

III. ENERGIEEFFIZIENTE HAUSTECHNIK

Physikalische Grundlagen, Aktive Solarenergie-
nutzung, Heizungssysteme und -konzepte,
Passive Kühlsysteme

Konzeption und Zusammenstellung:

DI Thomas Mach, thomas.mach@tugraz.at
Dr. Richard Heimrath, heimrath@tugraz.at
Tel: 0316 / 873 7814
Fax: 0316 / 873 7305

Fachliche Beiträge:

Dr. Hermann Schranzhofer, hermann.schranzhofer@tugraz.at
Dr. Richard Heimrath, heimrath@tugraz.at
Ao. Univ. Prof. Dr. Wolfgang Streicher, w.streicher@tugraz.at
DI Thomas Mach, thomas.mach@tugraz.at

Institut für Wärmetechnik
Technische Universität Graz, Inffeldgasse 25 B, 8010 Graz
Tel: 0316 / 873 7306
Fax: 0316 / 873 7305
www.iwt.tugraz.at

IWT TU Graz
Institut für Wärmetechnik

Dieses Skriptum ist ausschließlich als Studienunterlage für die Lehrveranstaltung „Integrierte und Nachhaltige Hochbauplanung“ geeignet.

Die Autoren übernehmen trotz sorgfältigster Recherche keinerlei Gewähr für eine bestimmte Beschaffenheit, Qualität oder Zuverlässigkeit der zusammengestellten Informationen und keinerlei Haftung für die Vollständigkeit und Richtigkeit von Informationsinhalten.

Inhalt

I.	Physikalische Zusammenhänge.....	7
I.1	Begriffe, Größen und Einheiten.....	8
I.1.1	Temperatur, Wärmemenge und Wärmekapazität.....	8
I.1.2	Energie und Leistung.....	9
I.1.3	Erscheinungsformen und Größenordnungen.....	10
I.2	Klimatische Vorgaben	12
I.2.1	Standortbedingte Wärmeströme.....	12
I.2.2	Außenlufttemperatur.....	12
I.2.3	Solarstrahlung	13
I.2.4	Boden	17
I.2.5	Grund- und Oberflächenwasser.....	17
I.2.6	Quellen für Klimadaten	17
I.3	Wärmetechnische Mechanismen	18
I.3.1	Wärmeleitung	18
I.3.2	Konvektion.....	20
I.3.3	Wärmedurchgang	20
I.3.4	Strahlung	21
I.3.5	Speichern von Wärme	24
I.4	Kernaussagen und Literatur zum Thema.....	26
II.	Aktive Solarenergienutzung	28
II.1	Grundlagen aktiver Solarthermie	29
II.1.1	Kollektoreigenschaften	29
II.1.2	Solarer Deckungsgrad und spezifischer Kollektorertrag.....	31
II.1.3	Solarer Deckungsgrad und Ausrichtung der Kollektorfläche.....	32
II.1.4	Solarer Deckungsgrad und Pufferspeicher	33
II.2	Anwendungsgebiete der aktiven Solarthermie	35
II.2.1	Anwendungsgebiet – Brauchwarmwasser.....	35
II.2.2	Anwendungsgebiet – teilsolare Raumheizung.....	36
II.2.3	Anwendungsgebiet – Wärmenetze.....	39
II.2.4	Anwendungsgebiet – solare Schwimmbaderwärmung.....	42
II.2.5	Anwendungsgebiet – solare Kühlung	43
II.2.6	Anwendungsgebiet – Prozesswärme	46
II.2.7	Anwendungsgebiet – solare Stromerzeugung mittels Photovoltaik	47
II.3	Kernaussagen und Literatur zum Thema.....	50

III. Heizungssysteme für NEH und PH.....	53
III.1 Anforderungen an Heizungssysteme für NEH.....	54
III.1.1 Gebäudetechnische Konzeption.....	54
III.2 Wärme- / Kälteabgabesysteme.....	55
III.2.1 Flächenheizung.....	56
III.2.2 Radiatoren.....	56
III.2.3 Konvektoren.....	56
III.2.4 Luftheizung.....	56
III.3 Wärme- Kälteverteilsystem.....	58
III.3.1 Verteilung im Gebäude.....	58
III.3.2 Verluste von Wärmeverteilnetzen.....	59
III.3.3 Energiedichte von Wärmeverteilnetzen.....	60
III.4 Wärme- Kältequellensysteme.....	61
III.4.1 Ölbrenner.....	61
III.4.2 Erdgastherme.....	62
III.4.3 Biomassebrenner.....	62
III.4.4 Solarthermische Anlage.....	64
III.4.5 Wärmepumpensysteme.....	67
III.4.6 Überblick Wärmequellensysteme.....	71
III.5 Kernaussagen und Literatur zum Thema.....	72
IV. Heizungskonzepte für Niedrigenergie- und Passivhäuser.....	74
IV.1 Solares Kombisystem für Mehrfamilienhäuser.....	75
IV.1.1 Systembeschreibung.....	75
IV.1.2 Vorteile des Systems.....	76
IV.1.3 Nachteile des Systems.....	77
IV.1.4 Konzeptionsrichtlinien.....	78
IV.2 Sole/Wasser Wärmepumpe mit Fußbodenheizung.....	78
IV.2.1 Systembeschreibung.....	78
IV.2.2 Vorteile des Systems.....	79
IV.2.3 Nachteile des Systems.....	80
IV.2.4 Konzeptionsrichtlinien.....	81
IV.3 Luft/Luft/(Wasser) Wärmepumpe.....	81
IV.3.1 Systembeschreibung.....	81
IV.3.2 Vorteile des Systems.....	83
IV.3.3 Nachteile des Systems.....	84
IV.3.4 Konzeptionsrichtlinien.....	84
IV.4 Nutzungssensitivität verschiedener Heizungssysteme.....	85
IV.4.1 Verhalten bei Szenario a).....	85
IV.4.2 Verhalten bei Szenario b).....	87
IV.5 Kernaussagen und Literatur zum Thema.....	88

V. Passive Kühlsysteme	89
V.1 Reduktion der äußeren Lasten (bauliche Maßnahmen).....	91
V.1.1 Speichermasse.....	92
V.1.2 Auswirkung der Wandaufbauten auf die Überwärmung	94
V.1.3 Einfluss der Verschattung.....	95
V.1.4 Orientierung, Größe und Art der Fenster.....	97
V.2 Reduktion der inneren Lasten	99
V.3 Passive Kühlsysteme	100
V.3.1 Nachtlüftung	100
V.3.2 Erdreichgekoppelte Systeme (Luft oder Wasser)	102
V.4 Zusammenfassung Passive Kühlung.....	106
V.5 Kernaussagen und Literatur zum Thema	108

I. Physikalische Zusammenhänge



Dr. Hermann Schranzhofer, IWT
DI Thomas Mach, IWT

I.1 Begriffe, Größen und Einheiten

I.1.1 Temperatur, Wärmemenge und Wärmekapazität

Die Begriffe „heißer“ und „kälter“ beziehen sich auf eine Empfindungsart, die von einem speziellen Sinnesorgan, der menschlichen Haut, wahrgenommen wird. Diese Empfindung ist subjektiv d.h. unterschiedliche Personen werden über die Begriffe „heißer“ oder „kälter“ unterschiedliche Einschätzungen treffen. Auch hängt die Einschätzung von der „Vorgeschichte“ der Person ab.

