerschöpflich. Das Zeitalter des Verbrauchs fossiler Brennstoffe ist in der Geschichte der Menschheit nur ein sehr kurzer Abschnitt und auf ein paar wenige Jahrhunderte beschränkt. Die Abbildung 2-2 verdeutlicht, daß auf Dauer die Deckung des Energiebedarfs z.B. nicht mit dem fossilen Energieträger Erdöl möglich ist, sondern unterstreicht die Verwendung von erneuerbaren Energien sowie die Umsetzung rationeller Energieverwendung.

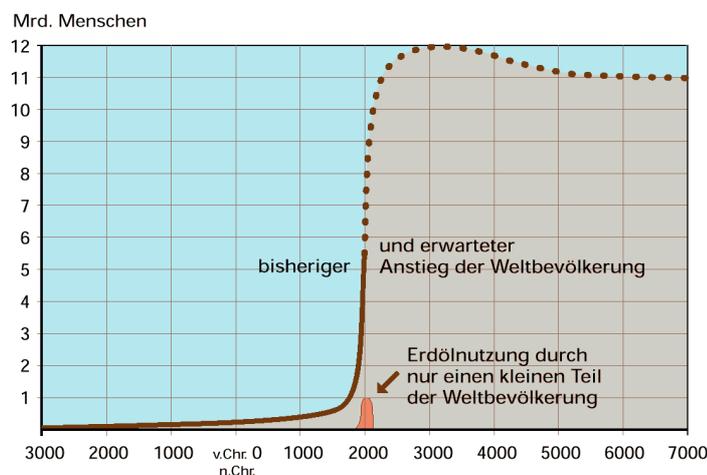


Abbildung 2-2: Weltbevölkerung und Erdölnutzung [EBuM]

Die Verwendung fossiler Energieträger hat aber auch den Nachteil, daß Schadstoffe wie CO, CO₂ oder Stickoxide durch den Umwandlungsprozeß entstehen. Das Kohlendioxid gilt als der Hauptverursacher des Treibhauseffektes.

Der Grund warum regenerative Energien bisher nur zu 2% zur Deckung des Primärenergieverbrauchs eingesetzt werden, liegt einerseits an ihrer im Vergleich zu fossilen Energieträgern geringeren Energiedichte und den damit verbundenen größeren Sammlerflächen und Investitionskosten und andererseits an der räumlich und zeitlich schwankenden Verfügbarkeit.

Erneuerbare Energien		in kWh/m ²
	Wellen	< 100
	Extraterrestrische Solarstrahlung	< 1,35
	Windenergie	< 3
	Globalstrahlung, BRD	8,3
	Gezeitenkraft	0,002
	Biomassenproduktion	0,002
	Geothermischer Wärmefluß	0,0006
Konventionelle Energien		in kWh/m ²
	Kochplatte	100
	Kohle (Verbrennungskammer, Großkraftwerk)	500
	Kernenergie (Brennelement, Großkraftwerk)	650
	Stromkabel	1.000.000

Abbildung 2-3: Energiedichte unterschiedlicher Energieträger [TGA 1/97]

Die häufig genannten hohen Investitionskosten der regenerativen Energien und die damit verbundenen hohen Energiekosten lassen die sogenannten externen Effekte bei der Energieerzeugung unberücksichtigt. Kosten, die der Gesellschaft aus den bei der Verbrennung fossiler Energieträgern freigesetzten Schadstoffen für die Umwelt- und Gesundheitsschäden entstehen, spiegeln sich in der Berechnung der Energiepreise nicht wieder. Die Wettbewerbssituation der regenerativen Energiequellen, z.B. der Photovoltaik, würde sich entscheidend verbessern. Bereits heute können bestimmte regenerative Energieträger, im Vergleich zu den konventionellen Energieträgern, unter bestimmten Bedingungen wirtschaftlich sein (z.B. Windenergie, Wasserkraft, Biomasse, Biogas und Sonnenkollektoren).

Vorzüge der regenerativen Energien

- sie sind unerschöpflich
- verbreitern die Energiebasis
- schonen die endlichen Reserven
- sie sind umweltfreundlich und risikoarm

Energieverbrauch im Haushalt

In den rund 36 Mio. Haushalten der Bundesrepublik Deutschland wurden 1993 ca. 51% ihres Gesamtenergieverbrauches zum Heizen benötigt. Mit 34% stellt das Auto den zweitgrößten Posten in der Energiebilanz der Haushalte dar. Energiesparen ist in diesen beiden Bereichen besonders wichtig.

Ohne Berücksichtigung des Verkehrs verbrauchen die Haushalte im Durchschnitt mehr als 77% ihres Energiebedarfes allein für das Heizen.

Die Abbildung 2-4 zeigt das Energieflußdiagramm für Deutschland im Jahr 1990. Die Unterscheidung der einzelnen Energieträger in Primär-, End- bzw. Nutzenergie erfolgt im folgenden Kapitel 2.2.

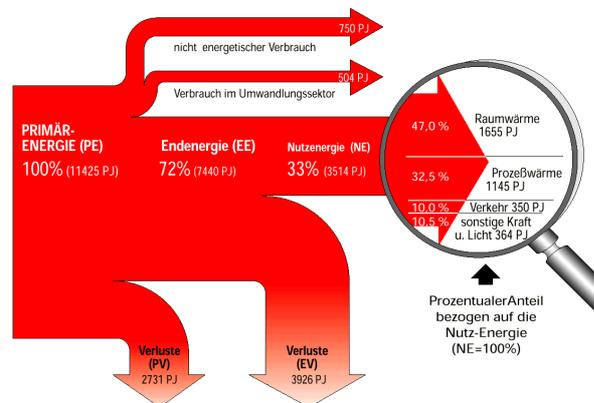


Abbildung 2-4: Primär-, End- und Nutzenergiefluß der Bundesrepublik Deutschland [EBuM]

2.2 Energieträger

Primärenergieträger

Energieträger, die von der Natur in ihrer ursprünglichen Form angeboten werden. Bei den Primärenergieträgern wird allgemein nach folgenden Energieträgern unterschieden:

- Fossile³
 - Braunkohlen
 - Steinkohlen
 - Rohöle
 - Naturgase

³ Aus Biomasse im Verlauf von Jahrtausenden entstandene Energieträger.

- Nukleare
 - Uran- und Thoriumverbindungen

- Regenerative⁴
 - Solare Strahlung
 - kinetische Energie von Wind- und Wasserkraft, von Meereswellen und Gezeiten
 - Energieinhalt der Biomasse
 - Enthalpiegefälle ozeanischer Temperaturschichtungen
 - Energieinhalt des Magmas der Erde

Fossile und nukleare Energieträger sind erschöpflich
Regenerative Energien unerschöpflich (nach menschlichen Maßstäben)

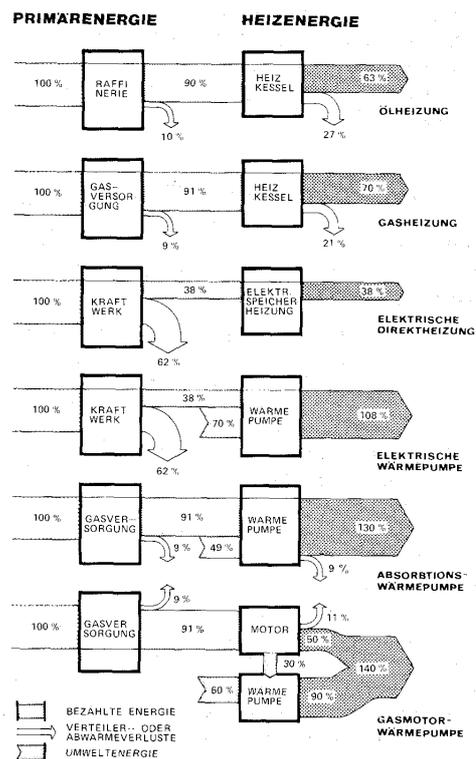


Abbildung 2-5: Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie bei den wichtigsten Wärmeerezeugungssystemen (Durchschnittswerte) [Wellpott].

⁴ Energieträger, die nach den Zeitmaßstäben des Menschen unendlich lange zur Verfügung stehen.

Sekundärenergieträger

Wird die ursprüngliche Form der Primärenergieträger durch Umwandlung oder Behandlung geändert, erhält man Sekundärenergieträger. Beispiele für Sekundärenergieträger:

- Strom aus Kohle oder Sonnenstrahlung
- Benzin oder Heizöl aus Rohöl
- Gas aus Kohle

Endenergieträger

Als Endenergieträger bezeichnet man Energieträger, die vom Verbraucher zur Deckung seines Energiebedarfes eingesetzt werden. Dabei kann es sich sowohl um Sekundärenergieträger als auch um Primärenergieträger handeln.

Nutzenergie

Nutzenergie ist diejenige Energiemenge, die dem Verbraucher nach der letzten Umwandlung des Energieträgers zur Deckung seiner Bedürfnisse zur Verfügung steht. Die Bedürfnisse des Menschen sind beispielsweise der Wunsch nach Behaglichkeit, der durch Wärme oder nach Kommunikation, Licht und Kraft.

Primärenergieintensität

Beschreibt das Verhältnis von Primärenergie und Bruttosozialprodukt. Wird etwa durch weniger energieintensive Produktion oder rationelle Energiewandlung oder -verwendung das gleiche Bruttosozialprodukt mit weniger Primärenergie erzielt, wird von einer Entkopplung gesprochen. Die Primärenergieintensität einer Volkswirtschaft ist aber auch von ihrer Wirtschaftsstruktur abhängig und damit kein alleiniges Maß für rationelle Energieverwendung oder Nutzung von erneuerbaren Energien.

Sekundärenergieintensität

Beschreibt das Verhältnis von Sekundärenergie und Bruttosozialprodukt.

2.3 Maßeinheiten der Energiewirtschaft

Als Standardmaß für den Energieinhalt fossiler Energieträger wird die sogenannte Steinkohleeinheit (SKE) definiert. Die Steinkohleeinheit normiert den Heizwert verschiedener fossiler Energieträger auf eine äquivalente Steinkohlemenge.

$1 \text{ kg Steinkohle (SKE) } = 7000 \text{ kcal } = 29,3 \text{ MJ } = 8,14 \text{ kWh}$

	kJ	kcal	kWh	kg SKE	kg Rohöl	m³ Erdgas
1 Kilojoule (kJ)	-	0,2388	0,000278	0,000034	0,000024	0,000032
1 Kilokalorie (kcal)	4,1868	-	0,001163	0,000143	0,0001	0,00013
1 Kilowattstunde (kWh)	3.600	860	-	0,123	0,086	0,113
1 kg Steinkohleeinheit (SKE)	29.308	7.000	8,14	-	0,7	0,923
1 kg Rohöleeinheit (RÖE)	41.868	10.000	11,63	1,428	-	1,319
1 m³ Erdgas	31.736	7.580	8,816	1,083	0,758	-

Tabelle 2-2: Umrechnungsfaktoren [TGA 1/97]

Energieträger	Menge	Heizwert [kWh]	SKE-Faktor
Steinkohle ⁵	1 kg	8,27	1,016
Petrolkoks	1 kg	8,14	1,000
Rohöl	1 kg	11,84	1,428
Erdgas	1 m³	8,81	1,083
Braunkohle ⁵	1 kg	2,36	0,290
Braunkohlenbriketts ⁵	1 kg	5,35	0,657
Brennholz	1 kg	4,07	0,500
Benzin	1 kg	12,09	1,486
Strom	kWh		
- in der Primärenergiebilanz		2,602	0,320
- in der Umwandlungsbilanz und beim Endenergieverbrauch		1	0,123

Tabelle 2-3: Heizwerte ausgewählter Energieträger [TGA 1/97]

2.4 Verbrennung

Die Reaktion von brennbaren Bestandteilen des Brennstoffes mit Sauerstoff, bei der chemisch gebundene Energie frei wird, bezeichnet man als Verbrennung. Die Verbrennung wird bei festen Brennstoffen durch Erwärmung und bei gasförmigen Brennstoffen durch die momentane Überschreitung der Zündgrenze mittels Zündfunken erreicht. Ein Brennstoff liegt in der Regel nicht als reine Substanz vor, sondern besteht aus mehreren verschiedenen Bestandteilen, von denen nur ein Teil verbrannt wird.

⁵ Dieser Durchschnittswert gilt für die Gesamtförderung bzw. Produktion

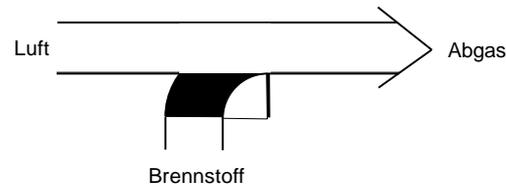


Abbildung 2-6: Prinzip der Verbrennung

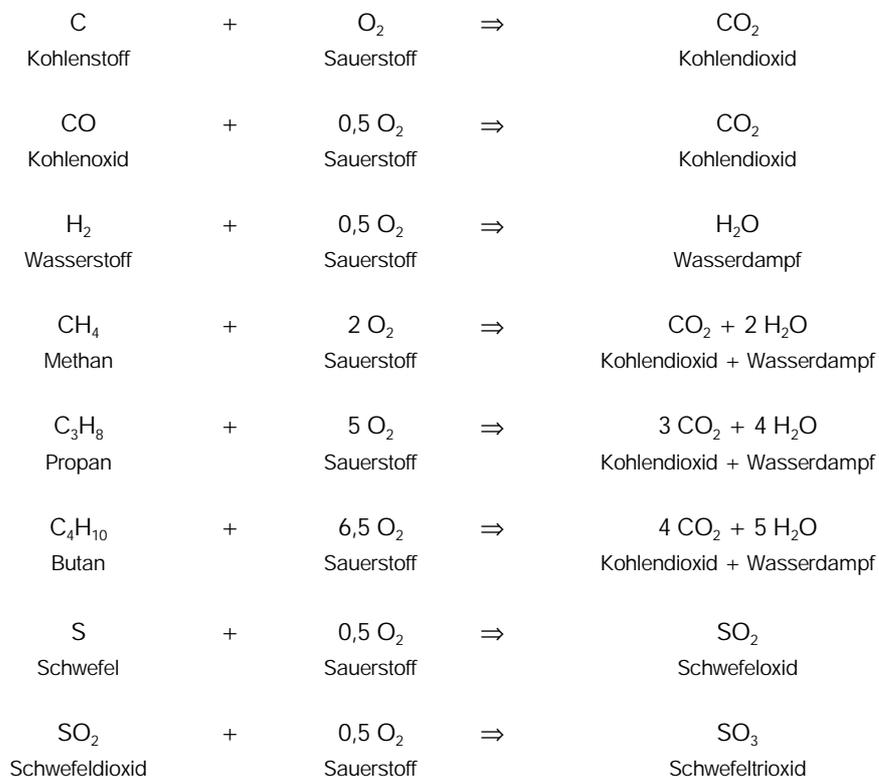
Der zur Verbrennung benötigte Sauerstoff ist zu einem sehr kleinen Anteil im Brennstoff selbst enthalten. Der weitaus größere Teil muß von außen über die Umgebungsluft zugeführt werden.

Je nachdem ob die brennbaren Bestandteile des Brennstoffes verbrannt werden oder nicht spricht man von einer vollständigen bzw. unvollständigen Verbrennung.

Vollständige Verbrennung: Alle Bestandteile sind zu CO_2 , H_2O und SO_2 verbrannt.

Unvollständige Verbrennung: Nach der Verbrennung treten brennbare Gase wie CO , H_2 und CH_4 oder fester Kohlenstoff in Form von Ruß auf.

Die Verbrennungsgleichungen beschreiben die chemischen Reaktionen von Sauerstoff mit Kohlenstoff bzw. mit den anderen Bestandteilen von Brennstoffen:



Unvollständige Verbrennung bedeutet einen Verlust an chemisch gebundener Energie und erhöhte Abgaswerte. Die Ursachen einer unvollständigen Verbrennung sind Luftmangel, ungenügende Durchmischung von Brennstoff und Luft, oder eine nicht ausreichende Verbrennungszeit.

Die Kontrolle der Verbrennung kann am einfachsten über eine Abgasmessung von CO_2 , CO , O_2 und N_2 im trockenen Abgas vorgenommen werden.

Schadstoffemissionen aus Feuerungsanlagen führen zu einer schädlichen Umwelteinwirkung (Immission). Die wichtigsten Schadstoffe sind:

- Schwefeldioxid und seine Verbindungen
- Kohlenmonoxid
- Stickoxide
- Kohlenwasserstoffe
- Stäube und Aerosole

Zur Reduktion der Umweltbelastung stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung:

- Vorbehandlung von Brennstoffen und Verwendung von schadstoffarmen Brennstoffen
- Maßnahmen im prozeßtechnischen Ablauf der Verbrennung
- Abgasreinigungsverfahren

Maßnahmen im prozeßtechnischen Ablauf der Verbrennung zur Verringerung der Schadstoffemissionen sind nur begrenzt und auch nur für einzelnen Schadstoffe möglich; z.B. können Maßnahmen zur Reduzierung des Stickoxidgehaltes vielfach die Emissionsrate von Kohlenmonoxid erhöhen. Deshalb sind bei der Verbrennung vorzugsweise Brennstoffe mit der geringsten Umweltbelastung wie z.B. Brenngase einzusetzen.

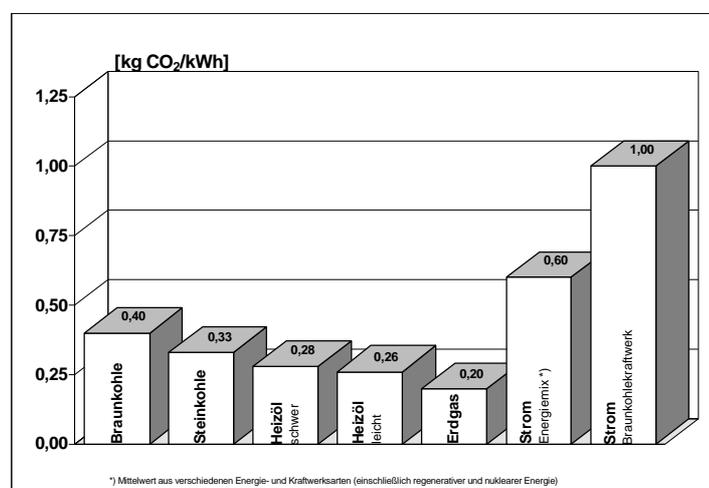


Abbildung 2-7: Kohlendioxidemissionen unterschiedlicher Energieträger [TGA 1/97]

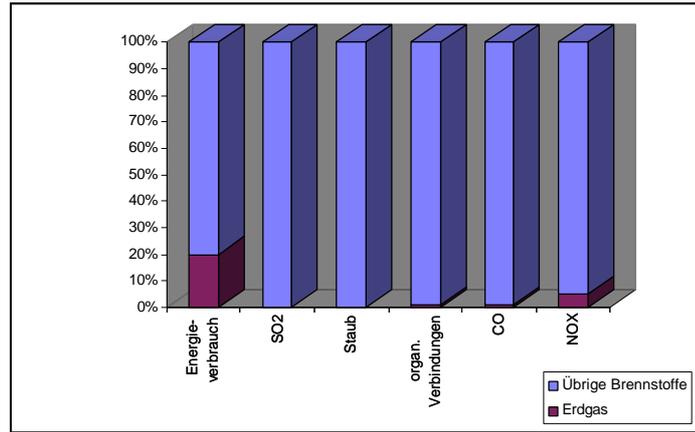


Abbildung 2-8: Schadstofffreisetzung von Erdgas im Vergleich zu übrigen Brennstoffen Bundesrepublik Deutschland (alte Länder ohne Prozesse) [TGA 1/97]

2.5 Heizwert/Brennwert

Der **Brennwert** kennzeichnet die Wärmemenge, die bei der Verbrennung einer bestimmten Stoffmenge entsteht. Dieser Wert ist abhängig von dem Brennstoff und seiner Zusammensetzung (Wassergehalt, Anteil und Art der brennbaren Bestandteile). Enthält eine zu verbrennende Substanz Wasser, so wird ein Teil der Verbrennungswärme zur Verdampfung des Wassers verbraucht und geht mit dem Abgas verloren. Die tatsächliche Wärmeabgabe eines Stoffes ist deshalb um diesen Energiebetrag geringer. Von dem Ganzen d.h. **Brennwert** muß man daher die Verdampfungswärme des enthaltenen oder entstehenden Wasser abziehen, um den ausnutzbaren **Heizwert** zu erhalten.

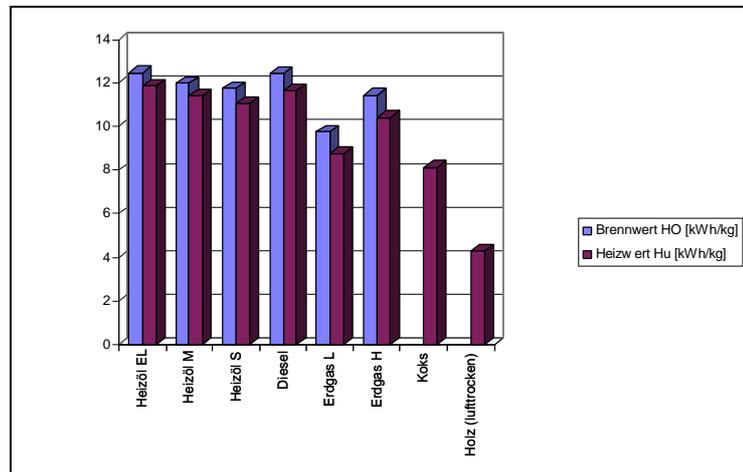


Tabelle 2-1: Brenn- und Heizwerte verschiedener Stoffe [TGA 1/97]

3 Wärmebedarf von Gebäuden

3.1 Wärmebedarf / Wärmeverbrauch⁶

Der **Wärmebedarf** eines Gebäudes ist die theoretische Wärmemenge, die notwendig ist, um die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste auszugleichen. Dieser rein rechnerische Wert ergibt sich aus der Heizlastberechnung nach DIN 4701 bzw. Wärmeschutzverordnung (siehe hierzu Kapitel 3.3 und 3.4).

Der **Wärmeverbrauch** hingegen ist die Wärmemenge, die tatsächlich benötigt wurde. Die Abweichungen zwischen Wärmebedarf und Wärmeverbrauch ergeben sich z.B. aus dem Nutzerverhalten, der Bauausführung und den tatsächlichen Witterungsbedingungen (Wind, Lufttemperatur, Sonnenscheindauer, ...).

Aufgrund der meistens nicht unerheblichen Abweichungen zwischen Wärmebedarf und -verbrauch ist die klare Differenzierung im Sprachgebrauch notwendig.

3.2 Heizleistung / Heizwärme / Heizenergie

Die Beschreibung und Differenzierung von Heizleistung und -wärme soll hier anhand eines Beispiels erfolgen: Eine Gebäudeheizung hat eine **Heizleistung** von z.B. 15 kW. Diese Heizung ist über 20 h in Betrieb. Die freigesetzte **Heizwärme** beträgt 300 kWh.

$$\text{Wärme} = \text{Leistung} \times \text{Zeit}$$

Die Begriffe Leistung und Wärme werden sehr oft verwechselt. Gerade bei der Heizungslegung nach DIN 4701 (siehe Kapitel 3.3), bzw. der Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfes nach Wärmeschutzverordnung (WSVO) (siehe Kapitel 3.4) kann dieses zu elementaren Problemen und Fehlern führen.