Beispiel

Ein typisches Beispiel dafür ist das Experiment mit einem „kalten“ und einem „heißen“ Wasserbad. Hält man die Hände in das „kalte“ Wasser wird man die Kälte spüren. Werden die Hände aber zuerst in das „heiße“ Wasserbad gehalten und sofort darauf in das Kalte, so ist das Kälteempfinden noch viel stärker.

- Um dieser subjektiven Empfindungsart eine objektive Messgröße zu geben wurde in der Physik dafür der Begriff **TEMPERATUR** eingeführt. Grundsätzlich werden zur Fixierung einer Messgröße in der Physik immer definierte Eigenschaften von Materialien herangezogen. Für die Temperatur wurde 1742 die Celsius-Skala durch den schwedischen Astronomen Anders Celsius eingeführt. Diese Skala verwendet als ersten Fixpunkt den Gefrierpunkt von Wasser, der willkürlich mit 0°C festgelegt wird. Zur Messung wurde damals ein dünnes, mit Quecksilber gefülltes, Glasrohr in ein mit Eis gefülltes Wasserbad gesteckt. Die Höhe der Quecksilbersäule wurde angezeichnet und mit 0°C beschrieben. Bei Temperaturerhöhung des Wassers steigt die Quecksilbersäule in dem Glasrohr nach oben. Für den zweiten Fixpunkt in der Celsius-Skala wurde der Siedepunkt von Wasser verwendet und willkürlich mit 100°C festgelegt. Kocht das Wasser also, wird die Höhe der Quecksilbersäule wieder angezeichnet und mit 100°C beschriftet. Die Strecke zwischen den beiden eingezeichneten Punkten von 0°C und 100°C wurde dann in äquidistante Teile unterteilt (Anmerkung: d.h. die Ausdehnung von Quecksilber in einem Glasrohr aufgrund von Temperaturänderungen wurde als linear mit der Temperatur angenommen). Für die Messung von Temperaturen außerhalb dieses Bereiches wurde die Skala nach Oben und nach Unten fortgesetzt. Alternativ dazu soll noch die Kelvin Skala erwähnt werden, da sie in der Wärmetechnik vielfach Einsatz findet. Der Zusammenhang zwischen Kelvin- und Celsius Skala lautet: $0^{\circ}\text{C} = 273,15 \text{ K}$.
- Bei einer hohen Temperatur wird ein Körper als „heiß“ empfunden; bei einer Tiefen als „kalt“. Die Temperatur erweist sich also als ein Maß für den Wärmezustand eines Stoffes, d.h. wie viel Wärme im Körper enthalten ist. Führt man einem Körper Wärme zu erhöht sich seine Temperatur. Man sagt: „Die zugeführte **WÄRMEMENGE** ist direkt proportional zur Temperaturerhöhung (oder Temperaturdifferenz)“. Die für die Wärmemenge verwendeten Einheiten sind Joul (J), Kalorien (cal) oder Wattsekunden (Ws). Im Gebäudebereich wird die Wärmemenge meist in kWh angegeben. Die üblichen Symbole sind Q, W und E. Auch die Masse des Körpers spielt eine Rolle: Je mehr Masse desto mehr Wärme muss zugeführt werden, um eine bestimmte Temperaturerhöhung zu erreichen. Es ergibt sich damit folgender Zusammenhang:

$$\text{zugeführte Wärmemenge} = \text{Masse} \cdot \text{spez. Wärmekapazität} \cdot \text{Temperaturdifferenz}$$

- Der Proportionalitätsfaktor dabei ist die **SPEZIFISCHE WÄRMEKAPAZITÄT**. Sie ist eine materialabhängige Stoffgröße des betreffenden Stoffes. Sie entspricht der Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg eines Stoffes um 1 Kelvin zu erwärmen und wird in $J/(kg \cdot K)$ angegeben. Übliche Symbole sind c oder auch c_p .

Aus diesen Gegebenheiten hat sich eine klassische Beschreibungsart der Wärmeerscheinung entwickelt, die ausschließlich makroskopisch messbare Größen verwendet, die Thermodynamik. Diese ist für die Praxis – insbesondere in der Technik – auch heute noch eine zweckmäßige Beschreibungsart. Ebenfalls im vergangenen Jahrhundert hat man erkannt, was Wärme wirklich ist, nämlich die Bewegungsenergie der ungeordneten Bewegung der atomaren Teilchen eines Körpers (Atome, Ionen oder Moleküle, je nach Art des Körpers). Auf dieser Basis entstand eine zweite Beschreibungsweise der Wärmeerscheinungen, die kinetische, mechanische oder statistische Wärmetheorie. Die aus ihr hervorgehenden Erkenntnisse sind grundsätzlicher Art, aber für die technische Praxis im Allgemeinen weniger von unmittelbarem Interesse.

I.1.2 Energie und Leistung

Noch bis ins 19. Jahrhundert wurde die Wärme meist für eine Art unsichtbaren und unwägbaren Stoff gehalten der von einem Körper in einen anderen übergehen kann. Ein derartiger Wärmeübergang äußert sich in verschiedener Weise, z.B. dadurch, dass Änderungen des Aggregatzustands (Schmelzen, Verdampfen) eintreten. Um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts hat man erkannt, dass die Wärme eine spezielle Energieform ist und hat dies im so genannten Ersten Hauptsatz der Wärmelehre (Wärme und mechanische Energie sind äquivalent) festgelegt.

Wärme ist eine besondere Form der Energie.

- **ENERGIE** ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten oder Wärme abzugeben. Sie kann weder entstehen noch verloren gehen (Energieerhaltungssatz). Energie wird meistens entweder in Joule (J), Kilowattstunden (kWh) oder in Kalorien (cal) angegeben.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ cal} = 4,19 \text{ J}$$

Jede Form der Energie ist proportional zu einem Potential (die „treibende Kraft“); Absolutangaben sind hier nicht möglich; die Energie (oder besser Energiedifferenz) ergibt sich aus der Differenz des Potentials. Im Falle der Wärme ist das Potential die Temperatur, so wie für die potentielle Energie die Höhe und für die elektrische Energie die elektrische Spannung.

- **LEISTUNG** ist die Arbeit, die in einer bestimmten Zeit verrichtet wird. Man kann also die Leistung entweder dadurch erhöhen, dass man in gleicher Zeit mehr Arbeit verrichtet, oder für die gleiche Arbeit weniger Zeit braucht.