Der Unterschied zwischen Heizwärme und Heizenergie ist stark vereinfacht folgender:

Die **Heizenergie** wird einem Haus in Form von Sekundärenergie (z.B. Gas, Öl, Strom, ...) zugeführt. Im Haus wird sie umgewandelt (unter Verlusten), dem Raum über ein Verteilsystem (mit Hilfe von Transportenergie) zugeführt und dort als **Heizwärme** von der Heizfläche abgegeben.

$$\text{Heizenergie} = \text{Heizwärme} + \text{Transportenergie} + \text{Verluste}$$

⁶ Umgangssprachlich auch Energiebedarf / Energieverbrauch genannt. Diese Gleichsetzung ist aber nicht korrekt (siehe Kapitel 3.2).

Weiterhin kann unterschieden werden [Epass; vereinfacht]:

- **Heizwärmebedarf (HWB)**
Wärmebedarf für die Raumheizung
- **Wärmebedarf für Warmwasserbereitung (WWB)**
- **Gesamtwärmebedarf (GWB)**
 $GWB = HWB + WWB$
- **Transportenergiebedarf (TEB)**
Energiebedarf für den Transport der Energie vom Wärmeerzeuger zu den Wärmeabnehmern für elektrische Verbraucher
- **Heizenergiebedarf (HEB)⁷**
 $HEB = HWB + TEB + \text{Verluste}$
- **Energiebedarf für die Warmwasserbereitung (WEB)⁷**
 $WEB = WWB + TEB + \text{Verluste}$
- **Gesamtenergiebedarf (GEB)**
 $GEB = HEB + WEB + TEB$

3.3 Heizlastberechnung nach DIN 4701^{8,9}

Die Heizlast, d.h. der maximale Wärmebedarf und damit die maximale Leistung¹⁰ des Heizsystems, ergeben sich aus der niedrigsten angenommenen Außentemperatur. Wie die folgende Abbildung zeigt, ist diese Spitzenleistung nur an sehr wenigen Tagen im Jahr erforderlich und nur 50% dieser maximalen Heizleistung würden genügen, um 90% des Heizenergiebedarfes abzudecken. Eine Auslegung des gesamten Heizsystems für den Spitzenwert scheint in Hinblick auf die erwünschte Auslastung (Effektivität) nicht sinnvoll. Es kann wirtschaftlicher sein, verschiedene Heizsysteme zu kombinieren:

Ein System deckt den Hauptwärmebedarf bis zu einer bestimmten Außentemperatur ab und wird bei niedrigeren Temperaturen von einem anderen System ergänzt.

⁷ vereinfachte Darstellung

⁸ Der Begriff Heizlast löst den Begriff Wärmebedarf ab, da Wärmebedarf irreführend ist. Im Überarbeitungsentwurf der DIN 4701 (8/95) wurde der Titel der DIN auch von „Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden“ in „Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden“ geändert. Das Ergebnis der Berechnung nach DIN 4701 ist eine Leistungsangabe und hat die Einheit kW. Den Unterschied zu Wärme mit der Einheit kWh zeigt das Kapitel 3.2. Das Ergebnis der Berechnung nach DIN 4701 läßt keinen Aufschluß auf den Jahresheizwärmebedarf zu. Hierzu ist eine Berechnung nach der WSVO oder DIN V 4108 T 6 unerläßlich.

⁹ Dieses Kapitel ist auf der Grundlage von [Ihle, Schmidt, HfH, DIN4701T183] entstanden. Besonders empfehlenswert erachtet der Autor das [HfH]

¹⁰ die sich durch die DIN 4701 ergibt (s.a. Kapitel 3.3)

Beispiel: Eine Wärmepumpe¹¹ bringt die erforderliche Heizenergie für Außentemperaturen über +8 °C auf und deckt damit den größten Teil des gesamten Heizenergiebedarfs ab. Bei niedrigeren Außentemperaturen wird ein Gasheizkessel zugeschaltet.

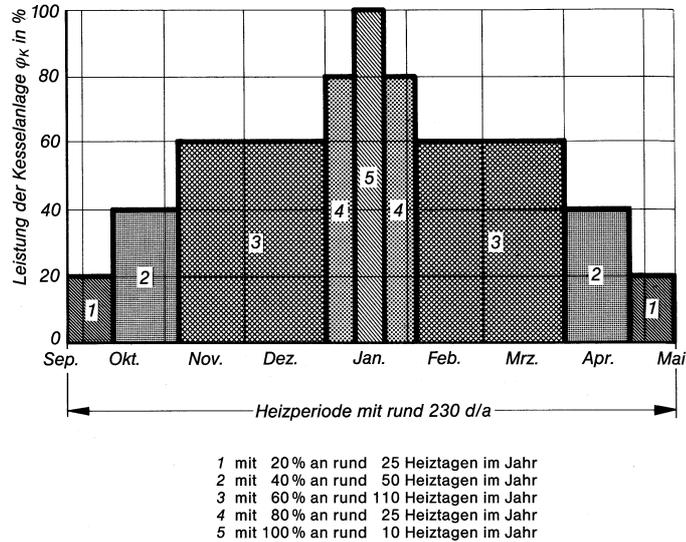


Abbildung 3-1: Lastverteilung bei Kesselanlagen während einer Heizperiode [HfH]

Das Ergebnis der Heizlastberechnung nach DIN 4701 ist die Leistung, die notwendig ist, ein Gebäude ausreichend mit Wärme zu versorgen.

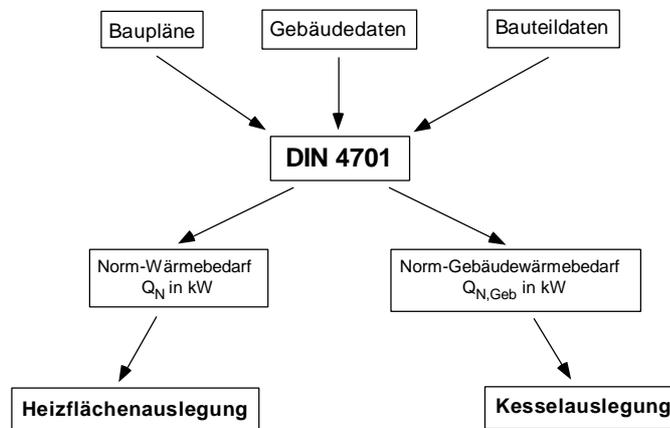


Abbildung 3-2: Funktion der DIN 4701

Bei der Berechnung wird für jeden Raum getrennt der Norm-Wärmebedarf Q_N errechnet der sich aus dem Transmissionswärmebedarf Q_T und den Lüftungswärmebedarf Q_L ergibt. Ausgegangen wird vom „größten anzunehmenden Ernstfall“, d.h. das Norm-

¹¹ siehe hierzu auch Kapitel 9

Witterungsbedingungen¹² als Grundlage dienen, solare und innere Wärmegewinne¹³ aber unberücksichtigt bleiben.

$$Q_N = Q_T + Q_L$$

Bei der raumweisen Berechnung des Wärmebedarfes werden auch die Wärmeverschiebungen innerhalb des Gebäudes¹⁴ berücksichtigt. Die Wärmeverluste von Räumen durch Innenwände sind teilweise nicht unerheblich. Dadurch, dass Innenwände i.d.R. nicht gedämmt sind, sind sie wärmetechnisch nicht vorhanden¹⁵. „Ungeheizte Räume“ werden von den Nachbarräumen mit Wärme versorgt.

Durch die raumweise Bestimmung des Wärmebedarfes können die notwendigen Heizflächen proportioniert werden.

Die Summe der Einzelräume ergibt den Norm-Gebäudewärmebedarf $Q_{N,Geb}$ der die Größe des Kessels bestimmt.

$$Q_{N,Geb} = \sum Q_N$$

Im Weiteren sind einige elementare Bestandteile der Wärmebedarfberechnung auszugswise noch näher erläutert.

Norm-Transmissionswärmebedarf

Der Norm-Transmissionsbedarf ist die Summe aller Wärmeströmungen (s.a. Kapitel 1.2) eines Raumes durch seine Umschließungsflächen. Hierbei braucht es sich nicht nur um Wärmeverluste zu handeln, da es auch Wärmegewinne aus stärker beheizten Nebenräumen geben kann.

$$Q_T = \sum (A \times k \times \Delta T)$$

A = wärmeübertragende Fläche

k = Wärmedurchgangskoeffizient

ΔT = Temperaturdifferenz

¹² statistische regionale Tiefsttemperatur und Windverhältnisse

¹³ die bei der Berechnung des Jahres-Heizenergiebedarfs nach WSVO mit einbezogen werden

¹⁴ bei Temperaturdifferenzen zwischen zwei Räumen (z.B. Bad mit 22°C zu Flur mit 15°C)

¹⁵ das „tagsüber-gekippte-Schlafzimmerfenster“ sorgt deswegen für große Wärmeverluste auch bei ausgestellttem Heizkörper

Außentemperatur / Außentemperatur-Korrektur

Die der Berechnung zu Grunde liegende, von der geographischen Lage abhängende Norm-Außentemperatur¹⁶ wird der Speicherfähigkeit des Gebäudes angepaßt. In der Norm [DIN 4701T183] wird davon ausgegangen, daß bei größerer Masse und daraus resultierenden trägen termischen Verhaltens, die Norm-Außentemperatur nicht im vollem Umfang angesetzt werden muß, da Tiefsttemperaturen zeitlich nur kurz auftreten und vollständig gepuffert werden.

Im Überarbeitungsentwurf der Norm [DIN4701T195E] wird diese Außentemperatur-Korrektur ersatzlos gestrichen. Im Vorwort dieser DIN heißt es hier zu:

„Die in Ausgabe März 1983 eingeführte Norm-Außentemperaturkorrektur, mit der die spitzenlastmindernde Wirkung der Wärmespeicherfähigkeit berücksichtigt wurde, ist aus folgenden Gründen wieder entfallen: Der seinerzeitig wesentliche negative Einfluß höherer Auslegungsleistungen auf den Jahresnutzungsgrad von Heizkesseln ist durch den hohen Stand der Kesselentwicklung nicht mehr gegeben. Außerdem hat die Erfahrung gezeigt, daß das Berechnungsverfahren in der Ausgabe März 1983 praktisch keine Sicherheitsreserven mehr enthält. Da die -heizlastmindernde - Außentemperaturkorrektur außerdem den Berechnungsaufwand deutlich erhöhte, erscheint dieser aus heutiger Sicht nicht mehr angemessen.“

Es wird sich zeigen, welcher Rechenansatz in Zukunft verwendet wird.

Lüftungswärmebedarf

$$Q_L = \max(Q_{L_{\min}}, Q_{FL} + Q_{RLT})$$

mit:

$Q_{L_{\min}}$ = Mindest-Lüftungswärmebedarf aus hygienischer Sicht

Q_{FL} = Lüftungswärmebedarf für Fügenlüftung in Abhängigkeit von der Höhe, der Windlage und der Dichtheit des Gebäudes

Q_{RLT} = Lüftungswärmebedarf durch raumlufhtechnische Anlage (mechanische Lüftung)

Darin liefert die Funktion $\max(a,b)$ das Maximum aus a und b, also a für $a \geq b$ und b für $a < b$.¹⁷

¹⁶ Daten für alle Orte mit mindestens 20.000 Einwohnern sind in der DIN aufgeführt

¹⁷ Das heißt, daß sowohl $Q_{L_{\min}}$ und Q_{FL} errechnet werden müssen und der größere Wert zum Tragen kommt

3.4 Jahres-Heizwärmebedarf nach Wärmeschutzverordnung (WSVO)¹⁸

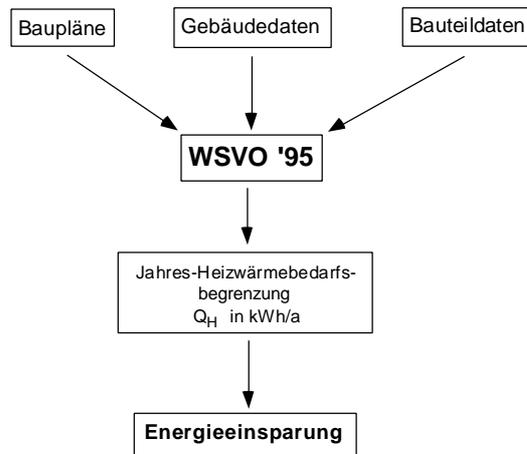


Abbildung 3-3: Funktion der WSVO '95

Die erste Wärmeschutzverordnung wurde im Jahr 1977 auf Grundlage des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) erlassen. Sie wurde zur Minderung des Energiebedarfes im häuslichen Bereich eingeführt. 1982 und 1995 wurde sie novelliert, mit dem Ergebnis, daß Gebäude jetzt nur noch einen Jahres-Heizwärmebedarf von 100 kWh/m²a haben dürfen [Rathert].

Mit Hilfe der Wärmeschutzverordnung wird der Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/a] errechnet, der nach WSVO '95 wie folgt definiert ist:

§2 (WSVO)

Begriffsbestimmungen

(1) Der Jahres-Heizwärmebedarf eines Gebäudes im Sinne dieser Verordnung ist diejenige Wärme, die ein Heizsystem unter den Maßgaben des [...] angegebenen Berechnungsverfahrens jährlich für die Gesamtheit der beheizten Räume dieses Gebäudes bereitzustellen hat.

¹⁸ als Grundlage für dieses Kapitel dienen die Erläuterungen zur WSVO '95 von [Rathert] und [Ziegel]

Der Jahres-Heizwärmebedarf Q_H errechnet sich nach folgender Formel¹⁹:

$$Q_H = 0,9 \times (Q_T + Q_L) - (Q_i + Q_s) \quad \text{in kWh/a}$$

mit:

Q_T = Transmissionswärmeverlust

Q_L = Lüftungwärmeverlust

Q_i = interne Wärmegewinne

Q_s = solare Wärmegewinne

0,9 = Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Teilbeheizungen

3.5 Warmwasser²⁰

Warmwasserwärmebedarf

Im Haushalt wird Wasser in unterschiedlichen Temperaturbereichen und Mengen benötigt. Untersuchungen zur Bedarfsermittlung zeigen, daß die Verbrauchszahlen im Haushalt sehr unterschiedlich sind.

Der durchschnittliche Wasserverbrauch (Warm- und Kaltwasser) liegt bei rund 140 Liter pro Person und Tag. Davon werden durchschnittlich 1/3 als warmes Wasser benötigt.

Dies entspricht einem Wärmebedarf von ca.

1,2 bis 2,0 kWh pro Person und Tag

bzw.

400 bis 660 kWh pro Person und Jahr.

Für einen Drei-Personen-Haushalt ergibt sich daraus ein Warmwasserwärmebedarf von ca. 1200 bis 2000 kWh pro Jahr.

Warmwasserenergiebedarf

Der Warmwasserenergiebedarf ergibt sich aus dem Warmwasserwärmebedarf unter Berücksichtigung zusätzlicher Wärmeverluste.

¹⁹ bei der Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfes wird mit den Klimadaten von Würzburg gerechnet, um die spätere Vergleichbarkeit zu gewährleisten

²⁰ Als Grundlage für die Abschnitte Warmwasserwärmebedarf, Warmwasserenergiebedarf und Wärmeverluste diente das Kapitel 4.2.3 aus [HiG]

Je nach vorhandenem Warmwassersystem können die Jahresnutzungsgrade solcher Anlagen sehr stark schwanken (25 bis 85 %).

Wärmeverluste

Wärmeverluste (s.a. Kapitel 3.3) entstehen bei der

- Wärmeerzeugung
- Warmwasserspeicherung
- Warmwasserverteilung.

Die Höhe der Verluste kann sehr unterschiedlich sein und ist vor allem von der Versorgungsart abhängig. Um die Verluste gering zu halten sind

- bedarfsangepaßteWassererwärmungssysteme
- bedarfsgerechte Speichermengen
- niedrige Wassertemperaturen
- kurze Leitungswege

bei der Planung von Neuanlagen anzustreben. Bei der Beurteilung vorhandener Anlagen sind die gleichen Kriterien heranzuziehen.

Warmwassersysteme haben einen vom Warmwasserverbrauch abhängigen Wirkungsgrad. Mit sinkendem Warmwasserverbrauch verringert sich der Wirkungsgrad.

Wärmeverluste bei der Speicherung von warmem Wasser sind bei allen Energieträger gleich hoch. Entscheidend hierbei sind Speichermenge und -temperatur sowie der Aufbau des Speichers.

Jede Verteilung von warmem Wasser verursacht Wärmeverluste. Sie sind abhängig von Wassertemperatur, Leitungsquerschnitt und -länge. Warmwasserleitungen müssen wärme gedämmt werden.

Berechnungsgrundlagen Warmwasserbedarf

Der Warmwasserbedarf wird nach der DIN 4708 errechnet. In [RWE-Energie] werden als überschlägige Richtwerte folgende genannt:

30 Liter / (Person × Tag) bei 45°C

bzw.

20 Liter / (Person × Tag) bei 60°C

Brauchwasser-Bedarfsfälle für:	Brauchwasser-Bedarfsmenge (l)	Brauchwasser-Temperatur (°C)	Benutzungs-Zeitraum (ca. min)
<i>Reinigung:</i>			
Hände	5	37	4
Gesicht	5	37	4
Zähne	0,5	37	4
Füße	25	37	6
Oberkörper	10	37	10
Unterkörper	10	37	10
Körper, ganz	40	37	15
Kopfwäsche	20	37	10
Kinderbad	30	40	5
<i>Baden</i>			
Vollbad	150	40	15
Sitzbad	40	40	5
Fußbad	25	40	5
Duschbad	45	40	6
<i>Körperpflege:</i>			
Naßrasur	1	37	4
<i>Haushalt:</i>			
Kleinwäsche	7,5	40	10
Geschirr	25	55	10
Hausputz	30	40	2

Abbildung 3-4: Brauchwassermenge, Temperatur und Benutzungszeitraum für die Auswahl von Einzel- und Gruppen-Brauchwassererwärmern [Harder]

Soll zum Beispiel die Warmwasserbereitung mit einem Durchlauf-Wassererwärmer²¹ müssen folgende Heizleistungen vom System erbracht werden [Ruhrgas]:

$$Q = m \times c \times (t_2 - t_1)$$

mit:

Q = Wärmeleistung in kW

m = Durchfluß in l/s

c = spezifische Wärmekapazität des Wassers = 4,19 kJ/(l × K)

t₁ = Warmwassertemperatur am Eintritt des Wärmeerzeugers in °C oder K

t₂ = Warmwassertemperatur am Austritt des Wärmeerzeugers in °C oder K

Für ein Duschbad ergibt sich dann folgende Rechnung:

m = Der Durchfluß wird mit 10 l/min = 0,167 l/s angesetzt, um einen akzeptablen Wasserstrahl zu erhalten

t₁ = 10°C

t₂ = 40°C

²¹ Strom- oder Gas-Durchlauferhitzer

Als Faustformel ist im [Wellpott] für die notwendige Heizleistung folgendes angegeben:

$$Q = m \times 2$$

mit Q in kW und m in l/min bei 40°C

Soll eine Wanne innerhalb von 10 min mit 150 l gefüllt werden, ergibt sich folgendes:

$$m = 150 \text{ l}/10 \text{ min} = 15 \text{ l}/\text{min} = 0,25 \text{ l}/\text{s}$$

$$t_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 40^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q &= m \times c \times (t_2 - t_1) \\ &= 0,25 \text{ l}/\text{s} \times 4,19 \text{ kJ}/(\text{l} \times \text{K}) \times 30 \text{ K} \\ &= 31,43 \text{ kW} \end{aligned}$$

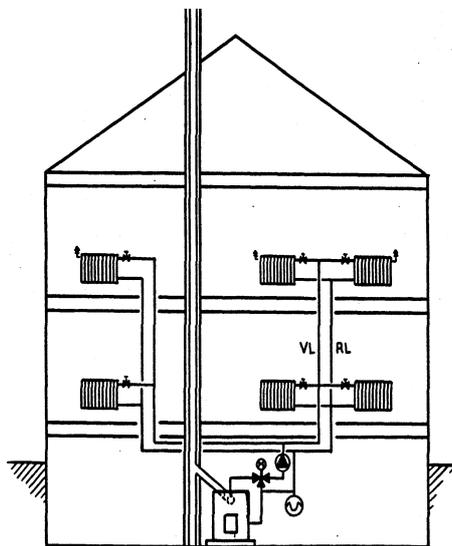
Dieser Wert ist relativ groß. Zum Beispiel werden elektrische Durchlauferhitzer am Markt i.d.R. in Größenordnungen von 21-24 kW angeboten. Soll ein elektr. Durchlauferhitzer eingesetzt werden wäre eine Leistung von 24 kW anzusetzen und es würde sich eine Einlaufzeit von 13,1 min ergeben.

4 Heizsysteme

4.1 Warmwasser-Zentralheizung

Mit Warmwasserheizung oder Warmwasser-Zentralheizung bezeichnet man Heizsysteme, bei denen Wasser als Träger der Wärmeenergie eingesetzt wird. Das Wasser zirkuliert in einem Leitungssystem zwischen einem zentralen Heizkessel, der dem Wasser Energie zuführt und dem Heizkörper, der die Wärmeenergie an den Raum abgibt.

Das Leitungssystem läßt sich in Vorlauf (vom Kessel zum Heizkörper) und Rücklauf (vom Heizkörper zum Kessel) unterscheiden.



Bauteile einer Warmwasserheizung

Kessel	Heizflächen
Schornstein	Verrohrung
Heizraum	Regelung
ggf. Brennstofflager	

Abbildung 4-1: Warmwasserzentralheizung [TGA 1/97]

4.2 Warmluftheizung²²

Warmluftheizungen nehmen zirkulierende Luft als Wärmeträger. Die in Luftheizgeräten erwärmte Luft wird durch Warmluftleitungen den zu beheizenden Räumen geführt, kühlt sich hier ab und kehrt wieder zum Gerät zurück, wo der Kreislauf von neuem beginnt. Bei diesem System wird die warme Luft zentral erwärmt.

Eine weitere Variante der Warmluftheizung gibt es in Verbindung mit Lüftungsanlagen. Durch Einsatz von Wärmetauschern wird dem Zuluftstrom Wärme zugeführt. Diese Nachheizregister werden entweder mit Warmwasser oder elektrischen Strom geheizt.

²² Der erste Absatz ist Auszugsweise aus [Recknagel], Kapitel 222-3 entnommen.

4.3 (Elektro-)Direktheizung

Unter dem Begriff faßt man alle Heizungsarten zusammen, die Strom zur Erzeugung von Wärme benutzen.

- Heizlüfter: Durch Strom erhitzte Heizdrähte erwärmen die mechanisch (Ventilator) zugeführte Luft. Diese Kleingeräte verfügen meist über ein Thermostat, das bei Erreichen der eingestellten Temperatur das ganze Gerät oder bei Gefahr von Überhitzung die Stromversorgung der Heizdrähte abschaltet. Leistung ca. 1000-2000 W.
- Elektroradiator. Dieser transportable Heizkörper ist äußerlich dem klassischen Warmwasserradiator der Zentralheizung nachempfunden. Diese Geräte sind meist mit Öl (seltener mit Wasser) gefüllt, das elektrisch erhitzt und als Träger der Heizenergie eingesetzt wird.
- Nachtstromspeicherheizung. Zu bestimmten Zeiten, etwa nachts nach 24 Uhr, wenn der Stromverbrauch stark zurückgeht, sind die Kapazitäten der Stromversorger nicht ausgelastet. Die meisten bieten daher zu diesen Zeiten einen sog. Nacht- oder Niedrigtarif an. Nachtspeicheröfen nutzen den billigeren Strom, um ihren Speicherkern aufzuheizen. Dieser besteht zumeist aus besonders speicherfähigem Stein. Das Gerät gibt seine Wärme an die Raumluft ab. Bei erhöhtem Wärmebedarf regelt ein externes Thermostat die Zuschaltung eines integrierten Gebläses, welches den Luftdurchsatz und somit die Wärmeabgabe erhöht. Die über Nacht gespeicherte Wärme reicht je nach Wärmebedarf bis Mittags oder Abends aus. Nachts, zu Billigtarifzeiten ist Heizen nicht sinnvoll, da die Geräte nicht gleichzeitig Speichern und Heizen können. Sollten die Räume nachts beheizt werden, ist der Ofen am nächsten Morgen kalt. Die Gebläseunterstützung sorgt für eine staubige, bei älteren Geräten zudem asbesthaltige Raumluft. Fensterlüftung sollte man vermeiden, um die meist unter den Fenstern platzierten Öfen nicht zu stark abzukühlen.