Die gebräuchlichste Einheit für Leistung ist Watt (W) und Pferdestärken (PS). 1 Watt ist die Leistung, bei der während der Zeit 1 s die Energie 1 J umgesetzt wird. 1 PS = 735,5 Watt = 0,736 kW. Die Leistung ist direkt proportional zur Arbeit (oder Energie) und indirekt proportional zur Zeit. Damit ergeben sich hohe Leistungen nicht nur, wenn hohe Energie eingesetzt wird, sondern auch, wenn dafür eine kurze Zeit in Anspruch genommen wird. Aufgrund der Definition der Leistung (Arbeit/Zeit) ergibt sich auch noch die Einheit J/s. Mit hoher Leistung arbeiten bedeutet ja nicht zuletzt die Arbeit in möglichst kurzer Zeit zu erledigen. Für die Wärmetechnik bedeutet hohe Leistung hoher Wärmefluss und/oder hoher Massenfluss.

Bei der Dimensionierung von Transportwegen für Wärmeübertragung mit Materietransport (Heizungsleitungen, Kühlleitungen, Luftkanäle etc.) ist der Wärmefluss direkt proportional zum Massenfluss. Will man bei gleichbleibenden Bedingungen (Wärmekapazität und Temperaturdifferenz) mehr Leistung zur übertragen, muss der Massenfluss erhöht werden. Dies schlägt sich direkt auf die Abmessungen und die antreibenden Bauteile (Pumpen, Ventilatoren) im Wärmeübertragungssystem nieder.

Beispiel

Als Beispiel für den Unterschied zwischen Energie und Leistung sei hier die Warmwasserversorgung herangezogen. Die Energie, die in einem Warmwasserspeicher gespeichert werden kann hängt vom Volumen des Wärmespeichers und der Temperaturdifferenz zwischen Anfangstemperatur (z.B. Kaltwassertemperatur 15°C) und Endtemperatur (z.B. Warmwassertemperatur 55°C) des Speichers ab. Um nun aber ein Vollbad in einer akzeptablen Zeit einlassen zu können (z.B. 10 min), muss eine bestimmte Leistung zur Verfügung stehen, die vom Massenfluss abhängt (Anmerkung: Wenn man den Wasserhahn ganz aufdreht, wird die Badewanne schneller voll).

I.1.3 Erscheinungsformen und Größenordnungen

Der Überblick über andere Erscheinungsformen von Energie zeigt zwar eine Einordnungsmöglichkeit, jedoch verwischen die Übergänge dieser Energieformen die Grenzen. Fig. 1 zeigt vertraute Anwendungen verschiedener Energieformen.

Energieform	Erscheinungsweise	Anwendung
mechanische Energie	fließendes Wasser	Wasserkraft
Wärmeenergie	Heizkörper	Heizung
elektrische Energie	elektrischer Strom	Generator
chemische Energie	Brennstoffe	Holzofen
Kernenergie	Kernspaltung	Atomkraftwerk
Strahlungsenergie	Sonnenlicht	Photovoltaik

Fig. 1: Erscheinungsformen von Energie

Beispiel

Ein Brennstoff ist vorerst gespeicherte chemische Energie. Wird er zur Verbrennung gebracht wird diese Energie durch chemische Reaktion (Oxidation) überführt in Wärmeenergie und Strahlungsenergie (Feuer).

Im Gebäudebereich sind der Heizwärmebedarf und die Heizlast die gebräuchlichsten Einsatzgebiete von Energie und Leistung. In Fig. 2 sind für unterschiedliche Bauperioden der Wärmebedarf und die spezifische Heizlast angegeben. Ein zurzeit typisches Einfamilienhaus liegt in der Größenordnung von ca. 5 - 10 kW Heizlast.

Anforderung	Energie Heizwärmebedarf in [kWh/m²a]	Leistung Heizleistung in [W/m²]
	(= Wärme, die einem Innenraum zugeführt werden muss, um die gewünschte Innentemperatur einzuhalten)	(= Wärmeleistung die einem Innenraum zugeführt werden muss, um die gewünschte Innentemperatur einzuhalten)
Altbau (bis 1950)	> 450	> 300
Altbau (1950 - 1970)	< 400	< 265
Altbau (seit 1970)	< 250	< 165
Neubau lt. Bauordnung	< 100	< 65
Niedrigenergiegebäude	< 40	< 27
Passivhaus	< 15	< 10

Fig. 2: Kenwerte zum Energie- und Leistungsvergleich im österreichischen Gebäudebestand, [Arsenal, überarbeitet]

Für ein Passivhaus braucht man maximal 10 W/m² Heizlast. Man führe sich für ein 200 m² Passivhaus vor Augen dessen Heizlast mit ein bis zwei handelsüblichen Haarföns abgedeckt werden könnte (Fig. 3).

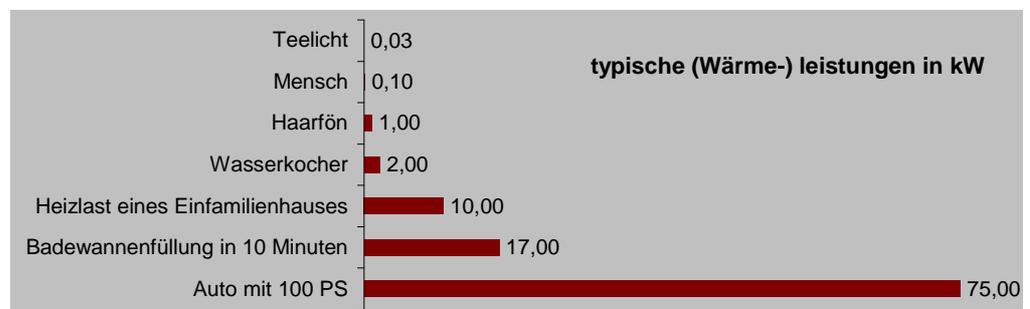


Fig. 3: Typische Wärmeleistungen im Quervergleich

Beispiele

Wie viel Energie braucht man um 1 l Wasser von 10 °C auf 100 °C aufzuheizen?

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,2 \text{ kJ/(kgK)} \cdot 1 \text{ kg} \cdot 90 \text{ K} = 378 \text{ kJ} \approx 0,1 \text{ kWh}$$

Wie lange dauert das mit einem Teekochoer?

$$t = Q/P = 0,1 \text{ kWh} / 2,2 \text{ kW} = 0,045 \text{ h} = 2,7 \text{ min}$$

Leistung die benötigt wird um eine Badewannenfüllung zu erwärmen:

$$P = Q/t = c \cdot m \cdot \Delta T/t = 4,2 \text{ kJ/(kgK)} \cdot 120 \text{ kg} \cdot (35-15)\text{K} / (10 \text{ min} \cdot 60 \text{ s/min}) = 17 \text{ kW}$$

Für Überschlagsrechnungen ist es auch hilfreich die spez. Wärmekapazität von Wasser in Wh/(kgK) umzurechnen ($c \approx 1 \text{ Wh/(kgK)}$). Damit ergibt sich die Energie in der Einheit Wh näherungsweise direkt aus der Multiplikation der Masse mit der Temperaturdifferenz.