Für alle elektrisch betriebenen Heizungstypen gilt:

Heizen mit Strom ist unwirtschaftlich und ökologisch bedenklich. Den unter Einsatz von Wärmeenergie erzeugten Strom, wiederum zum Heizen zu verwenden, ist Energieverschwendung!

5 Wärmeabgabe an den Raum

Die Wärmeabgabe an den Raum kann über unterschiedliche Wege erfolgen, entweder durch Heizkörper, Heizflächen, Heizstrahler oder durch Zuführung erwärmter Luft. Werden Heizkörper bzw. -flächen in Verbindung mit einem Zentralheizungssystem verwendet, so dient i.d.R. warmes Wasser als Wärmeträgermedium (s.a. Kapitel 4.1). Handelt es sich um dezentrale Heizsysteme, sind es meist elektrische Widerstandsheizsysteme (s.a. Kapitel 4.3).

Sofern Fenster nicht mit Wärmeschutzverglasung ausgeführt sind, müssen Heizmedien den Kaltluftabfall an der Verglasung abschirmen. Zum Beispiel erhalten Fußbodenheizungen (siehe Kapitel 5.2) ggf. eine Randzonenbeheizung.

5.1 Heizkörper

Heizkörper haben eine überwiegend konvektive Wärmeabgabe. Es wird differenziert zwischen:

- Konvektoren
- Radiatoren und Plattenheizkörper (relativ hoher Strahlungsanteil)

Konvektionsheizungen zeichnen sich durch geringere Anlagekosten und eine gute Anpassung an einen wechselnden Wärmebedarf (schnelles Aufheizen und rasches Anspringen auf Regelvorgänge) aus. Auch können nachträglich Änderungen vorgenommen werden. Weniger günstig ist eine vermehrte, durch die verstärkte Luftbewegung verursachte Staufaufwirbelung.

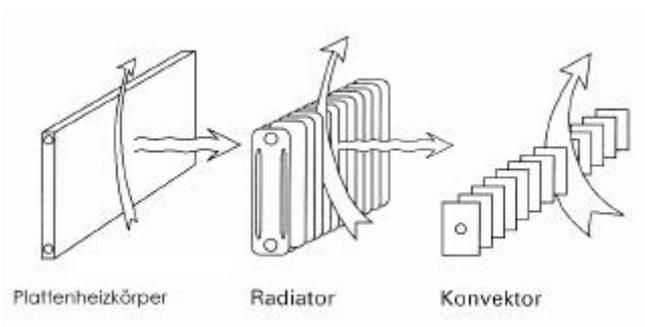


Abbildung 5-1: Wärmeabgabe unterschiedlicher Heizflächentypen [Schmid]

Radiatoren

Stahlradiatoren (Abbildung 5-2) werden aus mehreren Gliedern zu einem Block verschweißt. Sie sind relativ preisgünstig.

Gußradiatoren haben einen geringen Marktanteil. Sie zeichnen sich durch hohe Korrosionsbeständigkeit aus, sind aber teurer und schwerer als Stahlradiatoren.

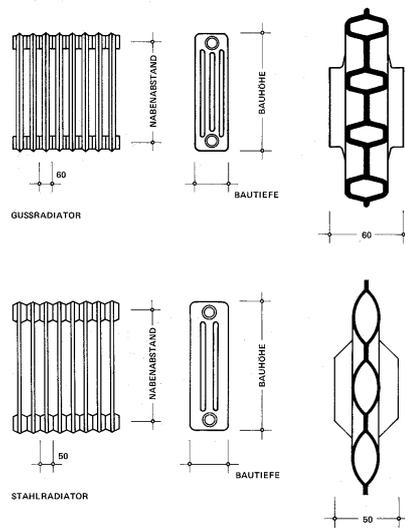


Abbildung 5-2: Radiatoren [Wellpott]

Röhrenheizkörper aus Stahlrohren sind besonders kinderfreundlich, da sie keine scharfen Kanten haben.

Plattenheizkörper

Auch als Flachheizkörper bezeichnet, bestehen aus glattem oder profiliertem Stahlblech. Die Vorderseite gibt die Wärme überwiegend in Form von Strahlung ab, die übrigen Flächen konvektiv.

Die Möglichkeit diese flachen Heizkörper ohne Nischen direkt auf die Wand setzen zu können, bietet sich besonders für die systembedingt größeren Niedertemperatur-Heizungen an, die in fensterbreiten Heizkörpernischen oft nicht mehr unterzubringen sind (Abbildung 5-3).

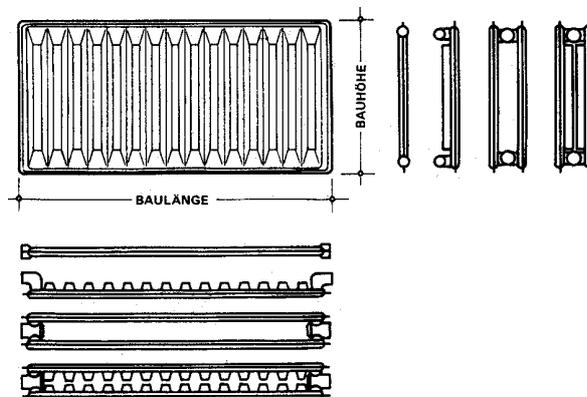
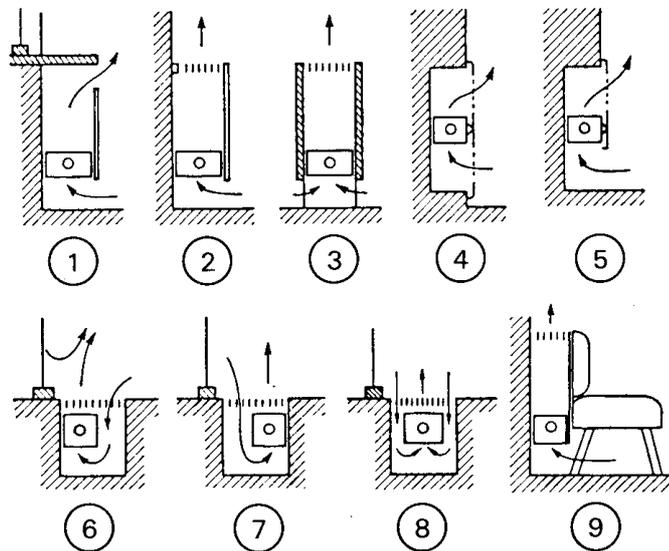


Abbildung 5-3: Plattenheizkörper mit Konvektionsrippen [Wellpott]

Konvektoren

Sie bestehen aus dicht mit Blechlamellen besetzten Rohren, die in schachtartige Nischen eingebaut sind, oder sich hinter einer Verblendung befinden (Abbildung 5-4). Die Wärmeabgabe erfolgt ausschließlich über Konvektion.



1 unter Fenster, 2 vor glatter Wand, 3 freistehend, 4 und 5 in Wand eingebaut, 6 Unterflurkonvektor mit Raumluftansaugung, 7 Unterflurkonvektor mit Kaltluftansaugung, 8 Unterflurkonvektor mit beidseitiger Ansaugung, 9 Konvektor hinter Bank

Abbildung 5-4: Verschiedene Einbaumöglichkeiten von Konvektoren [Ruhrgas]

Unterflurkonvektoren ermöglichen in erdgeschossigen Räumen die Abschirmung wandhoher Verglasungen, ohne Verwendung störender Heizkörper. Problematisch ist dabei häufig die Reinigung der Heizkörperschächte.

Unterflurkonvektoren können eine sinnvolle Ergänzung zu einer Fußbodenheizung sein, da sie in den Übergangszeiten (Herbst/Frühjahr) die Raumheizung übernehmen können, ohne daß die träge reagierende Fußbodenheizung in Betrieb genommen werden muß.

Platzbedarf von Heizkörpern

Eine grobe Einschätzung der Größe eines Heizkörpers kann bei Kenntniß des spezifischen Wärmebedarfes eines Raumes vorgenommen werden.

Beispiel:

Raumgröße: 20 qm, Niedrigenergiehaus mit Wärmebedarf 50 W/m²
Daraus ergibt sich für diesen Raum eine erforderliche Heizleistung von 1000 W = 1kW

Mit Hilfe der Abbildung 5-5 läßt sich die nötige Heizkörperfläche in Abhängigkeit der Vor- und Rücklauftemperatur des Heizsystems ablesen. Es wird deutlich, daß ein mit geringeren

Temperaturen betriebener Heizkörper unabhängig vom Heizkörpertyp (Radiator, Konvektor, Plattenheizkörper) einen erhöhten Platzbedarf aufweist. Hierbei wird ebenfalls deutlich, daß Plattenheizkörper bei gleicher Heizleistung eine größere Fläche als Radiatoren benötigen.

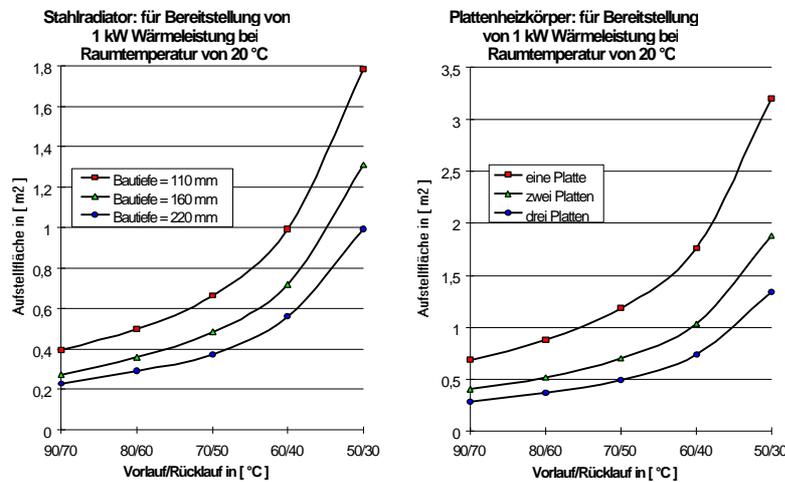


Abbildung 5-5: Platzbedarf von Radiatoren und Plattenheizkörpern

5.2 Flächenheizungen²³

Im Gegensatz zu den mehr oder weniger frei im Raum angeordneten Kompaktheizkörpern sind Flächenheizungen eine Art Niedertemperatur-Strahlungsheizung, die ihre Wärme über großflächige Heizebenen abgeben. Sie erlauben bei gleicher Behaglichkeit niedrigere Raumlufttemperaturen als konventionelle Systeme. Dies führt speziell bei hohen Luftwechselraten zu einem geringeren Energieverbrauch.

Als Heizebenen dienen fast ausschließlich die Raumumschließungsflächen, d.h. entweder die Raumdecken, Wände oder Fußböden. Aus wärmephysiologischen Gründen bleiben die Oberflächentemperaturen in niedrigen Bereichen, d.h. unter 30°C oder in Einzelfällen auch bis äußerstenfalls 40°C.

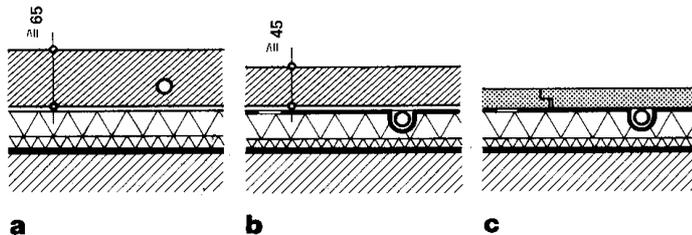
Strahlungsheizflächen sind:

- Fußbodenheizungen
- Decken- und Wandflächenheizungen

²³ Die Einleitung zu diesem Abschnitt ist das Kapitel 9.4 aus [HfH].

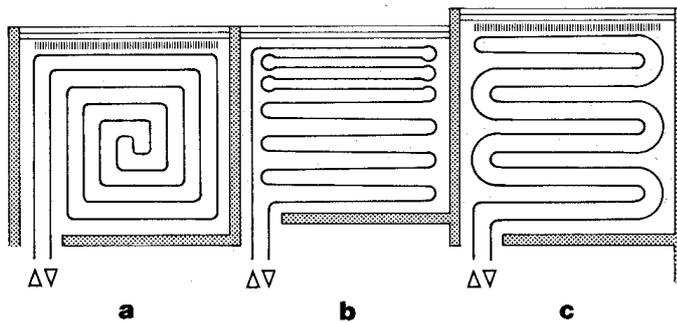
Fußbodenheizung

Sie besteht aus innerhalb- bzw. unterhalb des Estrichs angeordneten Rohrleitungen. Zur Rohdecke hin ist eine ausreichend dimensionierte Dämmschicht, die je nach Nutzung des darunter befindlichen Raumes in ihrer Stärke variiert, anzuordnen. Die Wärmeschutzverordnung sieht einen Wärmedurchgangskoeffizienten gegen unbeheizte Räume von kleiner $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ vor. Er läßt sich beispielsweise mit einer 12 cm starken Dämmstoffschicht der Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$ erreichen. In Folge ihres massebedingt trägen Regelverhaltens eignen sich Fußbodenheizungen weniger für Räume mit kurzen oder schwankenden Nutzungszeiten. Fenster sollten mit Wärmeschutzverglasungen versehen werden, um zu verhindern, daß sich die Raumluft in Fensternähe zu sehr abkühlt. Zu den Außenwänden hin enger gewählte Rohrabstände (Randzonenheizung) erzeugen mit 35°C maximal zulässiger Oberflächentemperatur nur eine geringe Konvektion, die zur Abschirmung einer Fensterfläche im allgemeinen nicht ausreicht. Außerdem kann ein zu stark aufgeheizter Boden bei einem längeren Aufenthalt (Sitzgruppe) in diesen Bereich zu Unzuträglichkeiten führen.



- a** Einbettung in einen Naßestrich. Beliebiger wählbarer Rohrverlauf. Relativ günstige Montagekosten. Niedrige Vorlauftemperaturen infolge unmittelbarer Wärmeübertragung.
- b** Rohrverlegung innerhalb der zur Rohraufnahme profilierten Dämmschicht. Wärmeleitende Bleche verbessern die Wärmeübertragung.
- c** Wie b, jedoch mit einem Trockenestrich aus Holz- oder Gipsbaustoffen. Vorzugsweise für Altbauten geeignet: geringe Bauhöhe, geringe Deckenbelastung, keine Baufeuchtigkeit, schneller Baufortschritt. Aber: verminderte Wärmeleitfähigkeit, wenig geeignet als Untergrund für starre keramische Beläge. Setzt ausreichend ebenen Untergrund voraus.

Abbildung 5-6: Ausbauelemente des Fußbodenaufbaues von Warmwasserfußbodenheizungen [Wellpott]



- a Schneckenförmige (bifilare) Verlegung. Temperaturunterschiede zwischen Vor- und Rücklauf werden weitgehend ausgeglichen. Gleichmäßige Temperaturverteilung. Bogenmaß 90°, große Biegeradien möglich.
- b Mäanderförmige Verlegung. Wärmegefälle von außen nach innen. Verlegefreundlich. Hier mit einer Randzone enger verlegter Rohre. Bogenmaß 180°, die Biegeradien fallen kleiner aus.
- c Reversierende Mäanderanordnung. Vor- und Rücklauf liegen jeweils nebeneinander. Gleichmäßig temperierte Fläche wie bei a.

Abbildung 5-7: Verlegevarianten [Wellpott]

Grundsätzlich sollte der wärmere Vorlauf entlang der Außenwände verlegt werden, um dem erhöhten Wärmebedarf dieses Bereiches Rechnung zu tragen. Auch empfiehlt es sich an den Außenwänden die Rohre in einem geringeren Abstand zu verlegen (Randzonenbeheizung).

5.3 Strahlungsheizung

Flächenheizungen, wie sie im vorhergehenden Kapitel beschrieben wurden, arbeiten mit niedrigen Temperaturen. Eine weitere Variante der Strahlungsheizung sind die Heizstrahler die auf hohem Temperaturniveau arbeiten. Bei ihnen wird i.d.R. durch die Verbrennung von Gas eine hohe Energiedichte erreicht, die dazu führt, daß geringe Abmaße eingehalten werden können. Hervorzuheben sind hier **Deckenstrahlungsheizungen**. Ihr Einsatzgebiet sind temporär zu heizende oder auch offene Objekte; Zum Beispiel große Hallen. Durch die direkte Verbrennung muß für eine ausreichende Lüftung gesorgt werden.

5.4 Luftheizung

Bei der Luftheizung wird dem Objekt erwärmte Luft zugeführt. Diese kann zentral oder dezentral erwärmt werden (s.a. Kapitel 4.2). Ein oft entscheidender Nachteil von Luftheizungen ist die geringe Energiedichte erwärmter Luft deswegen sind große Leitungsquerschnitte, hohe Temperatur oder hohe Luftgeschwindigkeiten notwendig.

Zur Verdeutlichung ein Berechnungsbeispiel für die Wärmetransportfähigkeit von Luft im Verhältnis zu Wasser:

$$Q = V \times c \times \rho \times \Delta T$$

mit :

Q = Wärmebedarf

V = Volumenstrom

c = spez. Wärmekapazität

ρ = Dichte

ΔT = Temperaturdifferenz zwischen zu- und abströmenden Medium

Bedingungen:

$$Q_L = Q_W \text{ und } \Delta T_L = \Delta T_W$$

$$\rightarrow V_L \times c_L \times \rho_L = V_W \times c_W \times \rho_W$$

$$\rightarrow V_L = V_W \frac{c_W \times \rho_W}{c_L \times \rho_L}$$

mit:

$$c_L = 1 \text{ kJ}/(\text{kg} \times \text{K})$$

$$\rho_L = 1,25 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c_W = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg} \times \text{K})$$

$$\rho_W = 1.000 \text{ kg}/\text{m}^3$$

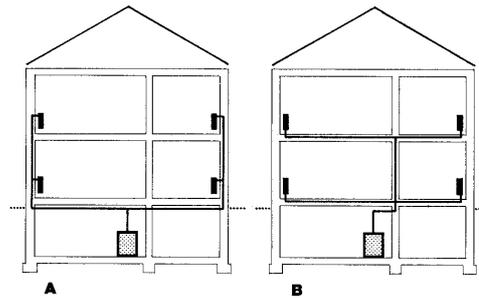
ergibt sich:

$$V_L = 3344 \cdot V_W$$

6 Wärmeverteilung

6.1 Horizontale / Vertikale Leitungsverlegung

Grundsätzlich ist es möglich die Leitungsverlegung im Gebäude geschößweise waagrecht mit einer Steigleitung im Gebäudekern oder senkrecht mit vielen Steigleitungen in der Außenwand zu realisieren.



- A Klassisches Zentralheizungssystem mit Steigleitungen und Anschlußleitungen in den Außenwänden.
B Zentrale Steigstränge in Kombination mit horizontaler Anbindung der Heizkörper im Bereich des schwimmenden Estrichs.

Abbildung 6-1: Horizontale und vertikale Heizleitungsverlegung [Wellpott]

Die senkrechte Verlegung mit Steigsträngen und Anschlußleitungen in den Außenwänden - das klassische Leitungssystem einer WWH - ist nach heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz nach [DIN 4108] nur schwer zu realisieren. Zudem werden durch dieses Prinzip die Außenwände statisch geschwächt. Zwischenwände sind teilweise ungeeignet zur Leitungsverlegung, da hier keine beliebigen Schlitze möglich sind. Weiterhin ergibt sich beispielsweise in Mietshäusern nicht die Möglichkeit, Wärmemengenzähler zu installieren. Diese Schwierigkeiten werden durch die Entscheidung für die geschößweise Verlegung umgangen. Die Steigleitungen sind zentral im Gebäudeinneren angeordnet. In diesem Fall ist auch zu bedenken, daß die waagerechten Heizkörperanschlußleitungen frei beweglich sein müssen, um auf die thermisch bedingte Längenausdehnung reagieren zu können. Nachteilig ist bei dieser Variante der vergleichsweise höhere Fußbodenaufbau.

6.2 Dämmung / Verlegung von Heizleitungen

Die Heizanlagenverordnung schreibt für die Ausführung von Warmwasser-Zentralheizungen die Dämmung der Rohrleitungen vor. Auf der Grundlage einer Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ergeben sich die Dämmstoffdicken abhängig von der Nennweite des Rohres. Im Normalfall verdreifacht sich der Gesamtdurchmesser des Rohres. Im Ausnahmefall darf die Dämmstoffdicke halbiert werden.

Nennweite	Dämmstoffdicke	Gesamtdurchmesser
bis DN 20	20 mm	60 mm
DN 22 - 35	30 mm	82 - 95 mm
DN 40 - 100	40mm - 100mm	120 - 300 mm
über DN 100	100 mm	> 300 mm

Tabelle 6-1: Dämmstoffstärken

Die volle Dämmstoffdicke ist vorzusehen bei:

- Wärmeverteilungsleitungen in Keller, Außenwänden, Schächten und Kanälen,
- Wärmeverteilungsleitungen ohne Absperrinrichtungen in Innenwänden,
- Heizkörperanschlußleitungen über 8 m Länge in Außenwänden.

Die halbe Dämmstoffdicke ist vorzusehen bei:

- Leitungen in Wand und Deckendurchbrüchen
- Rohrleitungskreuzungen
- Heizkörperanschlußleitungen bis 8 m Länge, auch in Außenwänden (Summe aus Vor- und Rücklauf)

Wenn die Rohrleitungen die Funktion von Heizflächen übernehmen, kann die Dämmung entfallen.

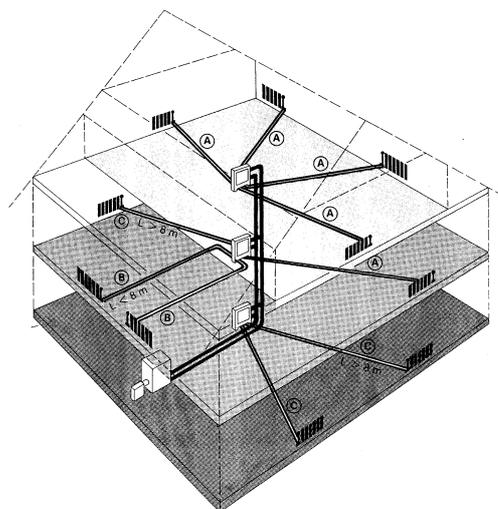


Abbildung 6-2: Dämmung von Verteilleitungen [TGA 1/97]

A ohne Auflage	B Dämmstoffdicke 50%	C Dämmstoffdicke 100%
<p>Leitungen in Räumen die zum dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, und in Wohnungstrenndecken, wenn ihre Wärmeabgabe vom Nutzer durch Absperreinrichtungen beeinflusst werden kann.</p>	<p>Anschlußleitungen bis 8 Meter Länge als Summe aus Vor- und Rücklauf in Wohnungstrenndecken zwischen beheizten und kalten Räumen.</p>	<p>Heizkörperanschlußleitungen auf Rohfußboden mit einer Länge von mehr als 8 Meter bezogen auf die Summe aus Vor- und Rücklauf über unbeheizten Räumen (Kellerdecke) oder Erdreich.</p>

Tabelle 6-2: Anforderungen an Dämmstoffstärken

Der erhöhte Platzbedarf durch Dämmung führt zu Problemen bei der Integration der Rohre in die Außenwände. Hier wäre eine zusätzliche Außenwanddämmung nötig, damit der erforderliche Dämmwert in jedem Punkt der Wand geleistet werden kann (siehe Abbildung 6-3).

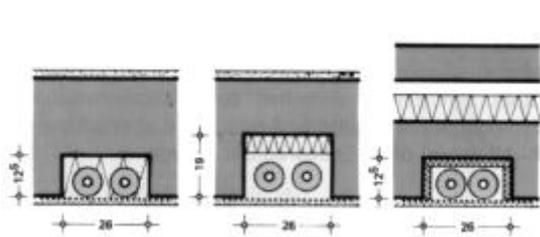


Abbildung 6-3: Verteilungen in der Außenwand [TGA 1/97]

Für die geschoßweise Verteilung gilt es, die Rohre unter Vermeidung von Schallbrücken in der Geschoßdecke zu verlegen. Hierzu werden verschiedene Möglichkeiten angeboten (siehe Abbildung 6-4), die auch der Wärmeschutzverordnung gerecht werden und die jeweilige Lage des Raumes im Gebäude berücksichtigen.

Üblicherweise befinden sich die Rohre unterhalb des Estrichs in der Dämmschicht. Im allgemeinen genügt dieser Aufbau den Schallschutzanforderungen. Ansonsten ist darauf zu achten, daß die Rohre keinen direkten Kontakt zwischen Rohdecke und Estrich herstellen. Entfällt aus oben genannten Gründen die Dämmung, so genügt Filz- oder Rippenpappe, um einen schallbrückenfreien Aufbau zu erhalten.

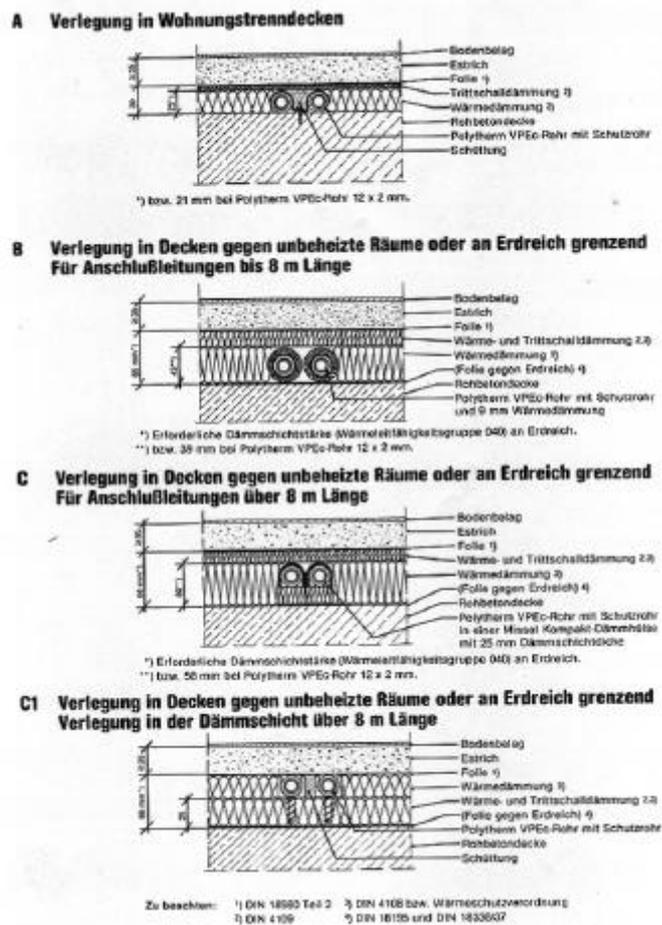


Abbildung 6-4: Fußbodenaufbau und Wärmedämmung der Heizleitungen [TGA 1/97]

Es gibt auch die Möglichkeit, die Rohre nur nach unten hin zu dämmen, um so eine leichte Erwärmung des Fußbodens zu erreichen. In der Praxis hat sich bewährt, unmittelbar nach dem Leitungsverlegen den Estrich einzubringen. Am besten unter Aufsicht, um sicherzustellen, daß die Rohrleitungen auf der Dämmung liegen. Erst dann sollten Verputzarbeiten u. ä. vorgenommen werden. Andernfalls passiert es häufig, daß durch Überqueren der Leitungen mit der Schubkarre oder zu Fuß die Rohre von der Dämmung gleiten, und dadurch zwischen Estrich und Rohdecke eine Schallbrücke bilden.

6.3 Heizungs-Umwälzpumpen

Den Transport des Heizwasser in Warmwasser-Heizungsanlagen haben erst in letzter Zeit Umwälzpumpen übernommen. Davor gab es die Warmwasser-Schwerkraftheizungen. Bei ihnen wurde das Heizwasser allein durch die Dichteunterschiede zwischen warmen und kälteren Wasser durch das Rohrnetz geführt. Die Nachteile des Systems, die auch zur Durchsetzung von Warmwasser-Pumpenheizungen führten waren folgende:

- Schwerkraftheizungen sind träger im Regelverhalten
- es sind wesentlich größere Rohrquerschnitte zur Herabsetzung der zu vermeidenten Reibungsverluste notwendig
- beschränkte „Freizügigkeit der Rohrleitungsverlegung [HfH]“, den der Vorlauf muß immer mit einer gewissen Steigung zur Heizfläche verlegt sein, was eine genauere Planung und Ausführung erfordert
- Der Wärmeerzeuger muß am tiefsten Punkt des Systems sein²⁴

Die Pumpe muß die Leistung bereitstellen, die zur Umwälzung des Heizwassers innerhalb des Heizungssystems notwendig ist. Bei geschlossenen Systemen²⁵ ist sie gleich den Strömungsverlusten des Rohrsystems.

Die Förderleistung P der Pumpe für geschlossene Systeme ergibt sich nach folgender Formel [HfH]:

$$P = V \times \Delta p \quad [W]$$

mit:

V = Volumenstrom

Δp = Förderdruck = Strömungsverluste des Rohrsystems

Der Leistungsbedarf P_N der Pumpe errechnet sich aus der Förderleistung dividiert durch den Wirkungsgrad η :

$$P_N = \frac{P}{\eta} \quad [W]$$

²⁴ Deswegen wurde der Heizkessel im Keller installiert. Heute ist dieses aufgrund der Pumpen nicht mehr notwendig.

²⁵ Wie sie jetzt i.d.R. nur noch zum Einsatz kommen. Bei älteren Heizungsanlagen sind auch noch offene Systeme verbreitet. Bei ihnen fließt in die Berechnung der notwendigen Pumpenleistung noch weitere Faktoren, außer den Strömungsverlusten ein.

Der höchste Wirkungsgrad ist bei Vollast der Pumpen und zwar [HfH]:

Kleine Pumpen $\eta_{\max} = 0,3 - 0,5$

Mittlere Pumpen $\eta_{\max} = 0,45 - 0,75$

Große Pumpen $\eta_{\max} = 0,65 - 0,85$

6.4 Rohrnetzdimensionierung

Nach DIN 4701 wird der Wärmebedarf für die einzelnen Räume eines Gebäudes errechnet (siehe Kapitel 3.3). Aus dem Wärmebedarf läßt sich ein notwendiger Volumenstrom herleiten, der bei Warmwasserheizungen der Heizfläche über ein Rohrnetz zugeführt wird.

$$Q = V \times c \times \rho \times \Delta T$$

$$V = A \times v$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

mit :

Q = Wärmebedarf

V = Volumenstrom

c = spez. Wärmekapazität von Wasser = 4 kJ/(kg×K)

ρ = Dichte von Wasser = 1000 kg/m³

ΔT = Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf am Heizkörper

A = Querschnittsfläche des Rohrs

v = Strömungsgeschwindigkeit

d = Rohrdurchmesser

Da die Strömungsgeschwindigkeit des Heizwassers 1 - 1,5 m/s nicht überschreiten sollte²⁶, ergibt sich der notwendige Rohrdurchmesser d.

Leider sind Rohrnetze aber nicht Reibungsfrei und es treten mit zunehmender Leitungslänge, des Leitungsverlaufes und der Strömungsgeschwindigkeit²⁷ Reibungsverluste auf.

Da in einem Heizungssystem i.d.R. mehr als eine Heizfläche angeschlossen sind, gibt es im allgemeinen unterschiedlich lange Wege zu den einzelnen Elementen und daraus resultierend auch unterschiedliche Reibungsverluste.

²⁶ ab 1 m/s können störende Fließgeräusche auftreten [HfH]

²⁷ d.h. abnehmenden Rohrdurchmesser

Bei der Berechnung von Rohrnetzen werden die Reibungsverluste für den ungünstigsten Heizstrang errechnet²⁸, im Anschluß werden alle anderen an diesen durch Drosselung angepaßt.

Da das Heizwasser den Weg des geringsten Widerstands gehen würde, muß das System so ausgelegt werden, daß bei den notwendigen Volumenströmen überall dieselben Reibungsverluste auftreten. Würden in einem Rohrnetz die Einzelstrecken in ihren Verlusten nicht aufeinander abgeglichen werden, sondern nur nach der Strömungsgeschwindigkeit ausgelegt sein, kommt es zur Selbstregulierung: Die Volumenstromverhältnisse verschieben sich.

²⁸ i.d.R. ist das die am weitesten entfernteste Heizfläche innerhalb eines Systems

7 Wärmeerzeugung

7.1 Heizkessel

Im Heizkessel wird die chemisch gebundene Energie eines Energieträgers (siehe Kapitel 2.2) mittels Verbrennung in Wärme umgewandelt. Er wird mit Öl oder Gas, seltener auch mit festen Brennstoffen betrieben. Die beim Verbrennungsprozeß anfallende Wärme wird dem Heizwasser zugeführt.

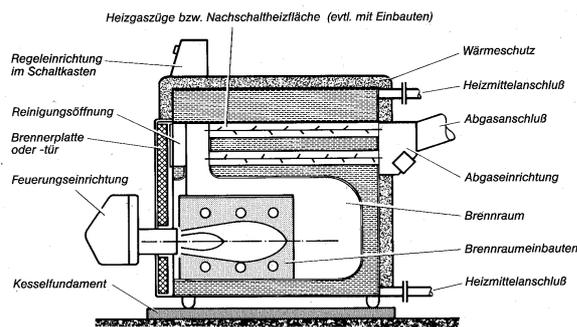


Abbildung 7-1: Bezeichnungen der wichtigsten Teile von Heizkesseln [HfH]

Folgende Heizkesseltypen lassen sich grundsätzlich unterscheiden:

Der **konventionelle Heizkessel** bringt das Heizwasser auf eine konstante Temperatur (90°C), die sich am maximalen Wärmebedarf orientiert. Die Anpassung der Heiztemperatur an den jeweiligen, von der Außentemperatur abhängigen Wärmebedarf, erfolgt mittels eines Mischventils, welches dem konstant temperierten Kesselwasser kühleres Wasser aus dem Rücklauf beimischt, um so die erforderliche Vorlauftemperatur herzustellen.

Der modernere **Niedertemperaturheizkessel** kann durch seine regelbare Kesseltemperatur dem Wärmebedarf direkt angepaßt werden. Durch die niedrigeren Heizwassertemperaturen ergeben sich zum einen geringere Wärmeverluste im Leitungssystem, zum anderen ist der Energieaufwand zur Bereitstellung des Heizwassers geringer. Die Heizwassertemperaturen liegen hier zwischen 40°C und 75°C.

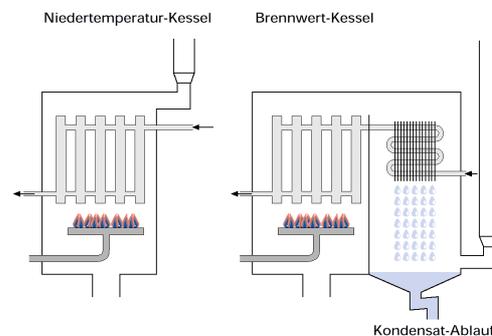


Abbildung 7-2: Prinzipskizze des Niedertemperatur- und des Brennwertkessels [EBuM]

Der **Brennwertkessel** ist ein Niedertemperaturheizkessel der zusätzlich Energie bei der Kondensation des Wasserdampfes im Abgas nutzt (siehe zu diesem Abschnitt auch Kapitel 7.4 und Abbildung 7-7).

Die meisten der auf dem Markt befindlichen Brennwertgeräte sind Gasgeräte, da

- der Wasserdampfanteil im Abgas bei Gasfeuerungen relativ groß ist. Im Verhältnis zu anderen Brennstoffen kann somit relativ viel Energie durch Kondensation genutzt werden.
- das Abgas von Gasfeuerungen keinen Schwefel enthält, dadurch ist das Kondensat von Gasbrennwertgeräten schwefelsäurefrei.

Von normalen Kesseln unterscheiden sich Brennwertkessel im wesentlichen in folgenden Punkten:

- Die mit dem Kondensat in Berührung kommenden Wärmetauscherflächen müssen korrosionsbeständig sein.
- Das anfallende Kondensat muß aufgefangen und abgeleitet werden.
- Die Verbrennungsluftzufuhr und die Abgasabfuhr müssen über einen Ventilator oder über das Brennergebläse erfolgen.

Der Gasbrennwertkessel verfügt zusätzlich über einen Kondensationswärmetauscher. Die Abgase gehen zuerst durch den konventionellen Wärmetauscher, dann werden sie meist mit Hilfe eines Ventilators durch den nachgeschalteten Kondensationswärmetauscher befördert, den das Rücklaufwasser im Gegenstromprinzip durchströmt. Dabei wird das Abgas durch Abkühlung unter den Taupunkt des Wasserdampfes (55°-60°C) zur Kondensation gebracht, Latentwärme wird frei und zur Erwärmung des Wassers genutzt.

Wegen des höheren Druckabfalls im Wärmetauscher und des geringen Auftriebs der kondensierten Abgase benötigt der Brennwertkessel ein stärker dimensioniertes Brennergebläse. Um die Abkühlung unter den Taupunkt zu erreichen ist es entscheidend, eine geringe Rücklauftemperatur (ca. 45°C) zu haben. Brennwertnutzung erfordert also eine Niedertemperaturheizung.

Muß bei extremen Außentemperaturen (-15°C) die Heizanlage mit einer höheren Vorlauftemperatur betrieben werden, liegt auch die Rücklauftemperatur über dem Taupunkt, so daß eine Kondensation kaum erfolgt und sich dadurch der Wirkungsgrad des Brennwertkessels verringert. So muß das Heizsystem entweder so ausgelegt werden, daß es ganzjährig mit sehr niedrigen Vorlauftemperaturen arbeitet, was mit Flächenheizkörpern (Wand-/Fußbodenheizung) zu erreichen wäre, oder es muß in Kauf genommen werden, daß bei extremen Außentemperaturen der Wirkungsgrad sinkt. Da solch extreme Bedingungen aber nur ca. 10% der Jahresheizarbeit ausmachen, kann trotz geringerer Wirkung noch von einer hohen Effizienz des Systems ausgegangen werden (10-12% Heizenergieeinsparung).

Im **atmosphärischen Gaskessel** wird das Wasser in den Heizflächen des Kessels mittels einer Vielzahl von Gasflammen erhitzt. Hierfür besitzt der Gaskessel sog. Brennröhre, die an der Oberseite Lochreihen aufweisen, an denen das Gas-Luft-Gemisch austritt und gezündet wird.

Die Luftzufuhr ist dadurch gewährleistet, daß der Brenner an der Unterseite offen ist. Die Abgase werden dann direkt in den Schornstein geleitet.

Um den störenden Einfluß von zu starkem Auftrieb, von Stau oder Rückstau im Abgasraum zu unterbinden wird grundsätzlich eine sogenannte Strömungssicherung installiert, die entweder innerhalb des Kessels oder externer Bestandteil des Kessels ist. Diese Sicherung ist zum Raum hin offen, so daß durch Druck- und Zugschwankungen im Schornstein kurzzeitig Abgase austreten. Es ist deshalb gerade bei diesen Kesseln auf eine absolut sichere Verbrennungsluftzufuhr und eine einwandfreie Abgasführung zu achten.

Atmosphärische Gaskessel werden, wegen der geringen Brennergeräusche, gerne im Zusammenhang mit Gasetagenheizungen eingesetzt. Sie werden in Wohnungen ohne ausgewiesenen Heizraum installiert und entnehmen die Verbrennungsluft der Raumluft des Aufstellraums. Dieser Raum muß deswegen ausreichend mit Luft versorgt werden können.

Die Gasgeräte in raumluftunabhängiger Ausführung beziehen die Verbrennungsluft direkt über eine - im Schornstein integrierte Luftleitung (Luft-Abgas-Schornstein)

Diese Geräte haben einen dichten, abgeschlossenen Brennraum gegenüber dem Aufstellungsraum, so daß sie an diesen keine Anforderungen stellen.

7.2 Gas-Umlaufwasserheizer (Thermen)²⁹

Gas-Umlaufwasserheizer, ursprünglich nur für die Brauchwassererwärmung entwickelt, erzeugen Heizwasser auf engstem Raum. Die obere Grenze ihrer Leistungsfähigkeit liegt bei 24-35 kW, was im allgemeinen für die Beheizung einschließlich Brauchwasserversorgung von Ein- und Zweifamilienhäusern, aber auch von kleinerer Gewerbebetriebe, Geschäfte, Praxen usw. Ausreicht. In zunehmendem Maße finden sie auch als Stockwerkheizungen im Mehrfamilienwohnungsbau Verwendung.

Die untere Grenze ihres Leistungsbereichs liegt mittlerweile bei etwa 4 kW, was eine wirtschaftliche Beheizung auch kleinerer Wohneinheiten erlaubt. Eine modulierende Leistungsregelung paßt die Geräteleistung dem jeweiligen Wärmebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung an. Es gibt auch Geräte mit Brennwerttechnik.

Die Anlagenkosten sind niedrig, der Platzbedarf ist minimal. Heizräume und Brennstofflagerräume entfallen.

²⁹ dieser Abschnitt ist [Wellpott] entnommen

7.3 Fern-/Nahwärme

Bei der Fern- bzw. Nahwärme wird die Wärmeerzeugung außerhalb der zu beheizenden Gebäudeeinheit vorgenommen. Dieses kann sowohl in Heizwerken, Heizkraftwerken, Blockheizwerken oder Blockheizkraftwerken (BHKW) erfolgen,³⁰ aber auch in Form von Abwärme von Industriebetrieben.

Die Wärme wird über ein Leitungsnetz verteilt und innerhalb des Gebäudes in Hausstationen an das Gebäudeheizsystem übergeben (siehe Abbildung 7-3).

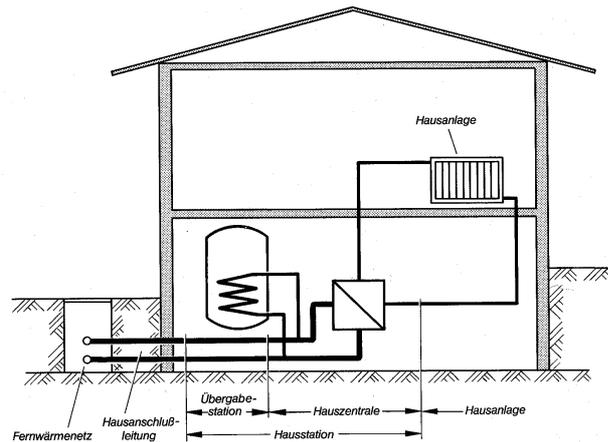


Abbildung 7-3: Prinzipskizze eines Fernwärmeanschluß [Wellpot]

7.4 Verluste einer Heizanlage

Der Heiztechnik wird wegen ihres hohen Anteils am Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Da ein höherer Heizenergiebedarf mit höheren Schadstoffemissionen gleichgesetzt wird müssen die Verluste eines Heizsystems kritisch betrachtet werden. In einem Heizsystem treten die folgenden Verlustarten auf:

- Abgasverluste
- Kesselverluste
- Transportverluste

³⁰ siehe zur genaueren Differenzierung [Wellpot]

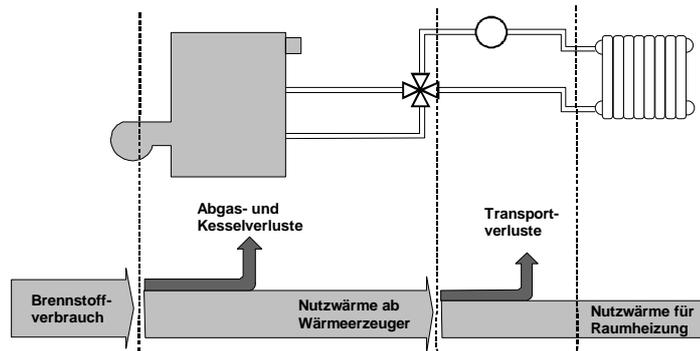


Abbildung 7-4: Darstellung der Verlustarten von Heizungsanlagen [TGA 1/97]

Abgasverluste

Bei der Verbrennung entstehen Rauchgase, die gegenüber der angesaugten Verbrennungsluft eine höhere Temperatur und damit einen höheren Wärmeinhalt haben, den sie dem Brennstoff entzogen haben.

Zusätzlich sind im Abgas unverbrannte Gase enthalten, deren Energieinhalt ungenutzt entweicht.

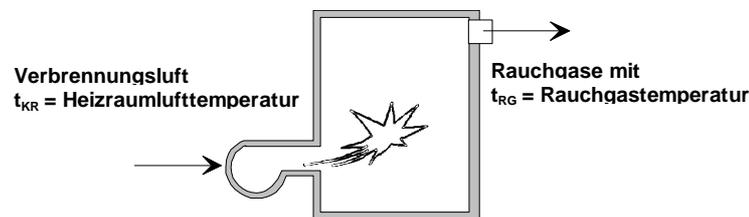


Abbildung 7-5: Abgasverluste [TGA 1/97]

Die Abgasverluste sind abhängig vom verwendeten Brennstoff, der Temperaturdifferenz zwischen Heizraumluft- und Rauchgastemperatur und dem CO_2 -Gehalt der Abgase.

Der Verbesserung der Abgasverluste durch Herunterkühlen des Rauchgases ist nur mit einem höheren Aufwand möglich. Da die Herabsetzung der Abgastemperatur zur Kondensation des Wasserdampfes und zu einer chemischen Reaktion mit dem unverbrannten Schwefel führt, kommt es zur Bildung von Schwefelsäure im Kessel und im Schornsteinsystem. An die Kesselmaterialien und das Schornsteinsystem sind deshalb erhöhte Anforderungen zu stellen.