I.2 Klimatische Vorgaben

I.2.1 Standortbedingte Wärmeströme

An jedem Standort liegen die verschiedensten Energiequellen vor, die für das Betreiben des zukünftigen Gebäudes genutzt werden können. Ziel dieses Kapitels ist es, die Grundlagen für diese vorhandenen Energieströme darzustellen, die Größenordnungen zu vermitteln und auf mögliche Anwendungen (die in anderen Teilen näher erläutert werden) hinzuweisen. Je nach Standort und Gebäude ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten, die vorhandenen Ressourcen zu verwenden. Auf unserer Mutter Erde lassen sich im Wesentlichen 4 Energieströme thermisch nutzen:

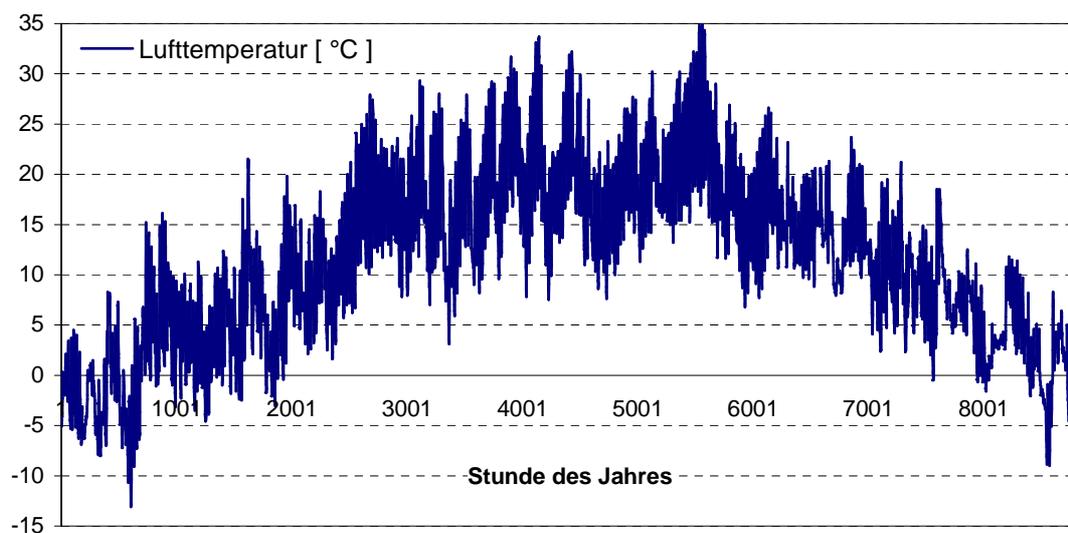
- 1) Die Wärme der Außenluft
- 2) Die Wärme der Sonneneinstrahlung
- 3) Die Wärme des Bodens
- 4) Die Wärme von Grund- und Oberflächenwasser

Bis auf einen kleinen Anteil der Energie, die von der Erde selbst beigetragen wird (Warmer Erdkern; siehe z.B. Thermalquellen) sind die ersten drei Wärmequellen auf eine Speicherung der Sonneneinstrahlung zu reduzieren.

I.2.2 Außenlufttemperatur

Die Außenlufttemperatur erreicht in Europa Jahresmittelwerte zwischen -5°C in Teilen Skandinaviens und bis zu $+20^{\circ}\text{C}$ an der Mittelmehrküste und in Südspanien. Mit Ausnahme einiger Bereiche in den Alpen liegt der Jahresmittelwert der Lufttemperatur in Österreich zwischen $+5^{\circ}\text{C}$ und $+15^{\circ}\text{C}$. Die Außenlufttemperatur wird in Europa üblicherweise in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$) angegeben. Andere Einheiten sind noch Grad Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) und die absolute Temperaturangabe Kelvin (K).

Beispiel Die in Graz von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) im Jahr 2000 in Graz gemessene Außenlufttemperatur als Beispiel:



	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Jahr
Minima [°C]	-13,1	-4,6	-3,0	1,6	3,1	7,5	7,6	11,6	6,8	2,4	-0,7	-9,0	-13,1
Maxima [°C]	15,2	16,1	21,5	27,9	29,3	33,7	32,2	35,1	26,6	23,7	18,5	11,8	35,1
Mittelwert [°C]	-1,9	4,1	6,9	13,6	16,3	19,9	18,5	21,3	15,6	12,5	7,5	2,4	11,4

Bedeutung und Nutzung der Außenlufttemperatur:

- Die Differenz von Außenlufttemperatur zur Innenlufttemperatur ist die wesentliche treibende Kraft für den Wärmefluss durch Bauteile.
- Das Heizsystem bzw. Kühlsystem muss die Energie aufwenden um die ins Gebäude eingebrachte Frischluft (mit Außenlufttemperatur) auf das Temperaturniveau der gewünschten Innenraumluft zu bringen.
- Nutzung der Nachtlüftung - Auch im Sommer liegt der Monatsmittelwert, im Beispiel oben für Graz, nicht über 20 °C. Kühlung kann also auch in den Sommermonaten durch Fensterlüftung erfolgen, wenn genügend Speichermasse vorhanden ist.
- Luftwärmepumpe - (Problem: Heizwärmebedarf und Außenlufttemperatur sind indirekt proportional; schlechte Arbeitszahlen)

1.2.3 Solarstrahlung

In der folgenden Abbildung ist die Solare Einstrahlung an der oberen Atmosphäre (Extraterrestrische Einstrahlung) als blaue Linie und die Solare Einstrahlung auf die Erdoberfläche als rote Linie gezeigt. Für die Leistung, die an der oberen Atmosphäre auftrifft ergibt sich ein Wert von etwa 1353 W/m² (Solarkonstante).

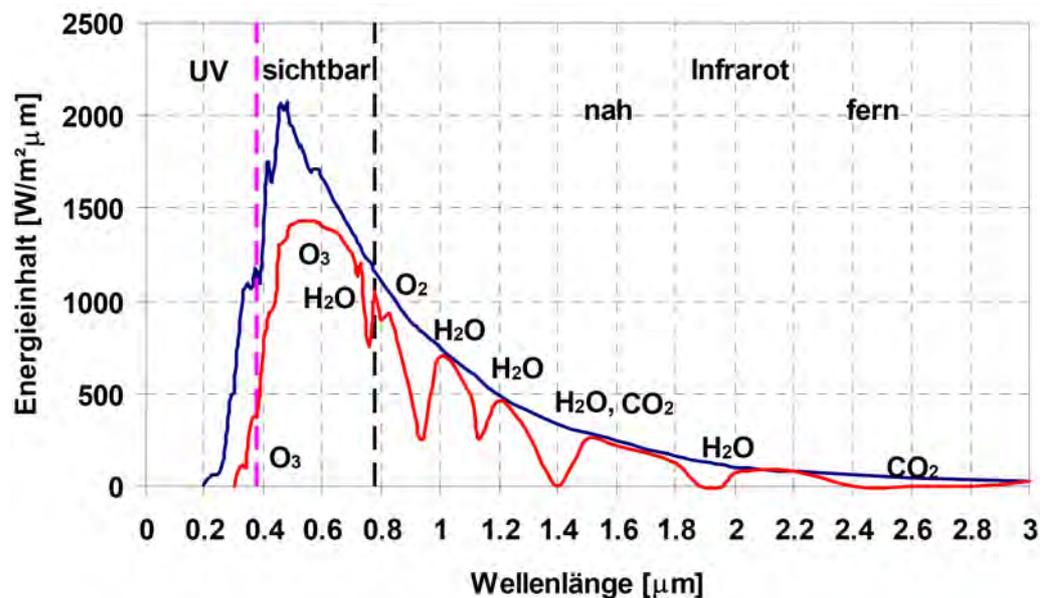
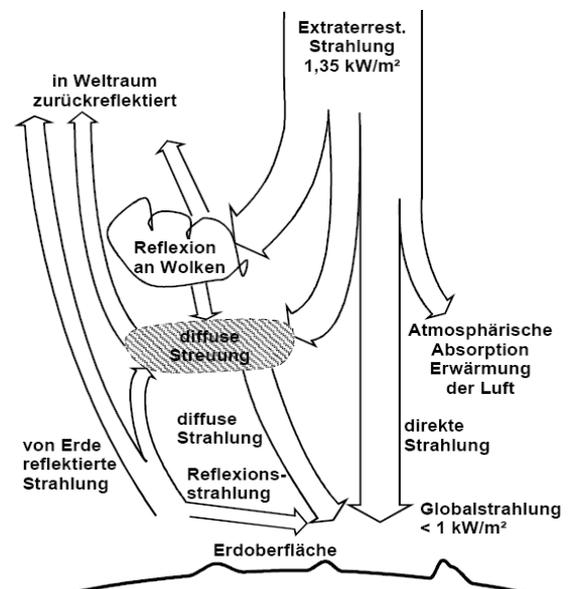


Fig. 4: Extraterrestrische Solareinstrahlung (blau) und Einstrahlung auf der Erdoberfläche (rot) [Streicher]

Bis zum Erreichen der Erdoberfläche wird die Strahlung durch Streuung und Absorption verändert (Fig. 5). Die Streuung findet an Luftmolekülen, an Wasserdampf und Staub statt, was zur teilweisen Reflexion in den Weltraum und zur diffusen Strahlung auf der Erdoberfläche führt. Die Absorption der Strahlung findet im UV-Bereich ($\lambda < 0,38 \mu\text{m}$) durch das Ozon in der Stratosphäre und in Teilen des infraroten Bereichs ($\lambda > 0,78 \mu\text{m}$) hauptsächlich durch Wasserdampf statt. Auf die Erde treffen je nach Bewölkung und Winkel der Sonneneinstrahlung zur Horizontalen zwischen 0 und 1000 W/m^2 als Summe aus direkter und diffuser Strahlung auf. Ein Teil der diffusen Strahlung ergibt sich hierbei auch aus Reflexionen der umliegenden Flächen. Das Verhältnis von Diffus- zu Direktstrahlungsanteil kann je nach Bewölkung stark variieren und liegt für Mitteleuropa bei etwa 60 % Diffusanteil im der Jahressumme. Die Summe aus direkter, diffuser und reflektierter Strahlung wird Globalstrahlung genannt.

Was bleibt übrig?

Fig. 5: Abschwächung der Extraterrestrischen Solarstrahlung durch die Erdatmosphäre [Streicher]



Die einzelnen Anteile der Strahlung sind richtungsabhängig und ändern sich natürlich auch mit der Jahreszeit. Fig. 6 zeigt eine Auswertung der Strahlungsanteile für einen Klimadatensatz von Graz, die über das gesamte Jahr auftreten. Hier sind die Anteile für direkte und diffuse Strahlung (vom Himmel und vom Boden) für eine horizontale Fläche, eine senkrechte Fläche nach den vier Himmelsrichtungen ausgerichtet und eine mitgeführte Fläche (die Direktstrahlung trifft hier immer senkrecht auf die Fläche ein) dargestellt.

Die gesamte, auftreffende Strahlungsenergie (Globalstrahlung) ist über den einzelnen Balken angeführt. Für die mitgeführte Fläche ergibt sich die höchste Strahlungsenergie. Vor allem sind hier natürlich die Werte für die Direktstrahlung und für die Diffusstrahlung vom Himmel am höchsten. Die höchsten Werte für die senkrechte Fläche ergeben sich bei Südorientierung. Zu beachten ist, dass auch für eine Nordorientierung Strahlungsenergie auf die senkrechte Fläche auftrifft, die nicht zu vernachlässigen ist. In diesem Fall besteht die Strahlungsenergie nahezu ausschließlich aus Diffusstrahlung.