Heizkesselverluste

Als Kesselverluste werden in der Heiztechnik alle im Betrieb eines Kessels auftretenden Verluste außer den Abgasverlusten bezeichnet. Die verschiedenen Verluste sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

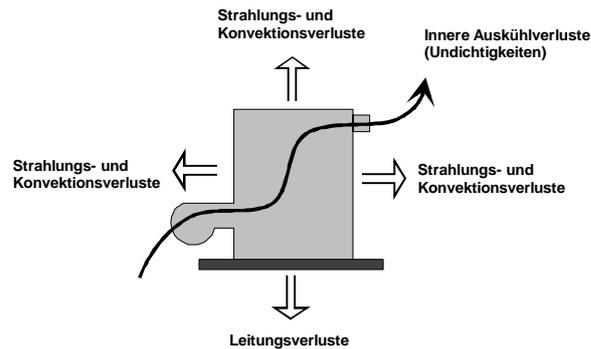


Abbildung 7-6: Kesselverluste [TGA 1/97]

Strahlungs-, Konvektions- und Leitungsverluste:

Die Strahlungs-, Konvektions- und Leitungsverluste werden im Betrieb über die Oberfläche des erwärmten Kessels oder durch Undichtigkeiten an den Aufstellungsraum abgegeben. Diese Verluste sind abhängig vom Aufbau des Kessels und können durch Wärmedämmung beeinflusst werden.

Innere Auskühlverluste:

Die inneren Auskühlverluste entstehen während der Feuerungspausen durch Luftströme, die über Kesselundichtigkeiten und oder durch den Brenner eindringen und über die Rauchgasabzüge nach außen strömen. Die wärmespeichernden Massen des Kessels (Kesselwasser und Kesselmaterial) kühlen während dieser Feuerungspausen mehr oder weniger stark ab und müssen nach jedem Brennerstart erneut auf Betriebstemperatur gebracht werden. Hierzu ist zusätzliche Energie notwendig.

**Betriebsbereitschafts-
verluste:**

Die Betriebsbereitschaftsverluste sind die Summe aus inneren Auskühl- und Strahlungsverlusten während der Betriebsbereitschaftszeit. Da ein Heizkessel nicht ausschließlich mit Vollast betrieben wird, sondern aufgrund des wechselnden Wärmebedarfs z.B. durch Witterungsänderungen oder wechselnden Warmwasserbedarf auch der Teillastbetrieb möglich ist, kommt es in den Betriebspausen des Brenners zur Abkühlung des Kessels. Während der Brennerstillstandszeit entstehen Strahlungs- und innere Auskühlverluste. Diese Verluste müssen nach einem erneuten Brennerstart durch erhöhte Brennerlaufzeit aufgebracht werden. Die Betriebsbereitschaftsverluste sind abhängig von der Kellerraumtemperatur, der mittleren Abgastemperatur, der durchströmenden Luftmenge, der Oberflächentemperatur des Kessels und der Jahreszeit (Heizzeit bzw. Sommerbetrieb) .

In der folgenden Abbildung sind die Energiebilanzen zweier Heizkessel ohne die Transportverluste dargestellt. Anlagen mit Brennwertnutzung³¹ erreichen Kesselwirkungsgrade über 100% bezogen auf den Heizwert. Der höhere Wirkungsgrad des Brennwertkessels wirkt sich auch auf die CO₂- Emission aus. Der Schadstoffausstoß bei Geräten gleicher Heizleistung geringer ist. Deshalb liegen hier die Abgasverluste deutlich unter denen des Niedertemperaturheizkessels.

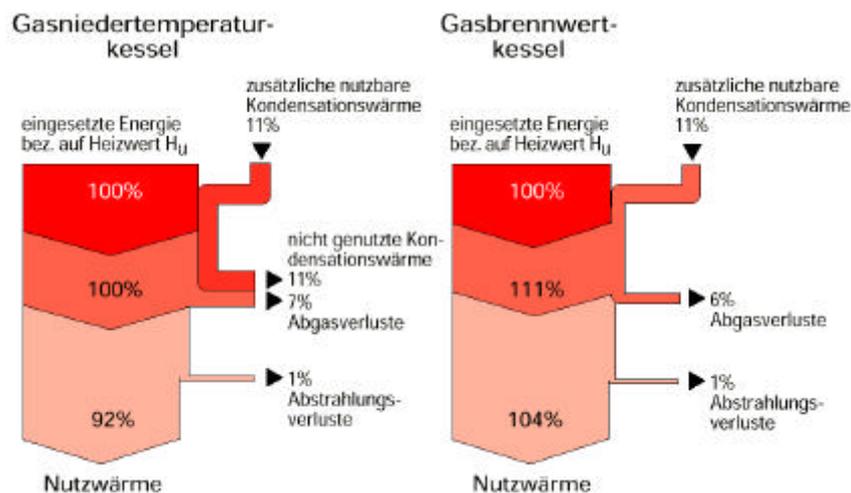


Abbildung 7-7: Vergleich Niedertemperatur- und Brennwertkessel [EBuM]

³¹ Siehe hierzu auch Kapitel 7.1

7.5 Abgastechnik

Abgasführung

Für die Platzierung des Schornsteines sind die aerodynamischen Bedingungen, denen ein Gebäude unterliegt, von Bedeutung.

Abbildung 7-8 zeigt die Umströmung und Rauchausbreitung von Gebäuden mit Flach- und Satteldach. Bei Windanströmung entsteht bei beiden Dachformen eine sog. Rezirkulationszone. In die Rezirkulationszone muß das Einströmen von Abgasen vermieden werden.

Die Schornsteinplatzierung sollte also nicht auf der windabgewandten Seite erfolgen. Beim Flachdach kann durch einen höheren Schornstein eine gute Abgasführung auch im Leebereich erzielt werden.

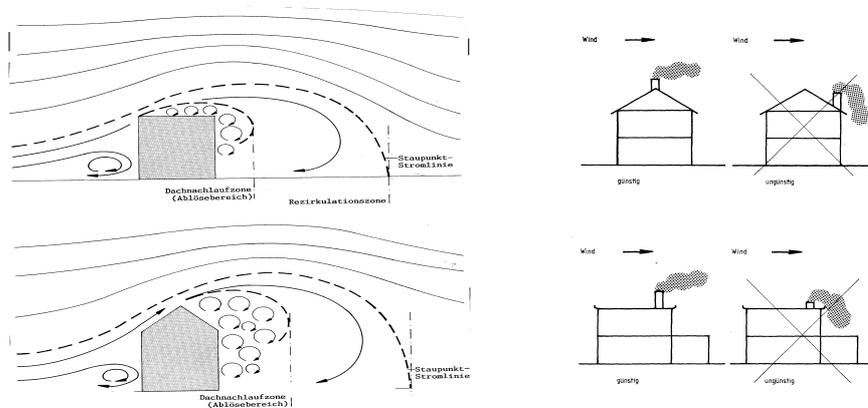


Abbildung 7-8: Rezirkulationszonen und Rauchausbreitung in Abhängigkeit der Gebäudeform und Schornsteinhöhe [TGA 1/97]

Schornsteinsysteme

Mit den Veränderungen in Brennstoffeinsatz und Heiztechnik haben sich auch die Anforderungen an Schornsteinsysteme erweitert.

Für die modernen Niedertemperatur- und Brennwertkessel sind mehrschalige Isolierschornsteine erforderlich, die eine zu starke Abkühlung der bei diesen Systemen ohnehin geringer temperierten Abgase verhindern und somit ein sicheres Abführen der Abgase ermöglichen (siehe Abbildung 7-9).

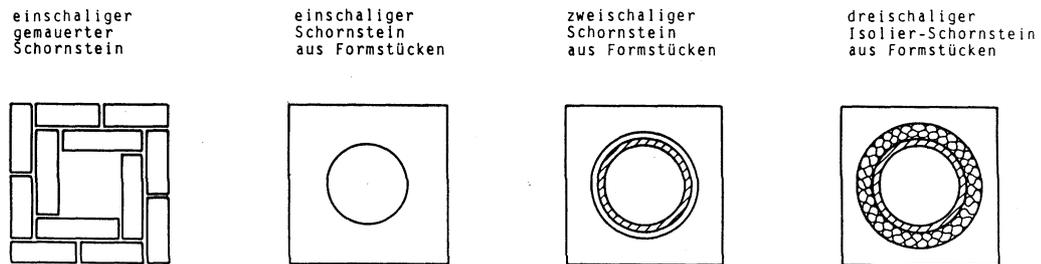


Abbildung 7-9: Schornsteinsysteme [TGA 1/97]

Luft-Abgas-Schornstein (LAS)

Bei den in Mehrfamilienhäuser vermehrt eingesetzten Gasetagenheizungen lassen sich zwei Systeme grundsätzlich unterscheiden:

1. die raumluftabhängige Gastherme, die ihre Verbrennungsluft aus dem Aufstellungsraum bezieht und
2. das raumluftunabhängige System, das die Verbrennungsluft von außen über das Abgasleitungssystem bezieht.

Das raumluftunabhängige System stellt höhere Anforderungen an die Schornsteinausführung. Neben dem Abgasschacht ist ein Luftschaft erforderlich, durch den die Verbrennungsluft zuströmen kann (Abbildung 7-10 und Abbildung 7-11).

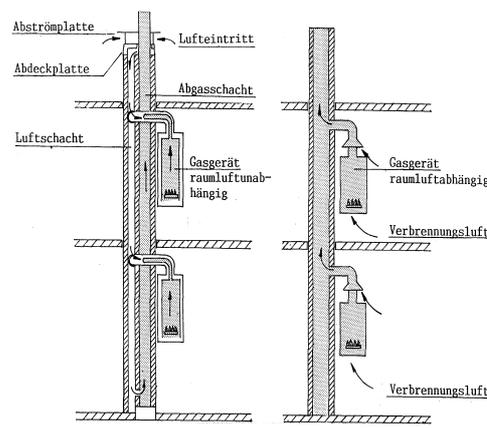


Abbildung 7-10: LAS und Normalschornstein [TGA 1/97]

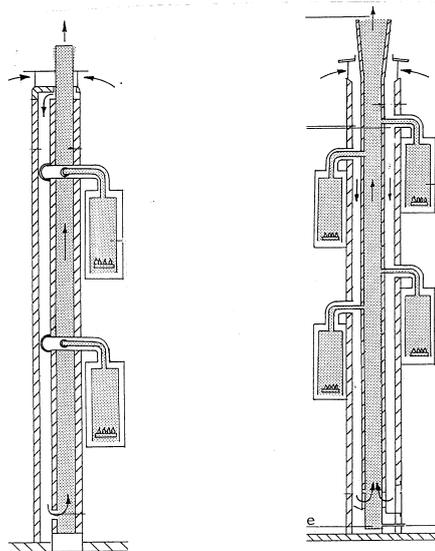


Abbildung 7-11: LAS-Varianten [TGA 1/97]

Die Abgasführung von sog. LAS - Systemen kann über einen zentralen, auf das System abgestimmten Schornstein erfolgen(siehe Abbildung 7-11) oder über einzelne, entsprechend ausgelegte Abgasleitungen. Hierbei ist auf einen Mindestabstand von 400 mm zu achten. Abbildung 7-12 zeigt Ausführungsbeispiele solcher Einzelleitungen.

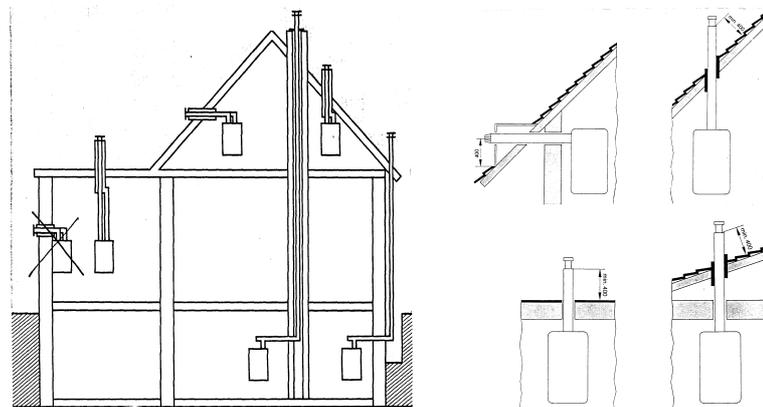


Abbildung 7-12: Ausführungsbeispiele von LAS Systemen [TGA 1/97]

Abgasleitungen

Konventionelle Schornsteine, die über ihren natürlichen Zug die Abgase abführen sind ungeeignet für die Abgasführung bei moderner Überdruckfeuerung, da sie nicht ausreichend druckdicht sind. Bei Überdruckfeuerung übernimmt das Kesselgebläse neben der Verbrennungsluftansaugung auch die Förderung der Abluft, so daß ein Überdruck auf der Abgasseite entsteht. Für die druckdichte Führung der Abgase wird eine Abgasleitung ver-

wendet. Diese wirkt wie ein Auspuffrohr, sie ist aus korrosionsbeständigem Material gefertigt und im Schornstein montiert (siehe Abbildung 7-13). Aus Gründen des Brandschutzes und der Oberflächentemperatur des Rohres ist es nicht zulässig, eine solche Abgasleitung im Gebäude ungeschützt auszuführen.

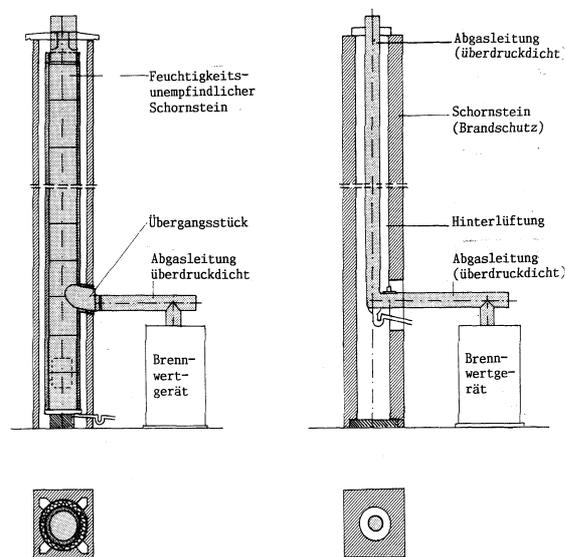


Abbildung 7-13: Abgasleitungen im Schornstein [TGA 1/97]

8 Regelung³²

Die Auslegung der Heizungsanlage erfolgt für die ungünstigsten Witterungsbedingungen im Jahr. Dieser Zeitraum ist aber relativ kurz. An allen anderen Tagen im Jahr würden die Raumtemperaturen ohne eine Regulierung erheblich ansteigen. Eine klassische Methode der Raumtemperaturregelung ist z.B. das Öffnen bzw. Schließen des Fensters. Sie wurde zum Glück durch andere Regelungskonzepte in Folge der Energiekrise und den daraus resultierenden Heizkostensteigerungen zurückgedrängt.

Unterscheidung Steuerung / Regelung [Wellpott]

Steuerung:	Vorgang zur Beeinflußung einer physikalischen Größe (Temperatur, Energiemenge, Durchflußmenge), um einen vorgegebenen Sollwert zu erreichen.
Regelung:	Der zuvor beschriebene Vorgang wird durch einen Vergleich der Soll- und Istzustände ergänzt, um die physikalische Größe möglichst konstant zu halten.

8.1 Vorlauftemperaturregelung

Vorlauftemperaturgeführt

Bei diesem Konzept wird nur die Vorlauftemperatur überwacht und der Heizkessel bei Bedarf in Betrieb gesetzt. Hiermit wird eine **konstante Vorlauftemperatur** gehalten.

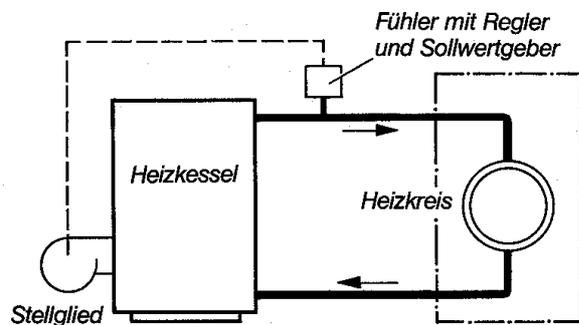


Abbildung 8-1: Prinzip einer vorlauftemperaturgeführten Vorlauf- bzw. Kesseltemperaturregelung [HfH]

³² s.a. [HfH], aus dem dieses Kapitel zusammengestellt wurde

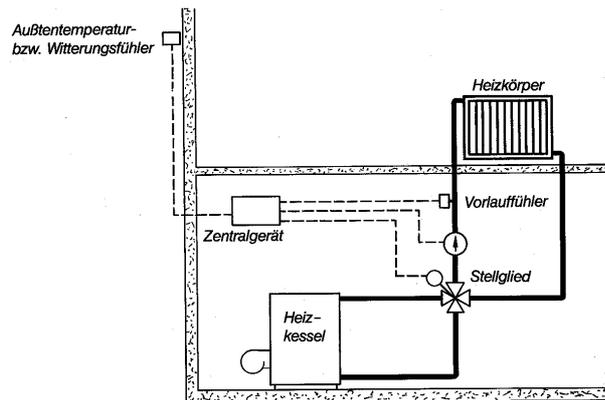


Abbildung 8-2: Prinzip einer Kaskadenregelung als Raumtemperaturregelung mit Vorlauftemperaturerfassung und Witterungskompensation [HfH]

Witterungsgeführt

Der Wärmebedarf eines Gebäudes verhält sich umgekehrt proportional zur Außentemperatur [HfH], deswegen kann mit abnehmender Außentemperatur die Vorlauftemperatur gesenkt werden. Die Heizkennlinie ist das Verhältnis zwischen Außentemperatur und Vorlauftemperatur, durch eine Veränderung der Heizkennlinie kann die Anlage in ihrem Verhalten beeinflusst werden.

Ist es im Gebäude bei unterschiedlichen Außentemperaturen permanent zu kalt oder zu warm³³, so wird die Heizkennlinie parallel verschoben (siehe Abbildung 8-3). Das heißt, daß die Vorlauftemperatur bei allen Außentemperaturen angehoben bzw. abgesenkt wird.

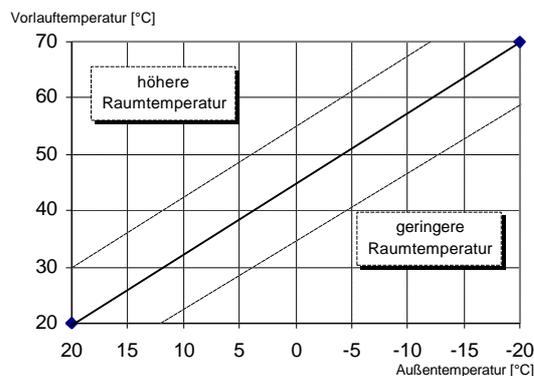


Abbildung 8-3: Parallelverschiebung der Heizkennlinie

Wird es im Gebäude bei abnehmender Außentemperatur zu kalt oder zu warm³⁴, wird die Steigung der Heizkennlinie verändert (siehe Abbildung 8-4).

³³ bei voll aufgedrehten Thermostatventilen

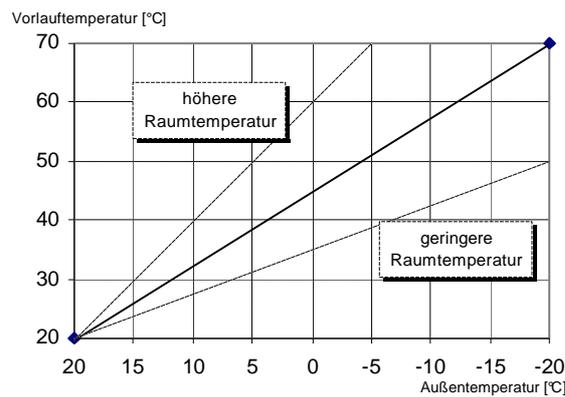


Abbildung 8-4: Veränderung der Steilheit der Heizkennlinie

Raumtemperaturgeführt

Bei einer außentemperaturgeführten Anlage kann es z.B. durch Sonnenschein oder Wind dazu kommen, daß die Temperatur im Inneren des Gebäudes nicht ausreichend bzw. zu hoch ist. Deswegen gibt es eine weitere Variante der Vorlauftemperaturregelung bei der die Regelung nicht nur über die Außentemperatur erfolgt, sondern durch die Überwachung der Innenraumtemperatur ergänzt wird (siehe Abbildung 8-2).

Hierbei wird in einem Referenzraum des Gebäudes ein Temperaturfühler installiert, der Einfluß auf die Vorlauftemperaturregelung hat. Alle weiteren Räume des Gebäudes sind in dem Fall dann nur noch gesteuert³⁵. Diese Regelvariante eignet sich deswegen nicht für Mehrfamilienhäuser.

8.2 Einzelraumregelung

Regler ohne Hilfsenergie (Thermostatventile)

Thermostatventile bestehen eigentlich aus zwei Bauteilen:

1. dem Ventil und
2. dem Thermostatkopf

Der Thermostatkopf erfaßt die Lufttemperatur des Raums. Im Thermostatkopf befindet sich ein temperaturempfindliches Medium³⁶ das sich bei Erwärmung ausdehnt und dadurch das Ventil schließt. Da das Regelverhalten von Thermostatventilen begrenzt ist und sie nicht zu stark belastet werden, sollten sie immer in Verbindung mit einer Vorlauftemperaturregelung

³⁴ d.h. das bei bestimmten Außentemperaturen die Gebäudetemperatur optimal ist und nur mit Zunahme der Außentemperaturenänderung die Gebäudetemperatur „aus dem Ruder läuft“

³⁵ d.h. auch wenn Thermostatventile zum Einsatz kommen wird die maximale Raumtemperatur vom Referenzraum bestimmt

³⁶ in diesem Fall Alkohol

eingesetzt werden. Auch sollte in größeren Räumen, in denen sich mehr als 2 Heizkörper befinden, keine Thermostatventile eingesetzt werden, da die gegenseitige Beeinflussung zum „Regler-Amoklauf“ führen kann. Bei mehreren Heizkörpern in einem Raum sollte eine Zonenregelung eingesetzt werden.

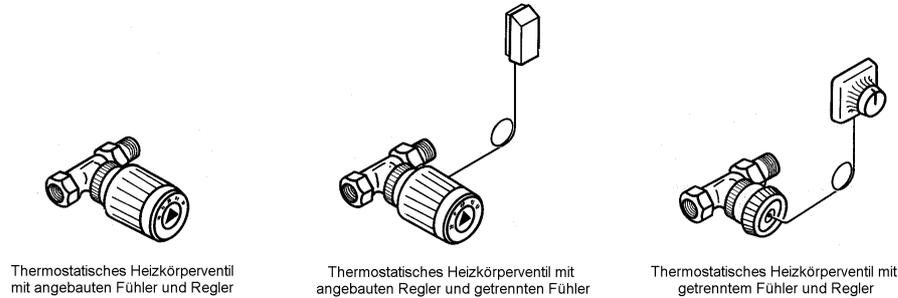


Abbildung 8-5: Unterschiedliche Bauformen von Thermostatventilen [HfH]

Regler mit Hilfsenergie

Bei dieser Reglerbauform kann durch den Einsatz von Hilfsenergie eine höhere Regelgüte erreicht werden. Hierbei können innere Wärmequellen im Raum besser berücksichtigt werden oder auch die getrennte Anordnung von Fühler und Ventil wird vereinfacht. Ebenfalls können Zeitprogramme gefahren werden, die einen höheren Komfort bei gleichzeitiger Energieeinsparung³⁷ bewirken.