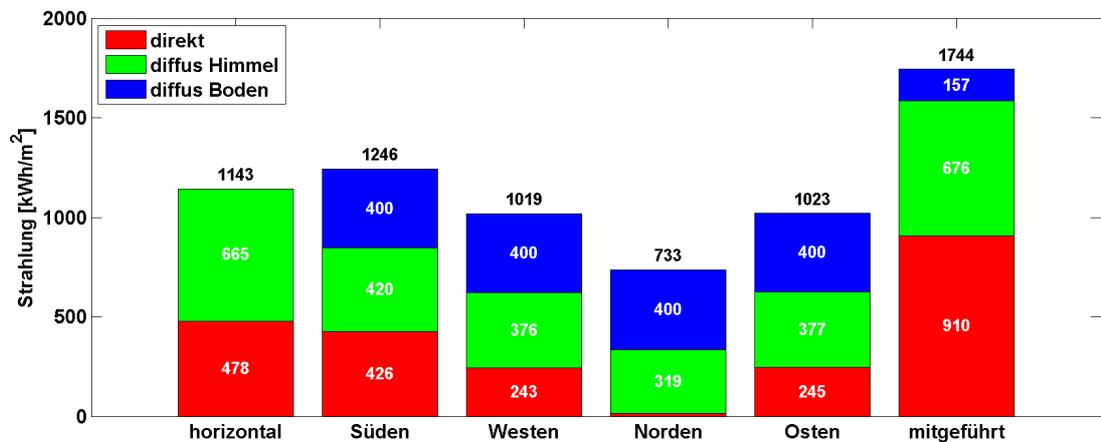
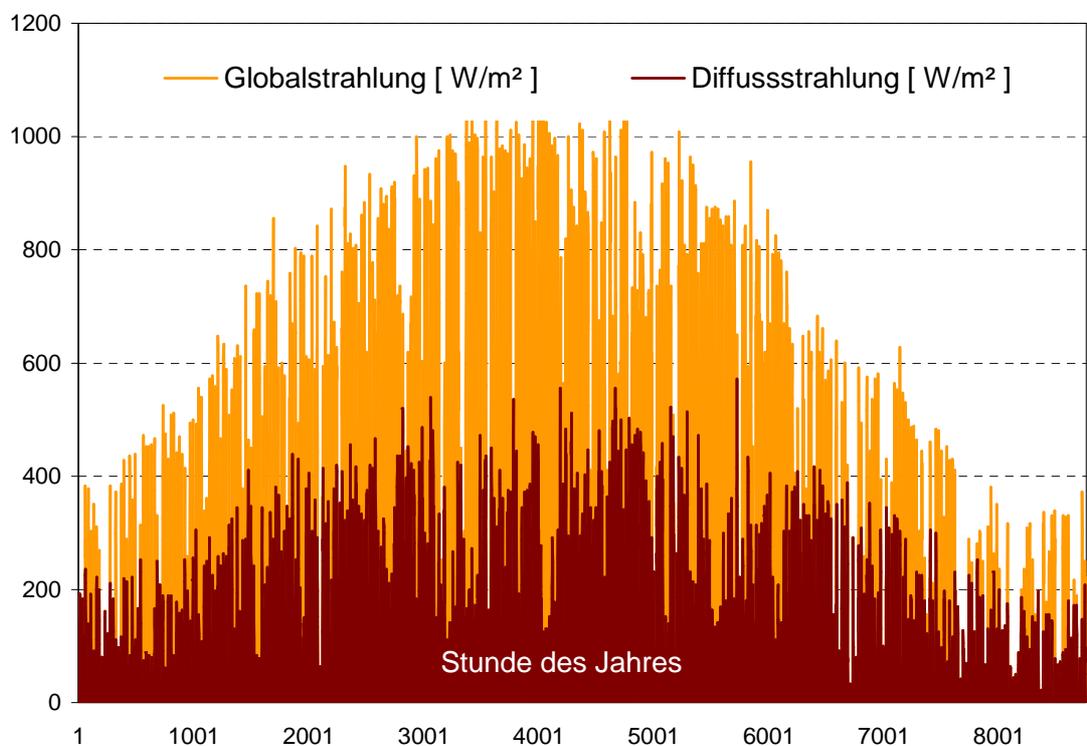


Fig. 6: Richtungsabhängigkeit der in Graz über das gesamte Jahr eintreffenden Solarstrahlung

Beispiel

In Graz treffen im Schnitt 1150 kWh/m^2 im gesamten Jahr auf die horizontale Fläche auf. Österreich hat eine Fläche von $84.000 \text{ km}^2 (=84 \cdot 10^9 \text{ m}^2)$, macht in Summe $9,66 \cdot 10^{13} \text{ kWh}$. Der Gesamtenergiebedarf für Österreich betrug 2004 ca. $940 \text{ PJ} = 26 \cdot 10^{10} \text{ kWh}$. Ideal gerechnet ergibt sich damit, dass mit der auf die Fläche von Österreich auftreffenden Solarstrahlung ca. 370 mal der Energiebedarf für das ganze Land gedeckt werden könnte!



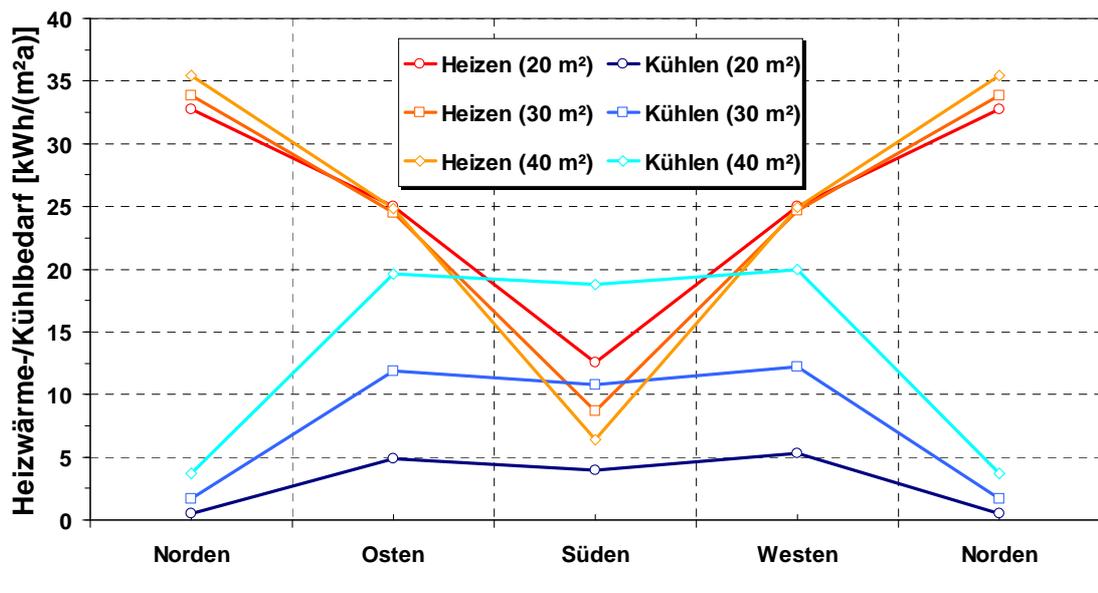
Monatsmittelwerte und Jahreswerte:

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Jahr
GLOBALSTRAHLUNG													
Maxima, [W/m ²]	525	647	856	947	1072	1061	1047	1008	956	639	483	372	1072
Mittelwert, [W/m ²]	66	114	149	214	256	311	244	244	164	96	57	38	163
Energie, [kWh/m ²]	49	77	111	154	191	224	182	182	118	71	41	28	1427
DIFFUSSTRAHLUNG													
Maxima, [W/m ²]	253	344	439	519	539	556	556	572	417	389	306	208	572
Mittelwert, [W/m ²]	33	50	76	110	99	114	125	90	84	57	34	25	75
Energie, [kWh/m ²]	25	33	56	79	74	82	93	67	60	42	25	18	655

Aus der Richtungsabhängigkeit der Solarstrahlung ergibt sich die Problematik, dass die Orientierung von Fensterflächen in einem Gebäude einen wesentlichen Einfluss auf Heizwärme- und Kühlbedarf hat.

Beispiel

Als Beispiel sei hier eine Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs für ein Einfamilienhaus angeführt (Referenzgebäudemodell IEA – SHC TASK 32 [Heimrath, Haller], zweistöckig in Massivbauweise; Nutzfläche: 140 m²; Klimadaten: Graz; geregelte interne Lasten, Ventilation, Heizung und Kühlung; Verschattung wurde keine angenommen). Es ergeben sich für unterschiedliche Fenstergrößen in nur einer Fassade für verschiedene Ausrichtungen die in folgender Abbildung dargestellten Verhältnisse. Man beachte, dass für das südgerichtete Fenster weniger Kühlbedarf errechnet wird, als für das Ost und West gerichtete!



I.2.4 Boden

Die Wärme in den oberen Bodenschichten ist im Wesentlichen gespeicherte Solar-energie. Der Wärmestrom vom Erdinneren an die Erdoberfläche ist dagegen ver-schwindend klein.

Der Wärmestrom vom Erdinneren zur Erdoberfläche beträgt rund 65 mW/m^2 .
Die Solarstrahlung auf die Erdoberfläche erreicht mehr als das **20 000-fache**.

In geringen Tiefen (wenig Meter) schwankt die Temperatur aufgrund der Lufttempe-ratur (siehe Fig. 7). Temperaturen unter 0°C werden jedoch schon in geringen Tiefen nicht mehr erreicht. Für die direkte Nutzung ist das Temperaturniveau im Boden zu niedrig. Der Untergrund lässt sich aber gut als Wärmequelle für eine Wärmepumpe nutzen. Typische Verlegtiefe für Flächenkollektoren (Wärmepumpe) ist in etwa 1.5 m. Für die Auslegung solcher Anlagen kann die VDI Richtlinie 4640 Blatt 2 [VDI 4640] herangezogen werden.

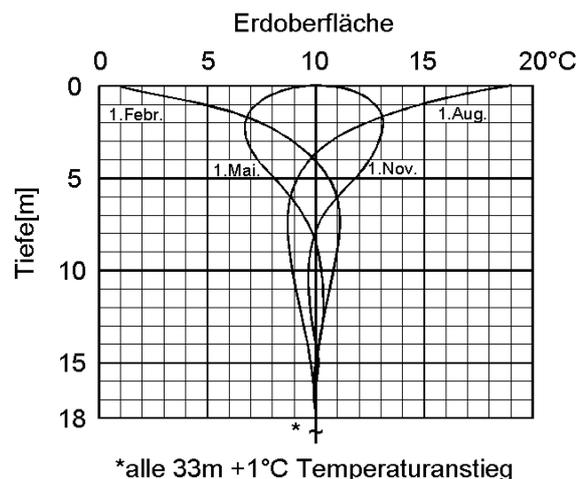


Fig. 7: Temperaturschwankungen im Boden, [Kaltschnitt]

I.2.5 Grund- und Oberflächenwasser

Auch das Temperaturniveau von Grund- und Oberflächenwasser liegt im Winter deutlich über den Außenlufttemperaturen. Eine direkte Nutzung ist nur im Falle von Thermalquellen möglich. Mithilfe von geeigneten technischen Maßnahmen lassen sich aber auch hier die niedrigen Temperaturen von normalem Grund- und Oberflächenwasser als Wärmequelle für Wärmepumpen nutzen. Wichtig ist hier, dass die benötigte Fördermenge gewährleistet werden kann. Auch hier können Werte der VDI Richtlinie 4640 entnommen werden.

I.2.6 Quellen für Klimadaten

Die Aufzeichnung von klimatischen Parametern stützt sich in Europa auf eine lange Tradition. Derzeit werden im deutschsprachigen Raum verschiedene historisch gewachsene nationale Datengewinnungsnetze betrieben. Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) betreibt in Österreich ein Netz von Mess- und Beo-

bachtungsstellen (120 klassische Klimastationen, 150 teilautomatische Stationen (TAWES), 110 Phänologie-Stationen). Je nach Ausstattung einer Station werden Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind, zum Teil auch Strahlung, Bodentemperaturen, Luftdruck, Niederschlag und Sonnenscheindauer in Sekundenintervallen gemessen. Die Daten werden auf Magnetkassette bzw. im 10- Minutentakt und als 10- Minutenwerte über Standleitungen in die Zentrale der ZAMG nach Wien übermittelt.

Fig. 8: Klassische
Messstationen der ZAMG
in Österreich
Bildquelle: [ZAMG]



Die gewonnenen Daten werden in einer Datenbank der Abteilung für Klimatologie gesammelt und aufbereitet. Auf Anfrage können Datensätze, Auswertungen und Zusatzinformationen (Messmethode, geographische Koordinaten, Seehöhe) inklusive der Beschreibung der Messmethode käuflich erworben werden. Weitere Bezugsmöglichkeiten für relevantes Datenmaterial sind:

- Klimadatengeneratoren (z.B. METEONORM [Meteonorm])
- OIB Richtlinie [OIB]
- Normen [ÖNORM B 8110-5]
- Grundwasserdaten aus dem Hydrologischen Jahrbuch (Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt (Hydrographisches Zentralbüro) im Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft [BMLFUW])
- Bodendaten bei der Geologischen Bundesanstalt [GBA]

I.3 Wärmetechnische Mechanismen

Drei physikalische Mechanismen des Wärmetransportes lassen sich unterscheiden: Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung. Zusammengenommen bilden sie die Grundlage zur Beurteilung des Wärmedurchgangs durch einen Bauteil. Im Folgenden werden diese Mechanismen näher dargestellt. Ergänzend wird am Ende auch noch auf die Speicherfähigkeit von Materialien eingegangen.

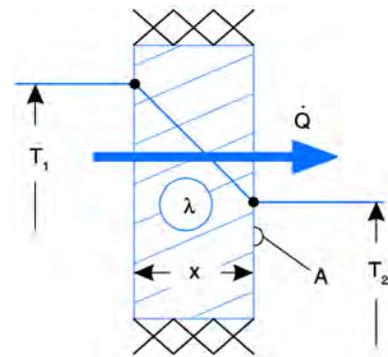
I.3.1 Wärmeleitung

Wärmeleitung (Konduktion) ist ein diffusiver Energietransport (ohne Massentransport) in Festkörpern oder Fluiden durch Molekül Bewegungen, Gitterschwingungen oder freie Elektronen. Für die Wärmeleitung gilt das Fourier'sche Gesetz:

$$Q = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \cdot A \cdot \Delta t$$

Fig. 9: Wärmeleitung [Polifke]

- Q ... Wärme [Ws]
- λ ... Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]
- T_1, T_2 ... Wandtemperaturen [K]
- A ... Fläche [m²]
- Δx ... Wanddicke [m]
- Δt ... Zeit [s]



Die treibende Kraft (das Potential) ist wieder die Temperaturdifferenz. Gibt es keinen Temperaturunterschied, wird es auch zu keinem Energiefluss kommen. Die übertragene Energie ist umso größer, je größer die Fläche A und je dünner die Wand (Δx) ist. Je länger die Temperaturdifferenz anliegt (also je größer Δt wird), desto mehr Energie wird fließen. Der Energiefluss ist auch noch von der Materialkonstante λ (Wärmeleitfähigkeit) abhängig. Je nach verwendetem Material kann der Energiefluss also höher oder niedriger sein. Für Dämmstoffe bewegt sich diese Materialkonstante im Bereich von 0,01 und 1 W/(mK). Nichtmetallische Feststoffe haben Werte zwischen 1 und 10 W/(mK) und Metalle können um die 1000 W/(mK) erreichen (Fig. 9).