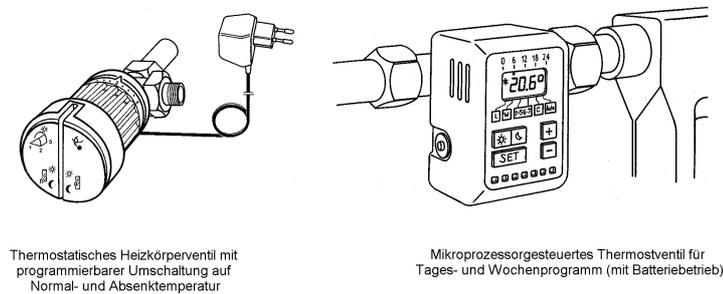


Abbildung 8-6: Thermostatventile mit elektronischer Steuerung [HfH]

³⁷ automatisches Regeln der Temperatur in Nichtnutzungszeiten

8.3 Unterbrochener Heizbetrieb

Heute verwendete Heizungsregelungen haben fast ausnahmslos die Möglichkeit über eine Zeitschaltuhr verschiedene Programme zu durchlaufen. Verschiedene Betriebsarten können dann z.B. sein (s.a. Abbildung 8-7):

- **Normalbetrieb** ohne Absenkung der Heiztemperatur
- **Reduzierter Betrieb**: Absenkung der Heiztemperatur nach Umschaltung auf eine niedrigere Heizkurve
- **Haltebetrieb**: Abschaltung der Heizung, bis eine eingestellte Raumtemperatur (Stützttemperatur) unterschritten wird.
- **Abschaltbetrieb**: Abschaltung der Heizung, jedoch mit Aufrechterhaltung einer Frostschutzüberwachung

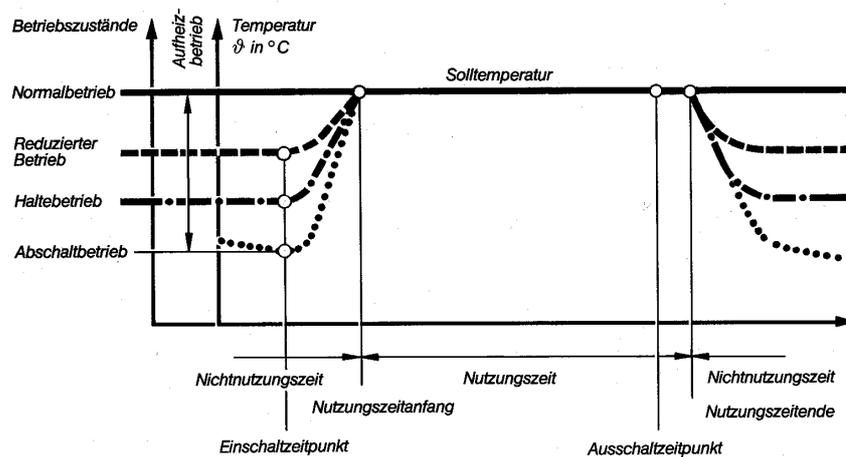


Abbildung 8-7: Temperatur-Zeit-Profil einer Gebäude- oder Raumbeheizung bei einer zeitvariablen Zyklusdauer [HfH]

9 Wärmepumpe

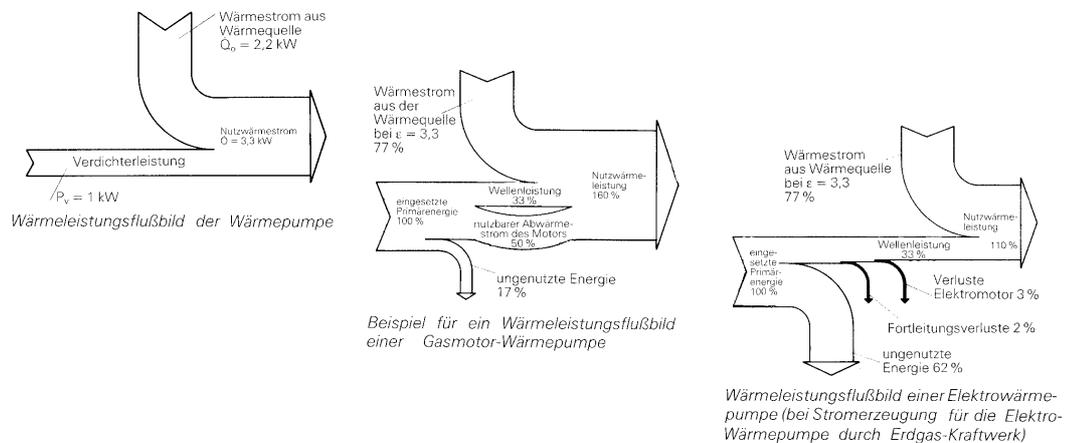


Abbildung 9-1: Wärmeleistungsflußbilder von Wärmepumpen [Ruhrgas]

Die Wärmepumpe ermöglicht es, der Umgebung Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau zu entziehen, und sie auf ein höheres, für die haustechnische Nutzung verwertbares Temperaturniveau zu heben. Damit kann, unter Einsatz 'kostenloser' Wärmequellen (Umgebungsluft, Grundwasser etc.) und einem Teil mechanischer Energie z. B. Heizwasser oder Brauchwasser erwärmt werden.

9.1 Funktionsprinzip

Wärmepumpen nutzen die Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme, die ein Medium auf- bzw. abgibt wenn es vom flüssigen in den gasförmigen Zustand oder umgekehrt wechselt.

Öffnet man z.B. das Ventil einer unter Druck stehenden, mit Flüssiggas gefüllten Gasflasche, dann verdampft das Gas durch den plötzlichen Druckabfall (Expansion). Dazu wird Verdampfungswärme benötigt, die der Umgebung entzogen wird. Die Gasflasche kühlt fühlbar ab.

Die gleiche Wärmemenge, die zum Verdampfen des Gases aufgenommen wurde, wurde beim Befüllen der Flasche in Form fühlbarer Wärmeentwicklung freigesetzt (Kompression). Den gleichen Effekt kann man an einer Fahrradluftpumpe beobachten, die sich bei schnellem Pumpen erwärmt.

In der Wärmepumpe durchläuft ein Kältemittel folgenden Kreisprozeß (siehe Abbildung 9-2. Der Startpunkt für die kleine Rundreise ist rechts unten im Bereich vor dem Expansionsventil):

- Das unter hohem Druck stehende, flüssige Kältemittel strömt durch das Expansionsventil, wodurch dessen Druck fällt. Durch den Druckabfall kühlt es sich stark ab.
- Das abgekühlte Kältemittel kann jetzt Wärme auf niedrigem Temperaturniveau aufnehmen, z.B. aus der Umgebungsluft oder aus dem Grundwasser. Das Kältemittel verdampft aufgrund eines niedrigen Siedepunkts durch die Wärmeaufnahme.
- In einem Kompressor wird das gasförmige Kältemittel komprimiert. Durch den Druckanstieg erhöht sich die Temperatur des Mediums. Außerdem erhöht sich der Energiegehalt noch um den Betrag, der zu seiner Kompression mechanisch aufgewendet werden mußte.
- Das stark erwärmte Kältemittel strömt weiter in den Verflüssiger, wo ihm die Wärme entzogen wird, z.B. zur Erhitzung von Heizungs- oder Brauchwasser. Durch die Abkühlung wird der Siedepunkt des Kältemittels unterschritten, und es verflüssigt sich wieder.
- In flüssiger Form strömt es durch das Expansionsventil und der Kreislauf beginnt von Neuem.

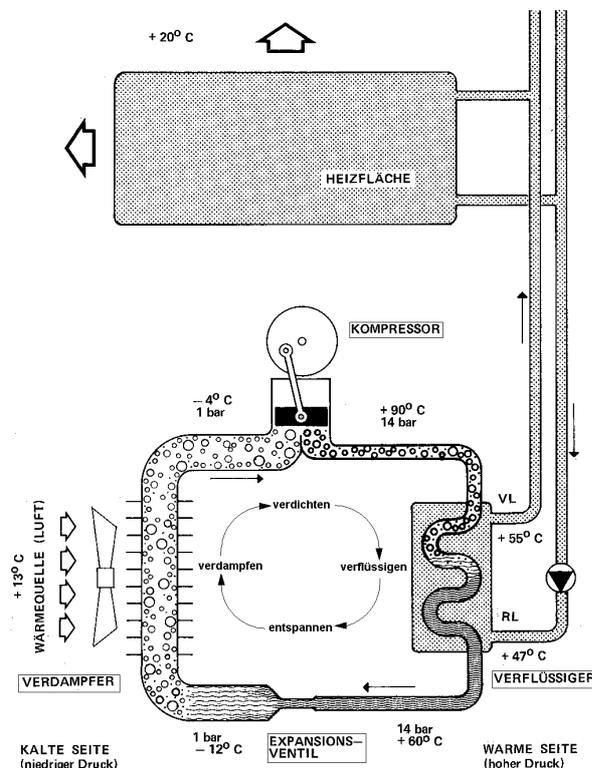


Abbildung 9-2: Funktionsskizze des Wärmepumpenprozesses [Wellpott; überarbeitet]

Monovalent	Die Wärmepumpe übernimmt die gesamte Wärmeversorgung des Gebäudes. Diese Betriebsweise ist geeignet für Vorlauftemperaturen bis ca. 55°C.
Bivalent	Bei bivalenten Betriebsweisen ist die WP mit einem weiteren Wärmeerzeuger kombiniert:
-Alternativ	Bei Überschreitung eines bestimmten Wärmebedarfs wird die WP abgeschaltet. Ein fossiler Wärmeerzeuger übernimmt die gesamte Versorgung.
-Teilparallel	Die WP wird bei Überschreitung eines bestimmten Wärmebedarfs durch einen zweiten Wärmeerzeuger unterstützt. Die WP bleibt im Einsatz bis sie vom EVU über Rundsteuerung abgeschaltet wird.
-Parallel	Die WP bleibt auch bei Zuschaltung eines weiteren Wärmeerzeugers in Betrieb.

Tabelle 9-3: Betriebsweisen von Wärmepumpen

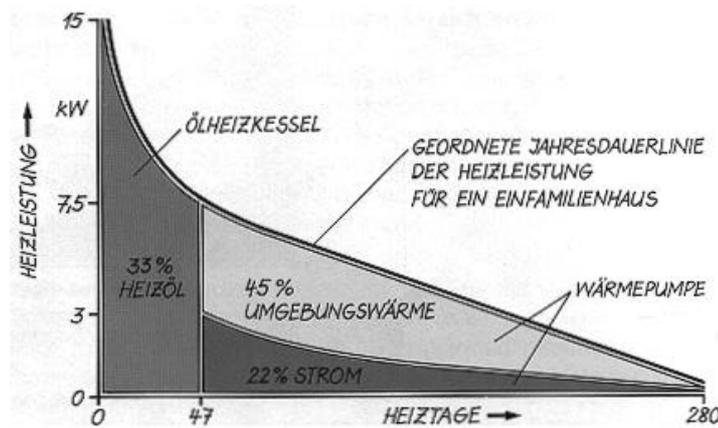


Abbildung 9-3: Bivalente Wärmebedarfsdeckung im Teilparallelbetrieb [TGA 1/97]

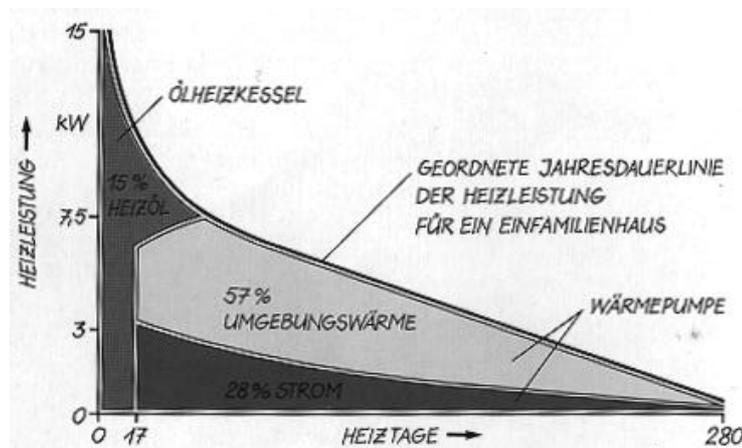


Abbildung 9-4: Wärmebedarfsdeckung bei bivalent-paralleler Betriebsweise [TGA 1/97]

9.2 Leistungsziffer

Der Kreislauf einer Wärmepumpe arbeitet am effektivsten, je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle (Verdampfer) und Wärmesenke (Nutztemperatur am Kondensator) ist. Mit wachsender Temperaturdifferenz steigt die mechanische Energie zum Antrieb des Kompressors.

Die Leistungsziffer ϵ einer Wärmepumpe gibt das Verhältnis zwischen insgesamt zur Verfügung gestellter Nutzwärme und aufgewendeter Antriebsleistung an:

$$\epsilon = Q_{\text{Nutz}}/P_{\text{Antrieb}}$$

Der Betrieb einer Elektrowärmepumpe ist nur sinnvoll, wenn Leistungsziffern über 3 erreicht werden. Bei kleineren Werten kann die gleiche Nutzenergie mit geringerem Primärenergieaufwand aus fossilen Brennstoffen gewonnen werden.

9.3 Einbindung in die Wärmeversorgung

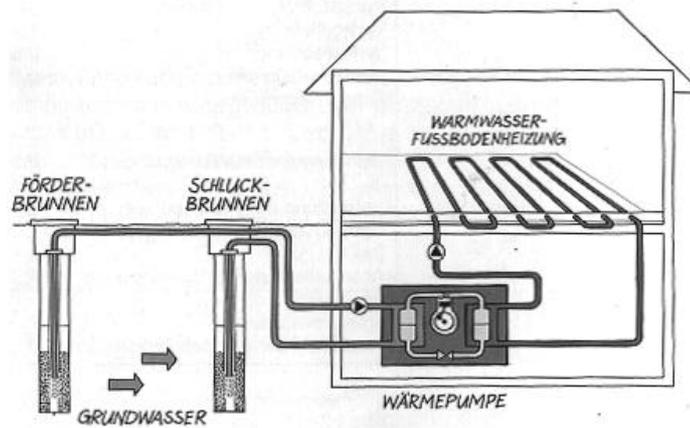


Abbildung 9-5: Schema einer Grundwasser-Wärmepumpenanlage [TGA 1/97]

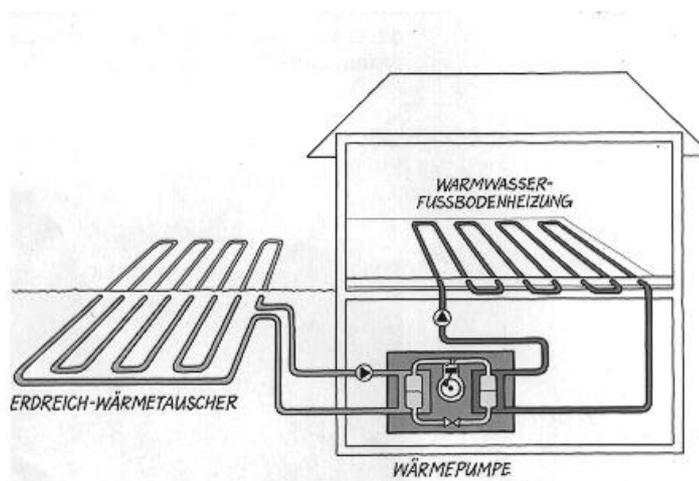


Abbildung 9-6: Schema einer Erdreich-Wärmepumpenanlage [TGA 1/97]

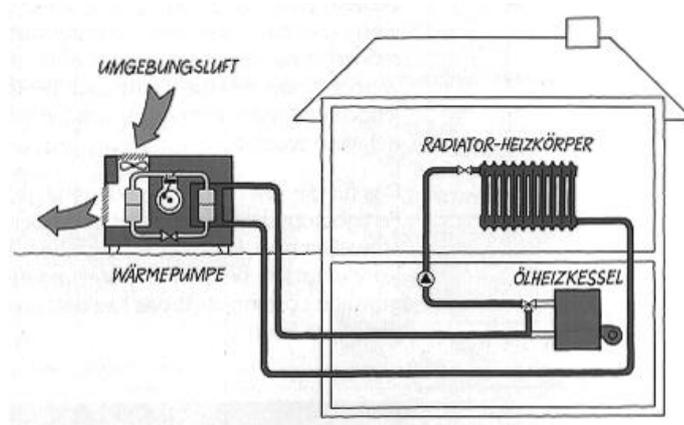


Abbildung 9-7: Anlagenschema einer bivalenten Wärmepumpenheizung mit der Wärmequelle Umgebungsluft [TGA 1/97]

9.4 Energiebilanzen von Ölheizung und Wärmepumpenheizung

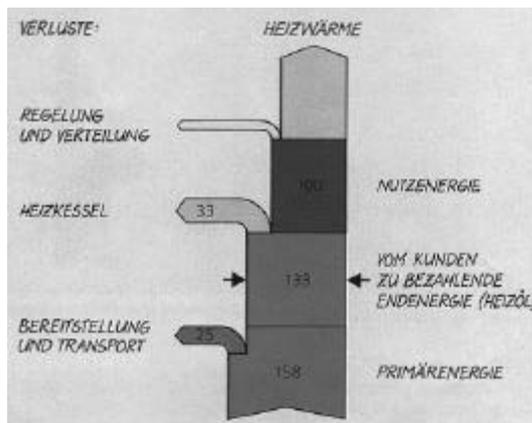


Abbildung 9-8: Energiefluß bei der Öl-Zentralheizung [TGA 1/97]

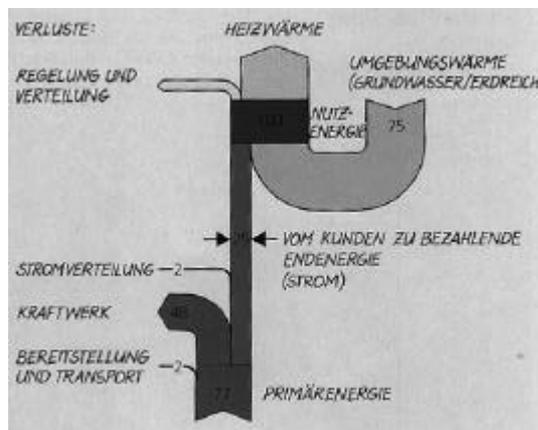


Abbildung 9-9: Energiefluß einer elektrisch angetriebenen Grundwasser-Wärmepumpe [TGA 1/97]

10 Solarenergie³⁸

Die Nutzung der Sonnenstrahlung ist auf unterschiedliche Weise möglich:

- Direkt als
 - aktive Nutzung: es werden technische Einrichtungen / Geräte eingesetzt, die Sonnenlicht direkt in nutzbare Energie umwandeln (Solarkollektoren, Photovoltaik)
 - passive Nutzung: Gebäudeteile, besonders die Fenster, werden bewußt so ausgerichtet und dimensioniert, daß einfallendes Sonnenlicht das Raumklima positiv beeinflusst
- indirekte Nutzung: durch Sonnenstrahlung hervorgerufene Naturphänomene (z.B. Wind, Erdwärme etc.) werden mittels technischer Einrichtungen zur Erzeugung nutzbarer Energie eingesetzt.

Aufbau von Solaranlagen

Dieser prinzipielle Aufbau einer Solaranlage, die für die Brauchwassererwärmung genutzt wird, ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

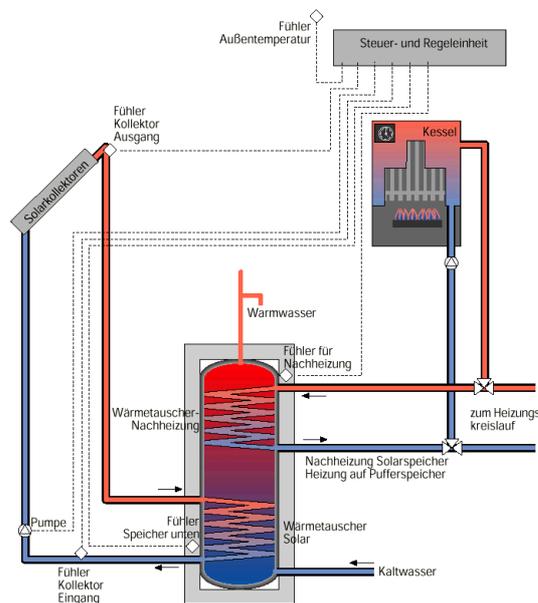


Abbildung 10-1: Gebräuchliches Standardsolarsystem zur Warmwasserbereitung [EBuM]

³⁸ dieses Kapitel basiert auf [Blume] mit Ergänzungen aus [TGA 1/97]

Innerhalb des Kollektors wird durch die Strahlung der Sonne ein Wärmeträger (in der Regel Wasser mit Frostschutz) aufgeheizt. Über das Rohrleitungssystem und den Wärmetauscher gelangt die Wärme in den Speicher.

Die Steuerung der Anlage vergleicht die Speichereingangs- mit der Speicherausgangstemperatur. Falls durch nachlassenden Sonnenschein die Speichereingangstemperatur unter die Ausgangstemperatur fällt, schaltet die Steuerung die Pumpe aus, denn ansonsten würde der umgekehrte Prozeß einsetzen und die gespeicherte Wärme über den Kollektor an die Umwelt abgegeben werden.

Energieertrag

Charakteristische Sonnenstrahlungsdaten für Deutschland:

Bestrahlungsstärke:	Maximale Strahlungsleistung auf senkrecht bestrahlter Fläche	ca. 1 kW/m ²
Eingestrahlte Energie:	Jährliche Strahlungsleistung auf horizontale bzw. 45° nach Süden geneigte Fläche	900-1200 kWh/m ² a
	Mittelwert der täglichen Einstrahlung an den 100 besten Sonnentagen des Jahres	ca. 5,5 kWh/m ² d

In Deutschland beträgt die mittlere jährlich eingestrahlte Solarenergie ca. 1.200 kWh/m²a. Das ist in etwa die Energie, die beim verfeuern von 120 l Heizöl frei wird. Bei klarem Himmel werden im Sommer Spitzenleistungen von 1 kW/m² eingestrahlt.

Bei dem in Deutschland herrschenden Klima wird Wärme vorwiegend zur Raumheizung verwendet. Daher besteht der größte Wärmebedarf während der Heizperiode, also in einer Jahreszeit, in der das Strahlungsangebot sehr gering ist.

Um den Heizwärmebedarf eines Gebäudes im Winter durch Solarkollektoren zu decken bräuchte man sehr große Kollektorflächen, deren Preis und Platzbedarf in keiner Relation zu der mageren Energieausbeute stünde, die im Winter zu erwarten ist. Wärmespeicher, durch die man Solarwärme aus den Sommermonaten im den Winter nutzen könnte, sind sehr kostspielig.

Aus diesen Gründen ist die Nutzung von Solarkollektoren zur Raumheizung nicht ökonomisch. Wesentlich besser ist das Preis-/Leistungsverhältnis bei der solaren Brauchwasserwärmung ausserhalb der Heizperiode.

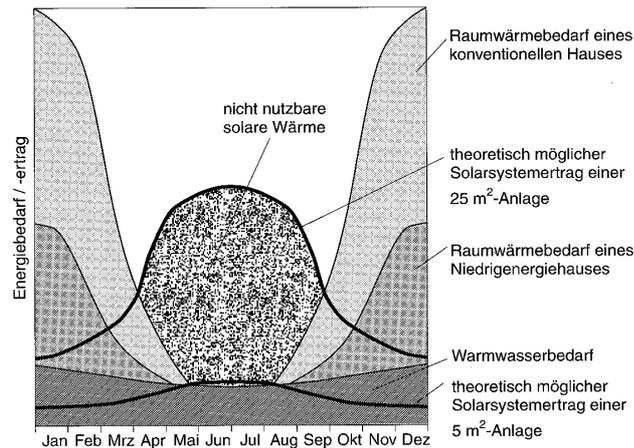


Abbildung 10-2: Raumwärme- und Warmwasserbedarf im Vergleich mit theoretisch möglichen Solarsystemerträgen [Marko]

Bei richtiger Dimensionierung (ca. 6 bis 8 m²Kollektorfläche für einen 4-Personen-Haushalt) kann die Heizungsanlage während des Sommers ganz abgeschaltet werden. Der gesamte Warmwasserbedarf wird durch die Solaranlage gedeckt. Tage mit weniger hohen Einstrahlzeiten werden durch Einlagerung von Wärme in einen Speicher überbrückt.

10.1 Bemessung von Solaranlagen

Die Größe einer Solaranlage zur Brauchwassererwärmung ist abhängig von folgenden Faktoren:

1. Personenanzahl und deren Warmwasserbedarf
2. Geographische Lage des Aufstellungsortes mit den Faktoren Sonnenscheindauer, Lufttemperatur, etc.
3. Ausrichtung zur Sonne
4. Störfaktoren (z.B. Abschattungen durch Bäume, Verschmutzung des Kollektors durch Staub)
5. Anbindungsart an die Haustechnik
6. Wirkungsgrade der Systemkomponenten

Kollektorneigung/-ausrichtung

Solkollektoren arbeiten am besten, wenn sie exakt auf die Sonne gerichtet sind. Entsprechend dem jeweiligen Wechsel des Sonnenstands gibt es für jede Jahreszeit eine optimale Kollektorneigung.

Soll Solarenergie hauptsächlich im Sommer genutzt werden wenn die Sonne hoch steht, muß der Kollektor relativ flach angestellt werden. Die ideale Neigung beträgt dann ca. 20°.

Im Winterhalbjahr dagegen, wenn die Sonne wesentlich niedriger steht, ist der optimale Neigungswinkel wesentlich steiler, nämlich ca. 60°.

Über das ganze Jahr gesehen erreicht man optimale Energieausbeuten bei einem Neigungswinkel von ca. 40°.

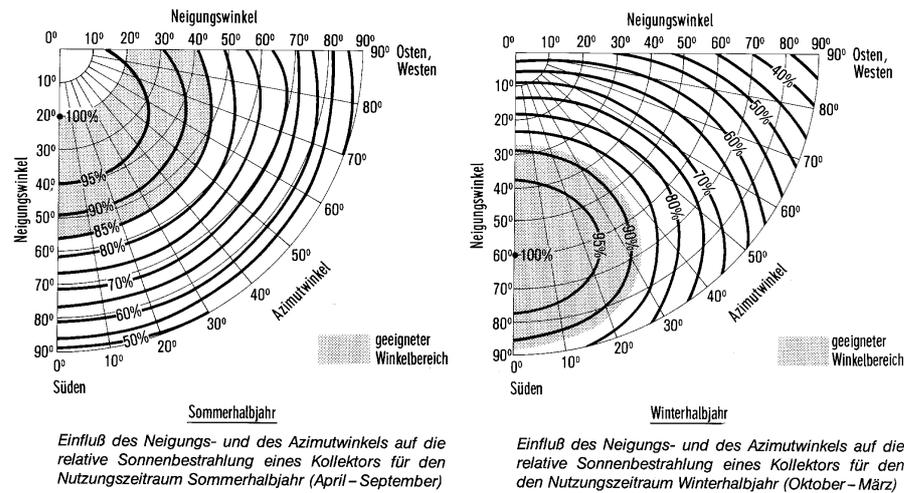


Abbildung 10-3: Ausrichtung von Solaranlagen [Ruhrgas]

Solarstrahlung wird beim Durchgang durch die Erdatmosphäre geschwächt. Die auf der Erdoberfläche ankommende Strahlung ist am stärksten, wenn der Weg den sie durch die Atmosphäre zurücklegen muß, am kürzesten ist. Das ist der Fall um die Mittagszeit, wenn die Sonne im Süden steht und den höchsten Stand des Tages erreicht hat. Solarkollektoren sollten daher ungefähr nach Süden orientiert werden. Vor allem im Sommer wirken sich Abweichungen von der Südausrichtung allerdings nur geringfügig aus.

Wirkungsgrad

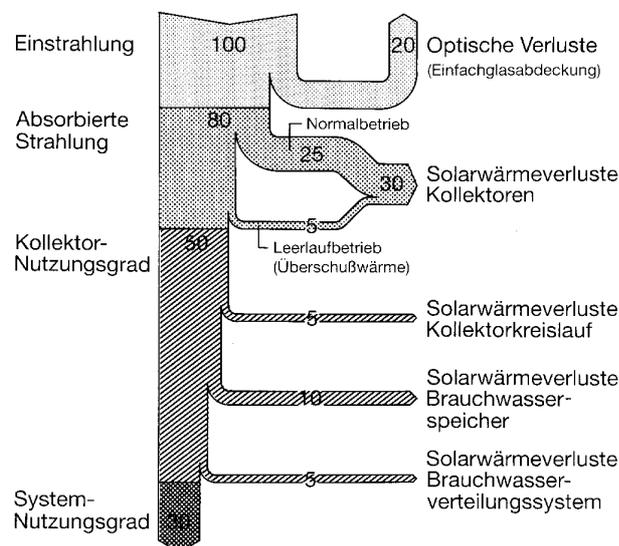


Abbildung 10-4: Jahres-Sonnenenergiebilanz [TGA 1/97]

Eine Sonnenkollektoranlage kann nicht die vollständige Einstrahlung der Sonne umsetzen. Allein die optischen Verluste reduzieren die Einstrahlung um ca. 20%. Thermische Verluste im System (Kollektor, Leitungssystem, Speicher, Verteiler) reduzieren den Nutzungsgrad

auf ca. 35%. Das bedeutet: Effektiv kann man von einer eingestrahelten Leistung von 1 kW/m^2 nur 350 W/m^2 nutzbare Wärme gewinnen.

Außer von seiner Bauart, ist der Wirkungsgrad eines Kollektors hauptsächlich von der Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Umgebungsluft abhängig. Mit wachsendem Temperaturgefälle geht zunehmend Wärme durch das Kollektorgehäuse verloren, und der Wirkungsgrad sinkt.

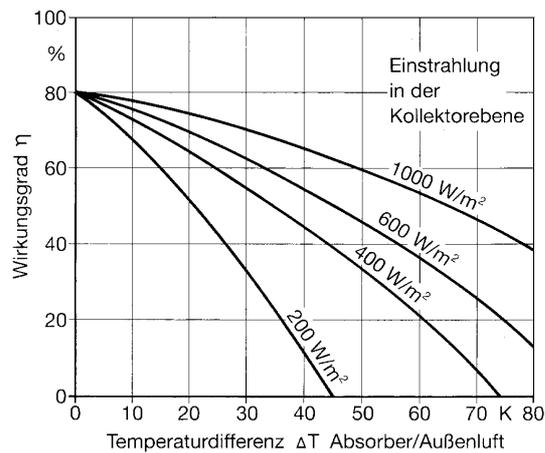


Abbildung 10-5: Gemessene Wirkungsgradkennlinien eines marktgängigen Flachkollektors mit Einfachglasabdeckung und selektiver Absorberbeschichtung [TGA 1/97]

10.2 Systemelemente von Solaranlagen

Kollektor

Die Kollektoren wandeln die Sonnenenergie durch Absorption in Wärme um. Das Angebot auf dem Markt ist sehr vielfältig und es wird zwischen verschiedenen Kollektortypen differenziert:

Der im **Flachkollektor** enthaltene Absorber wird durch eine oberseitige lichtdurchlässige Abdeckung und der unterseitigen Isolierung vor Witterungseinflüssen abgeschirmt. Durch die Abschirmung werden die Energieverluste gering gehalten, und es kann sich eine Leerlauftemperatur (maximale Absorbertemperatur bei optimaler Sonneneinstrahlung, ohne Kühlung durch das umlaufende Wärmeträgermedium) zwischen 120 und 200°C einstellen. Eine resultierende Speicherwassertemperatur von 80°C ist dann keine Seltenheit.

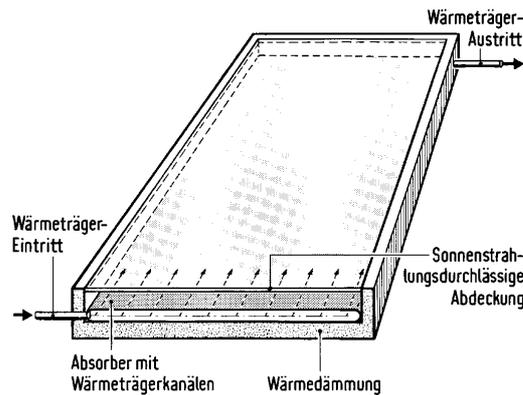


Abbildung 10-6: Schematischer Aufbau eines Flachkollektors [Ruhgas]

In ungeheizten Schwimmbädern beträgt die mittlere Wassertemperatur 16-19°C. Um das Baden attraktiv zu machen, wird eine Temperatur von 22-25°C angestrebt. Eine Nachheizung ist erforderlich.

Durch die zeitliche Übereinstimmung von Energienachfrage und Angebot (Baden in warmen Wasser an sonnigen Tagen) bietet sich hier eine solare Erwärmung an. Es können sehr hohe solare Deckungsraten erreicht werden, d.h. daß auf eine zusätzliche Heizung des Wasser durch andere Ressourcen oftmals verzichtet werden kann.

Der **Schwimmbadkollektor** unterscheidet sich in seinem Aufbau vom Flachkollektor durch die nicht vorhandene Abdeckung und Isolierung. Beim Schwimmbadkollektor ist nur der Absorber vorhanden, in der Regel ein schwarzes Kunststoffrippenrohr, das in Form von Matten oder Rohrbündeln auf z.B. den Umkleidekabinen ausgerollt wird. Eine Isolierung ist aufgrund der geringen Unterschiede zwischen Luft- und Wassertemperatur nicht nötig. Als Speicher und Wärmeträger dient das Beckenwasser.

Durch die günstigen Bedingungen können wirtschaftliche Amortisationszeiten von 5 Jahren erreicht werden.

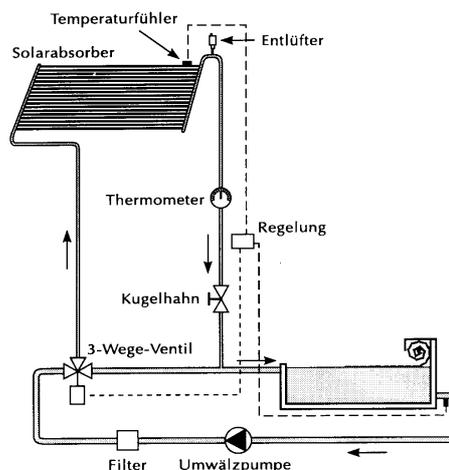


Abbildung 10-7: Aufbau eines solaren Einkreisystems für die Schwimmbaderwärmung [Wagner]

Der **Vakuum-Röhrenkollektor** besteht aus einem evakuierten Glaskolben, in dem sich ein selektiv beschichteter Absorber befindet. Durch die Evakuierung sind die Wärmeverluste gegenüber dem Flachkollektor wesentlich geringer, der Wirkungsgrad ist besser, es können selbst im Winter gute Erträge erwirtschaftet werden. Die Leerlauftemperatur liegt bei ca. 300°C.

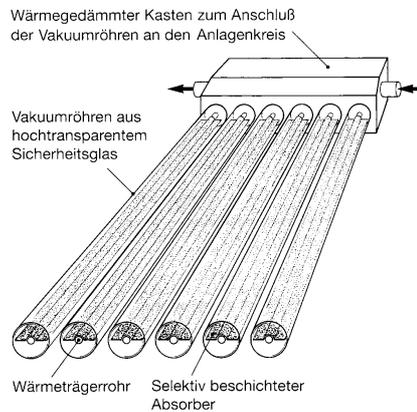


Abbildung 10-8: Schematische Darstellung eines Vakuum-Röhrenkollektors [Ruhgas]

Ein Vorteil, resultierend aus dem Wirkungsgrad, ist der geringere Flächenbedarf gegenüber Flachkollektoren. Es wird nur die Hälfte der Fläche benötigt.

Demgegenüber stehen die wesentlich höheren Kosten. Vakuum-Röhrenkollektoren werden deshalb nur dort eingebaut, wo höhere Temperaturen erforderlich oder ein geringes Flächenangebot vorhanden ist.

Der **Vakuum-Flachkollektor** ist vom Aufbau und Aussehen ähnlich dem Standard-Flachkollektor. Der entscheidende Unterschied ist die Evakuierung seines Innenraumes. Bedingt durch seinen Aufbau enthält er kein Hochvakuum, wie der Vakuum-Röhrenkollektor, und steht diesem deshalb im Wirkungsgrad nach.

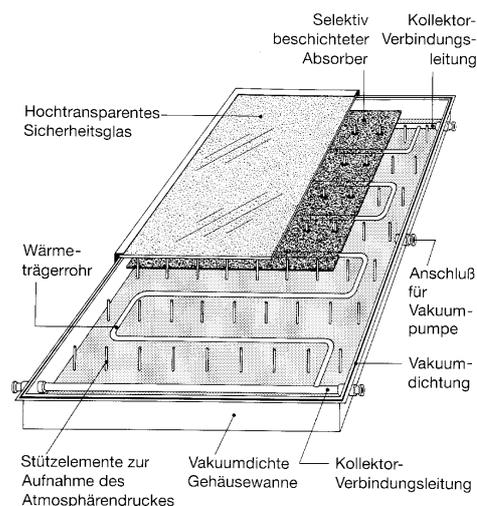


Abbildung 10-9: Schematische Darstellung eines Vakuum-Flachkollektors [Ruhgas]

Beim **Luftkollektor** ist das Wärmeträgermedium, wie sich aus der Bezeichnung bereits herleitet, Luft. Luftkollektoren sind für die Warmwasserbereitung, aufgrund der geringeren Wärmekapazität (bezogen auf ihr Volumen) gegenüber Wasser nicht geeignet. Ihr Einsatzgebiet ist die Unterstützung von Luftheizungen oder für Trocknungszwecke in der Landwirtschaft.

Kollektortyp	Vorteile	Nachteile
Flachkollektor	<ul style="list-style-type: none"> • Langlebigkeit • günstiges Preis-Leistungsverhältnis • dachintegrierte Montage möglich <p>hoher Selbstbauanteil möglich</p>	<ul style="list-style-type: none"> • großer Flächenbedarf
Schwimmbadkollektor	<ul style="list-style-type: none"> • hohe solare Deckungsrate • einfache Installation <p>geringe Amortisationszeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> • zur Warmwasserbereitung (im herkömmlichen Sinn) aufgrund geringerer Temperaturen nicht geeignet
Vakuum-Röhrenkollektor	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Wirkungsgrad • geringer Flächenbedarf • hohe Temperaturen erreichbar, z.B. zur Dampferzeugung 	<ul style="list-style-type: none"> • ungünstigeres Preis-Leistungsverhältnis gegenüber Flachkollektor • keine dachintegrierte Montage möglich • Unsicherheiten bzgl. Alterung
Vakuum-Flachkollektor	<ul style="list-style-type: none"> • relativ gute Leistung • Drosselung der Leistung durch Veränderung des Unterdruckes möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • geringere Leistungsfähigkeit im Vergleich zu Vakuum-Röhrenkollektoren • teurer als Standard-Flachkollektoren

Tabelle 10-4: Zusammenstellung und Bewertung unterschiedlicher Kollektorbauarten

Speicher

Bedingt durch die Tatsache, daß die Sonne nicht immer dann scheint, wenn man die Wärme benötigt, muß die Sonnenenergie in irgendeiner Form zwischengespeichert werden.

Die Speicherung bis zu einigen Tagen wird hierbei Kurzzeitspeicherung und die saisonale, Langzeitspeicherung genannt. Dieses kann dann mit unterschiedlichen Speicherungsverfahren erreicht werden.

Die momentan verbreiteste ist die "fühlbare" Wärmespeicherung. Dies geschieht durch die Anhebung des Temperaturniveaus eines Speichermediums (z.B. Wasser oder Stein) auf Temperaturen bis zu 90°C.

Steinspeicher haben gegenüber Wasser den Nachteil, daß ihre Speicherkapazität wesentlich geringer ist. Sie werden bei Kleinanlagen in der Regel nur in Verbindung mit Luftkollektoren eingesetzt.

Der Energieinhalt steigt bei der "fühlbaren" Wärmespeicherung proportional zur Temperatur. Anders ist das bei der Latentwärmespeicherung. Sie macht sich zunutze, daß ein Stoff beim Wechsel des Aggregatzustands sehr viel Energie aufnimmt. Um zum Beispiel einen Eisblock in Wasser umzuwandeln wird genauso viel Energie benötigt, wie zur Erwärmung der selben Menge Wasser von 0°C auf 80°C notwendig ist. Kehrt man den Prozeß um, wird die gebundene Energiemenge wieder vollständig frei.

Die Probleme bei der Latentwärmespeicherung verursachen die Speicherstoffe. Wasser/Eis ist durch die vorgegebene Umwandlungstemperatur von 0°C ohne Wärmepumpe nicht verwertbar. Einige Paraffine bzw. Fettsäuren die von fest auf flüssig bei ca. 40-60°C wechseln, sind entweder nicht langzeitstabil oder zu teuer. Ein marktreifes Produkt ist deswegen noch nicht entstanden.

Stoff	nutzbarer Temp.bereich [°C]	spez. Gewicht [kg/m³]	spez. Wärme [Wh/(kg°C)]	Speicherkapazität [Wh/(m³°C)]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m°C)]
Wasser	0-100	1000	1,17	1170	0,6
Wasser/Eis	0-0	1000	94	86000	-
Beton, Kies	prakt. Unbegrenzt	2400	0,28	667	2,1
Basalt, Granit	prakt. Unbegrenzt	2800	0,28	778	3,5
Ziegel	prakt. Unbegrenzt	1800	0,28	500	0,8

Tabelle 10-5: Stoffwertetabelle unterschiedlicher Speichermedien [Ladener]

Wärmetransportsystem

Für den Wärmetransport zwischen den einzelnen Komponenten der Anlage ist ein gut gedämmtes Rohrsystem erforderlich. Denn durch die räumliche Anordnung (Kollektor in der

Regel auf dem Dach, Speicher im Keller) entstehen lange Wege, auf denen sonst hohe Wärmeverluste auftreten können.

Für Anlagen mit Luft als Wärmeträger sind aufgrund ihrer geringeren Wärmekapazität gegenüber Wasser, wesentlich größere Querschnitte notwendig, deren Unterbringung in Altbauten sich manchmal schon als schwierig herausstellte.

Bei Wasser als Wärmeträger besteht bei Stillstand (z.B. Stromausfall) die Gefahr des Temperaturanstieges über 100°C und die daraus resultierende Dampfbildung. Da Dampf aber nunmal ein wesentlich größeres Volumen einnimmt als Wasser, was zu einem zerstörerischen Druckanstieg innerhalb des Systems führen würde, muß die Anlage mit Sicherheitseinrichtungen versehen sein. Meistens ist außer einem Überdruckventil auch ein Ausdehnungsgefäß vorhanden, in dem der gesamte verdampfte Wärmeträger Platz findet. Dadurch kann nach der Abkühlung die Anlage ohne Probleme wieder in Betrieb genommen werden.

In einigen Anlagen werden die Pumpen, die zur Umwälzung des Wassers innerhalb des Speicherkreislaufes erforderlich sind, mit Photovoltaik (Solarstrom) betrieben. Der Vorteil einer solchen Anlage ist dann, daß sie energieautark betrieben werden kann. Denn die Pumpe läuft nur dann, wenn eine Umwälzung des Wasser auch notwendig ist, nämlich bei Sonnenschein. Der Nachteil ist die geringe Leistung der Pumpen, bzw. für große Leistungen ist ein großes Photovoltaikelement notwendig, das erhebliche Kosten verursacht.

10.3 Systemvarianten

Die in unseren Breiten am häufigsten eingesetzten Systeme sind pumpengetriebene Zweikreisysteme (siehe Abbildung 10-10). Der Kollektor wird in der Regel auf der Dachhaut montiert. Der Kollektorkreislauf wird durch eine Pumpe angetrieben, die dafür sorgt, daß das erhitzte Wärmeträgermedium vom Kollektor zu einem Wärmespeicher transportiert wird. Dort wird die vom Kollektor kommende Energie über einen Wärmetauscher an das Speicherwasser übertragen. Kollektor- und Nutzwasser haben getrennte Kreisläufe.

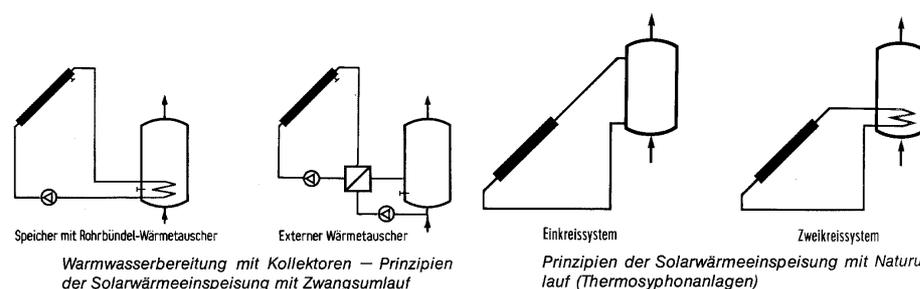


Abbildung 10-10: Solarsystemvarianten [Ruhrgas]

Liegt der Kollektor unterhalb des Wärmespeichers, dann kann man unter Umständen auf eine Pumpe verzichten, da das erwärmte Wasser durch seine geringere Dichte vom Kollektor zum Speicher aufsteigt (Thermosyphonanlage).

In wärmeren Gebieten, in denen ein Frostschutzmittel im Kollektorwasser nicht notwendig ist, werden auch Einkreisssysteme verwendet. Dabei wird das Brauchwasser direkt durch den Kollektor geschickt, ohne einen zwischengeschalteten Wärmetauscher.

10.4 Ökonomische Aspekte zum Einsatz von Solaranlagen

Die Nutzbarmachung von Sonnenenergie erfordert einen hohen Aufwand. Unter Umständen führen andere, technisch weit weniger aufwendige Energiesparmaßnahmen, bei gleicher Investitionshöhe zu wesentlich größeren Einsparungen und sind daher dem Kauf einer Solaranlage vorzuziehen.

Bei Gebäuden mit schlechter Aussendämmung sind bei gleichem finanziellen Einsatz i.d.R. wesentlich höhere Energieeinsparungen zu erreichen.

11 Warmwasserversorgung³⁹

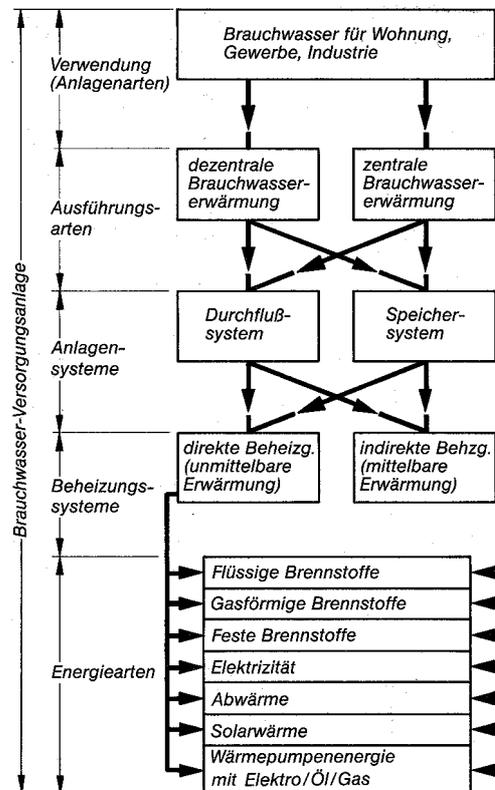


Abbildung 11-1: Formen von Brauchwasser Versorgungsanlagen [HfH]

11.1 Zentrale Versorgung

Die Zentralversorgung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Warmwasserversorgung mit einem Wärmeerzeugungssystem innerhalb oder außerhalb des zu versorgenden Gebäudes „zentral“ geschieht. Dabei kann das Wärmeerzeugungssystem der Heizungsanlage oder ein separater Wasserheizer eingesetzt werden (s.a. Kapitel 0).

Aus Komfortgründen wird bei der zentralen Versorgung bei langen (10 m und mehr) Leitungswegen oft eine Zirkulationsleitung vorgesehen, die jedoch zu höheren Verlusten führt. In unbeheizten Räumen beträgt der jährliche Verlust ca. 38 kWh/m. In beheizten Räumen kommen die Verluste in der Heizzeit der Gebäudeheizung zugute. Dadurch treten primär im Sommer Zirkulationsverluste auf, die dann nur noch ca. 8 kWh/m.

³⁹ Als Grundlage für die Kapitel 11.1, 11.2 und deren Unterabschnitte diente das Kapitel 4.2.3 aus [HiG]

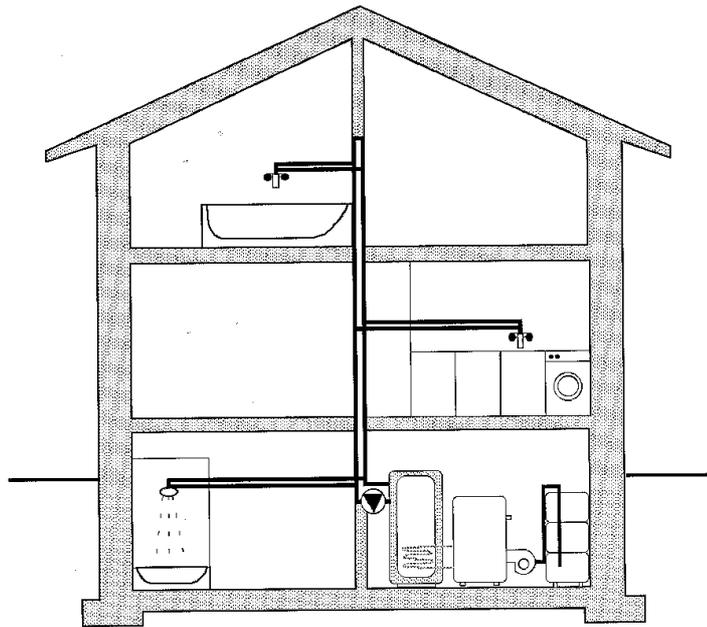


Abbildung 11-2: Zentrale Warmwasserversorgung [HIG]

Zirkulationsleitungen zur sofortigen Bereitstellung des Warmwassers an weit entfernten Zapfstellen müssen gemäß [HeizAnIV] mit zeitlich steuerbaren Pumpen versehen und wärmegeklämt werden.

Eine zentrale Versorgung sollte mit möglichst kurzen Stichleitungen auskommen.

11.2 Dezentrale Versorgung

Bei der dezentralen Versorgung, auch verbrauchsnahe Versorgung genannt, wird das Wasser direkt an den Entnahmestellen mit den dort installierten Geräten erwärmt. Als Energieträger kommen hier Strom und Gas zum Einsatz.

Die Verluste durch die Warmwasserverteilung sind bei der dezentralen Warmwasserversorgung am kleinsten. Die Warmwasserspeicherung und deren Wärmeverlust kann auf ein Minimum reduziert werden. Kurze Warmwasserleitungen mit geringem Rohrquerschnitt lassen geringe Wartezeiten beim Zapfen entstehen.

Bei einer dezentralen Versorgung wird die Wohnung oder das Haus mit mehreren Warmwassergeräten ausgestattet, so beispielsweise das Bad mit Dusche, Badewanne und Waschbecken mit einem Durchlauferhitzer versorgt, die Spüle in der Küche mit einem Kochendwassergerät oder Untertisch-Kleinspeicher und die separate Gästetoilette ebenfalls mit einem Untertisch-Kleinspeicher.

Bei Gasgeräten ist auf die Zufuhr von Verbrennungsluft und die Abfuhr der Abgase zu achten.

11.3 Wassererwärmer

Bei den Wassererwärmern unterscheidet wird zwischen zwei gebräuchlichen Systemen unterschieden [Rurhgas]:

- Speichersystem
- Durchflußsystem

Warmwasserspeicher

Der Warmwasserspeicher besteht aus einem wärme gedämmten Behälter, in dem ständig Wasser mit gleichbleibender Temperatur auf Abruf - Öffnen einer Zapfstelle - vorgehalten wird. Die notwendige Größe der Speicher wird von der Leistung des Wärmeerzeugers - hier sind alle Energieformen (Solar, Öl, Gas, Strom) einsetzbar -, dem Nutzungsprofil (Entnahmeprogramm) und dem Komfortanspruch des Benutzers bestimmt. Für einen 3-Personen-Haushalt sind Speicher mit 100 bis 160 Liter bei Wassertemperaturen von ca. 60 °C üblich. Standspeicher mit 300 Liter Wasserinhalt und mehr werden im allgemeinen nur eingesetzt, wenn Solarenergie genutzt wird. Beim Einsatz von Speichern können relativ schnell große Wassermengen gezapft werden bzw. mehrere Zapfstellen gleichzeitig mit konstanter Wassertemperatur bedient werden.

Durchlauferhitzer

Durchlauferhitzer zeichnen sich durch eine kleine, kompakte Bauform und hohe Heizleistung aus. Hier wird im Gegensatz zum Warmwasserspeicher das Wasser beim Durchfließen des Gerätes erwärmt. Die Wärmeverluste sind gering, da nur eine kleine Wassermenge im Gerät gespeichert wird.

Bei Durchlauferhitzern ist jedoch die Warmwasserleistung durch die Heizleistung begrenzt. Bei der Planung entscheidet der Anschlußwert über die mögliche Warmwasserleistung⁴⁰.

Solare Brauchwassererwärmung

Siehe hierzu das Kapitel 10.

11.4 Einbindung in Heizsystem

Die Warmwasserbereitung kann sowohl separat, als auch in Verbindung mit der Gebäudeheizung erfolgen. Die Integration ins Heizsystem kann auf unterschiedliche Wege erfolgen:

Als Durchlaufsystem

Bei Gas-Kombiwasserheizern (Gasthermen) wird bei Warmwasseranforderung der Heizbetrieb zurückgestellt und das Brauchwasser im Durchlauf erhitzt.

⁴⁰ s.a. Auslegungsbeispiel S. 31

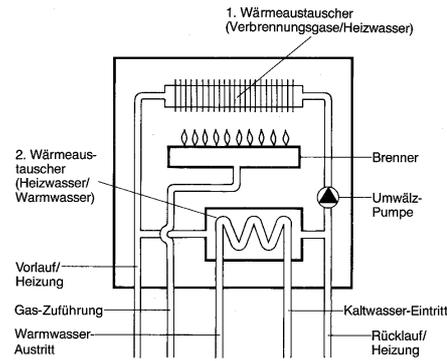


Abbildung 11-3: System-Schema eines Gas-Kombiwasserheizers [Ruhrgas]

Eine weitere Form ist bei größeren Anlagen, daß in einem Speicher ein Wärmetauscher integriert ist, der die Wärme an das durchströmende Wasser abgibt.

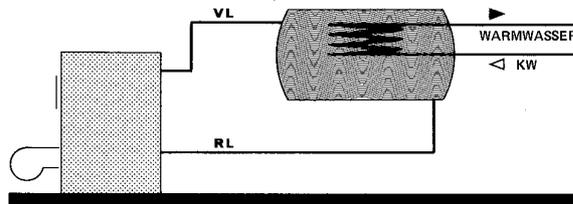


Abbildung 11-4: Prinzip einer indirekten Durchfluß-Brauchwassererwärmung [Wellpott]

Als Speichersystem

Bei Speichersystemen wird im Heizsystem, daß das Gebäude mit Wärme versorgt, ein Warmwasserspeicher integriert. Im Speicher ist ein Wärmetauscher, der die Wärme vom Heizsystem an das Brauchwasser überträgt.

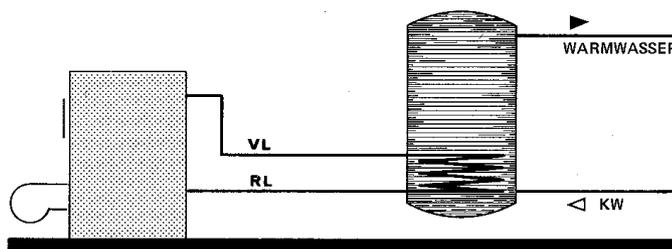


Abbildung 11-5: Warmwasserbereitung nach dem Speicherprinzip [Wellpott]

12 Literaturverzeichnis

- Blume Blume, Dirk und Nikolaus Steffen. Anleitung zur Konstruktion einer solarthermischen Modellanlage für Schulungs- und Bildungszwecke. Studienarbeit am Fachbereich Maschinenbau an der Gesamthochschule Kassel. Kassel: 1996
- DIN 1345 Thermodynamik: Grundbegriffe. Hg. Deutsches Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth-Verlag, 12/93
- DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau. Hg. Deutsches Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth-Verlag, 8/81
- DIN 4701 T1 83 Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Hg. Deutsches Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth-Verlag, 3/83
- DIN 4701 T1 95 E Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden. Hg. Deutsches Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth-Verlag, Entwurf 8/95
- DIN 4708 Zentrale Wassererwärmungsanlagen. Hg. Deutsches Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth-Verlag, 4/94
- EbuM Energiegerechtes Bauen und Wohnen: Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner. Hg. Bundesarchitektenkammer. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser, 1996.
- Epass Keldenich, Frank. Energiepaß. Benutzerhandbuch zum Computerprogramm Epass V3.0 zu Energiekennzahl-Berechnungsverfahren nach Hauser/Hausladen. November 1991.
- Harder Harder, Kruse, Sproten. Projektierung in der Sanitärtechnik. 1. Aufl.. Stuttgart: Gentner Verlag, 1992
- HdK Arbeitskreis der Dozenten der Klimatechnik. Handbuch der Klimatechnik: Band 1 Grundlagen. Karlsruhe: Verlag C.F. Müller, 1989
- HeizAnIV Rathert, Peter. Wärmeschutzverordnung (gültig ab 1.1.1995) Heizungsanlagen-Verordnung (gültig ab 1.6.1994): Neue energiesparrechtliche Vorschriften. Köln: Bundesanzeiger, 1994
- HfH Handbuch für Heizungstechnik. Hg. Buderus Heiztechnik GmbH. Berlin: Beuth Verlag, 1994

- HiG Heizenergieeinsparung im Gebäudebestand. Hg. Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung e.V.. 1. Aufl.. Böhl-Iggelheim: Baucom Verlag, 1996
- Huber Huber, Müller, Oberländer. Das Niedrigenergiehaus: ein Handbuch. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer, 1996
- Ladener Lorenz-Ladener, Claudia, Heinz Ladener. Solaranlagen im Selbstbau: Theorie und Praxis der Sonnenkollektortechnik. Warmwasserbereitung, Schwimmbad- und Raumheizung. 8., unveränd. Aufl.. Stauf bei Freiburg: ökobuch, 1989
- LdB Lutz u.a.. Lehrbuch der Bauphysik. Stuttgart: Teubner, 1989
- Marko Marko, Armin und Peter Braun (Hg.). Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden. Berlin; Heidelberg; New York; ... : Springer, 1997
- Moor, Hans Bau und Energie - Physikalische Grundlagen: Leitfaden für Planung und Praxis. Stuttgart: Verlag der Fachvereine, 1993
- Oswalt, Phillipp (Hg.) Wohltemperierte Architektur: Neue Techniken des energiesparenden Bauens. Mitarb. Susanne Rexroth. 1. Aufl.. Heidelberg: C.F. Müller, 1994
- Recknagel Recknagel, Sprenger, Hörmann. Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 92/93. 66. Aufl.. Hg. Rudolf Schramek. München: Oldenbourg Verlag, 1992
- Ruhrgas Cziesielski, Daniels, Trümper. Ruhrgas Handbuch: Haustechnische Planung. 2. Aufl.. Hg. Ruhrgas AG. Stuttgart: Karl Krämer Verlag, 1988
- RWE-Energie Bau-Handbuch: Technischer Ausbau. Hg. RWE-Energie. 10. Aufl.. Essen: Energie-Verlag, 1991
- Schmid Schmid, Christoph. Bau und Energie - Heizungs- und Lüftungstechnik: Leitfaden für Planung und Praxis. Hg. Christoph Zürcher. Stuttgart: Teubner Verlag, 1993
- TAB Jürgen Nickel. „Heizen und Kühlen mit Decken“. Technik am Bau 5. (Mai 1997): 41-48.
- TGA 1/97 Technische Gebäudeausrüstung I: Skript. Skriptum zur Vorlesung von Prof. G. Hausladen an der Gesamthochschule Kassel. 1/1997

- Wagner Schreier, Norbert [u.a.]. So baue ich eine Solaranlage: Technik, Planung und Montage. Hg. Wagner & Co Solartechnik GmbH. 13. Auflage. Marburg: alp-Druck GmbH, 1996
- Wellpott, Edwin Technischer Ausbau von Gebäuden. 5. überarb. Aufl.. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer Verlag, 1982
- WSVO Rathert, Peter. Wärmeschutzverordnung (gültig ab 1.1.1995) Heizungsanlagen-Verordnung (gültig ab 1.6.1994): Neue energiesparrechtliche Vorschriften. Köln: Bundesanzeiger, 1994
- Ziegel Baulicher Wärmeschutz: Erläuterungen zur Wärmeschutzverordnung. Hg. Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.. Mönchengladbach: Druckhaus B. Kühlen KG, 1994

13 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1-1: Wärmeübertragung durch Leitung, Konvektion und Strahlung am Beispiel einer Kerze	4
Abbildung 1-2: Wärmeabgabe des Menschen in Abhängigkeit von der Lufttemperatur bei sitzender Tätigkeit mit normaler Bekleidung [HdK]	7
Abbildung 1-3: Einflußfaktoren auf die thermische Behaglichkeit [EBuM]	8
Abbildung 1-4: Erforderliche Außenluftrate [Ruhrgas]	9
Abbildung 1-5: Wasserdampfgehalt der Luft [LdB]	10
Abbildung 1-6: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit [Ruhrgas]	11
Abbildung 1-7: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von Oberflächentemperatur der Außenwand [EBuM]	12
Abbildung 1-8: Luftströmungen im Raum bei unterschiedlicher Heizkörperanordnung [Wellpott]	13
Abbildung 1-9: Kaltluftabfall an Fassaden [TAB]	13
Abbildung 1-10: Maximale Raumlufgeschwindigkeit [TAB]	14
Abbildung 2-1: CO ₂ -Emissionen: Prognose und Anforderung zur Klimastabilisierung [EBuM]	15
Abbildung 2-2: Weltbevölkerung und Erdölnutzung [EBuM]	15
Abbildung 2-3: Energiedichte unterschiedlicher Energieträger [TGA 1/97]	16
Abbildung 2-4: Primär-, End- und Nutzenergiefluß der Bundesrepublik Deutschland [EBuM]	17
Abbildung 2-5: Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie bei den wichtigsten Wärmeerzeugungssystemen (Durchschnittswerte) [Wellpott]	18
Abbildung 2-6: Prinzip der Verbrennung	21
Abbildung 2-7: Kohlendioxidemissionen unterschiedlicher Energieträger [TGA 1/97]	22
Abbildung 2-8: Schadstofffreisetzung von Erdgas im Vergleich zu übrigen Brennstoffen Bundesrepublik Deutschland (alte Länder ohne Prozesse) [TGA 1/97]	23
Abbildung 3-9: Lastverteilung bei Kesselanlagen während einer Heizperiode [HfH]	26
Abbildung 3-10: Funktion der DIN 4701	26
Abbildung 3-11: Funktion der WSV0 '95	29
Abbildung 3-12: Brauchwassermenge, Temperatur und Benutzungszeitraum für die Auswahl von Einzel- und Gruppen-Brauchwassererwärmern [Harder]	32

Abbildung 4-13: Warmwasserzentralheizung [TGA 1/97]	34
Abbildung 5-1: Wärmeabgabe unterschiedlicher Heizflächentypen [Schmid]	36
Abbildung 5-2: Radiatoren [Wellpott]	37
Abbildung 5-3: Plattenheizkörper mit Konvektionsrippen [Wellpott]	37
Abbildung 5-4: Verschiedene Einbaumöglichkeiten von Konvektoren [Ruhrgas]	38
Abbildung 5-5: Platzbedarf von Radiatoren und Plattenheizkörpern	39
Abbildung 5-6: Ausbauelemente des Fußbodenaufbaues von Warmwasserfußbodenheizungen [Wellpott]	40
Abbildung 5-7: Verlegevarianten [Wellpott]	41
Abbildung 6-8: Horizontale und vertikale Heizleitungsverlegung [Wellpott]	43
Abbildung 6-9: Dämmung von Verteilleitungen	44
Abbildung 6-10: Verteilleitungen in der Außenwand [TGA 1/97]	45
Abbildung 6-11: Fußbodenaufbau und Wärmedämmung der Heizleitungen [TGA 1/97]	46
Abbildung 7-12: Bezeichnungen der wichtigsten Teile von Heizkesseln [HfH]	50
Abbildung 7-13: Prinzipskizze des Niedertemperatur- und des Brennwertkessels [EBuM] .	50
Abbildung 7-14: Prinzipskizze eines Fernwärmeanschluß [Wellpot]	53
Abbildung 7-1: Darstellung der Verlustarten von Heizungsanlagen [TGA 1/97]	54
Abbildung 7-2: Abgasverluste [TGA 1/97]	54
Abbildung 7-3: Kesselverluste [TGA 1/97]	55
Abbildung 7-4: Vergleich Niedertemperatur- und Brennwertkessel [EBuM]	56
Abbildung 7-5: Rezirkulationszonen und Rauchausbreitung in Abhängigkeit der Gebäudeform und Schornsteinhöhe [TGA 1/97]	57
Abbildung 7-6: Schornsteinsysteme [TGA 1/97]	58
Abbildung 7-7: LAS und Normalschornstein [TGA 1/97]	58
Abbildung 7-8: LAS-Varianten [TGA 1/97]	59
Abbildung 7-9: Ausführungsbeispiele von LAS Systemen [TGA 1/97]	59
Abbildung 7-10: Abgasleitungen im Schornstein [TGA 1/97]	60
Abbildung 8-11: Prinzip einer vorlauftemperaturgeführten Vorlauf- bzw. Kesseltemperaturregelung [HfH]	61
Abbildung 8-12: Prinzip einer Kaskadenregelung als Raumtemperaturregelung mit Vorlauftemperaturerfassung und Witterungskompensation [HfH]	62
Abbildung 8-13: Parallelverschiebung der Heizkennlinie	62

Abbildung 8-14: Veränderung der Steilheit der Heizkennlinie	63
Abbildung 8-15: Unterschiedliche Bauformen von Thermostatventilen [HfH]	64
Abbildung 8-16: Thermostatventile mit elektronischer Steuerung [HfH]	64
Abbildung 8-17: Temperatur-Zeit-Profil einer Gebäude- oder Raumbeheizung bei einer zeitvariablen Zyklusdauer [HfH]	65
Abbildung 9-18: Prinzip der Wärmepumpe	66
Abbildung 9-19: Funktionsskizze des Wärmepumpenprozesses [Wellpott; überarbeitet] ...	67
Abbildung 9-20: Bivalente Wärmebedarfsdeckung im Teilparallelbetrieb [TGA 1/97]	68
Abbildung 9-21: Wärmebedarfsdeckung bei bivalent-paralleler Betriebsweise [TGA 1/97].	68
Abbildung 9-22: Schema einer Grundwasser-Wärmepumpenanlage [TGA 1/97]	69
Abbildung 9-23: Schema einer Erdreich-Wärmepumpenanlage [TGA 1/97]	69
Abbildung 9-24: Anlagenschema einer bivalenten Wärmepumpenheizung mit der Wärmequelle Umgebungsluft [TGA 1/97]	70
Abbildung 9-25: Energiefluß bei der Öl-Zentralheizung [TGA 1/97]	70
Abbildung 9-26: Energiefluß einer elektrisch angetriebenen Grundwasser-Wärmepumpe [TGA 1/97]	70
Abbildung 10-27: Gebräuchliches Standardsolarsystem zur Warmwasserbereitung [EBuM]	71
Abbildung 10-28: Raumwärme- und Warmwasserbedarf im Vergleich mit theoretisch möglichen Solarsystemerträgen [Marko]	73
Abbildung 10-29: Ausrichtung von Solaranlagen [Ruhrgas]	74
Abbildung 10-30: Jahres-Sonnenenergiebilanz [TGA 1/97]	74
Abbildung 10-31: Gemessene Wirkungsgradkennlinien eines marktgängigen Flachkollektors mit Einfachglasabdeckung und selektiver Absorberbeschichtung [TGA 1/97]	75
Abbildung 10-32: Schematischer Aufbau eines Flachkollektors [Ruhrgas]	76
Abbildung 10-33: Aufbau eines solaren Einkreissystems für die Schwimmbaderwärmung [Wagner]	76
Abbildung 10-34: Schematische Darstellung eines Vakuum-Röhrenkollektors [Ruhrgas] .	77
Abbildung 10-35: Schematische Darstellung eines Vakuum-Flachkollektors [Ruhrgas]	77
Abbildung 10-36: Solarsystemvarianten [Ruhrgas]	80
Abbildung 11-1: Formen von Brauchwasser Versorgungsanlagen [HfH]	82
Abbildung 11-2: Zentrale Warmwasserversorgung [HiG]	83
Abbildung 11-3: System-Schema eines Gas-Kombiwasserheizers [Ruhrgas]	85

Abbildung 11-4: Prinzip einer indirekten Durchfluß-Brauchwassererwärmung [Wellpott] 85
Abbildung 11-5: Warmwasserbereitung nach dem Speicherprinzip [Wellpott] 85

Tabelle 1-1: Wärmeproduktion des Körpers bei verschiedenen Tätigkeiten 6
Tabelle 1-2: Wärmedämmwerte verschiedener Bekleidungen [Oswalt] 6
Tabelle 1-1: Typische Werte der relativen Luftfeuchtigkeit [LdB] 11
Tabelle 2-2: Umrechnungsfaktoren [TGA 1/97] 20
Tabelle 2-3: Heizwerte ausgewählter Energieträger [TGA 1/97] 20
Tabelle 2-1: Brenn- und Heizwerte verschiedener Stoffe [TGA 1/97] 23
Tabelle 6-1: Dämmstoffstärken 44
Tabelle 6-2: Anforderungen an Dämmstoffstärken 45
Tabelle 9-3: Betriebsweisen von Wärmepumpen 68
Tabelle 10-4: Zusammenstellung und Bewertung unterschiedlicher Kollektorbauarten 78
Tabelle 10-5: Stoffwertetabelle unterschiedlicher Speichermedien [Ladener] 79