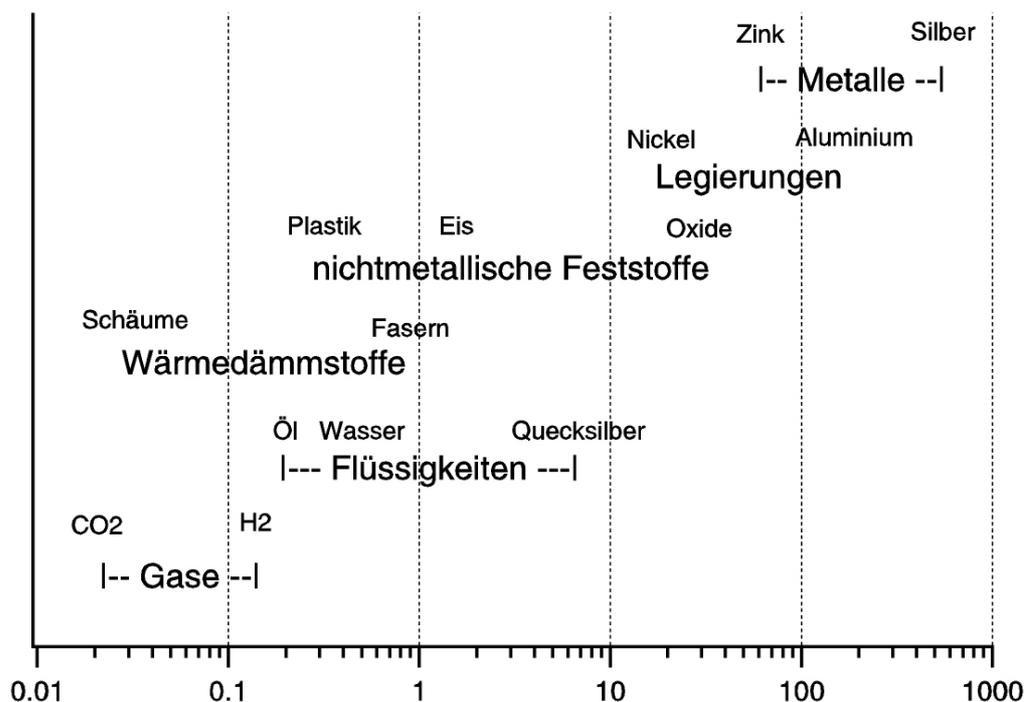


Fig. 10: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien (in W/(mK)) bei Standardbedingungen [Polifke]

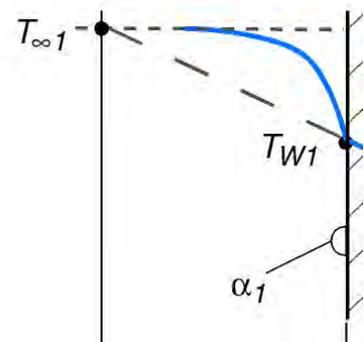
I.3.2 Konvektion

Konvektion ist die Mitführung von Wärme in strömenden Flüssigkeiten oder Gasen. Durch die Konvektion entsteht ein Wärmeübergang von dem umgebenden Medium (z.B. Luft) und der angenommenen Oberfläche (z.B. Wandoberfläche). Hier wird zwischen freier (oder natürlicher) und erzwungener Konvektion unterschieden. Die freie Konvektion tritt z.B. an Außen- und Innenflächen von Gebäuden auf. Für den konvektiven Wärmeübergang gilt das Newton'sche Gesetz:

$$\dot{q} = \alpha \cdot (T_W - T_\infty)$$

Fig. 11: Konvektion [Polifke]

- \dot{q} ... Wärmefluss [W/m²]
- α ... Wärmeübergangskoeffizient [W/(m²K)]
- T_W ... Wandtemperatur [K]
- T_∞ ... Umgebungstemperatur [K]



Auch hier ist das treibende Potential wieder eine Temperaturdifferenz. Für eine Außenoberfläche einer Hauswand wäre T_W die Temperatur an der Wandoberfläche und T_∞ die Außenlufttemperatur (weit entfernt von der Wand). Für den Winter wird gelten, dass die Wand wärmer ist, als die umgebende Luft (da ja im Gebäude geheizt wird und Energie nach außen fließt). Dadurch steigt die kalte Luft an der warmen Wandoberfläche nach oben, d.h. es entsteht natürliche Konvektion. Aufgrund dieser Luftbewegung kommt es zu einem Wärmeübergang, der eben durch das Newton'sche Gesetz beschrieben wird. Die Proportionalitätskonstante α (Wärmeübergangskoeffizient) ist in diesem Fall KEINE Materialkonstante sondern hängt maßgeblich von der vorliegenden Geometrie ab. Für eine Hauswand können bei Windstille (nur freie Konvektion) Werte von 5 bis 30 W/(m²K) angenommen werden. Bei aufkommen von Wind erhöht sich der Wert je nach Windgeschwindigkeit.

I.3.3 Wärmedurchgang

Für den gesamten Wärmedurchgang durch eine Wand wird nun der Wärmeübergang mit der Wärmeleitung kombiniert. Es ergibt sich der Zusammenhang:

$$\dot{Q} = UA(T_i - T_a)$$

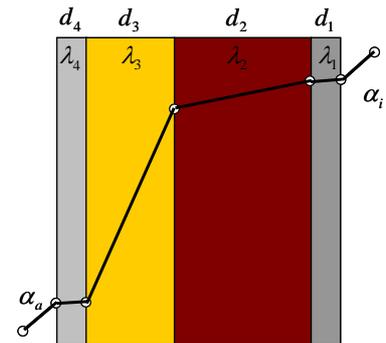
- \dot{Q} ... Wärmestrom [W]
- U ... Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]
- A ... Wandfläche [m²]
- T_a, T_i ... Temperatur außen/innen [°C]

Ist der U-Wert für einen Wandaufbau nicht bekannt, lässt er sich wie folgt berechnen:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_a} + \underbrace{\frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_1}{\lambda_1}} + \frac{1}{\alpha_i}$$

Fig. 12: Wärmedurchgang

α_a ...Wärmeübergangskoeffizient außen [W/(m²K)]
 α_i ...Wärmeübergangskoeffizient innen [W/(m²K)]
 λ_i ... Wärmeleitfähigkeit einer Schichte [W/(mK)]
 d_i ... Dicke der Schichte [m]



I.3.4 Strahlung

Wärmestrahlung ist der Austausch von Wärme durch elektromagnetische Strahlung. Die Strahlungsbilanz beschreibt die Aufteilung der eintreffenden Strahlung auf einen Körper in absorbierte, reflektierte und transmittierte Strahlung.

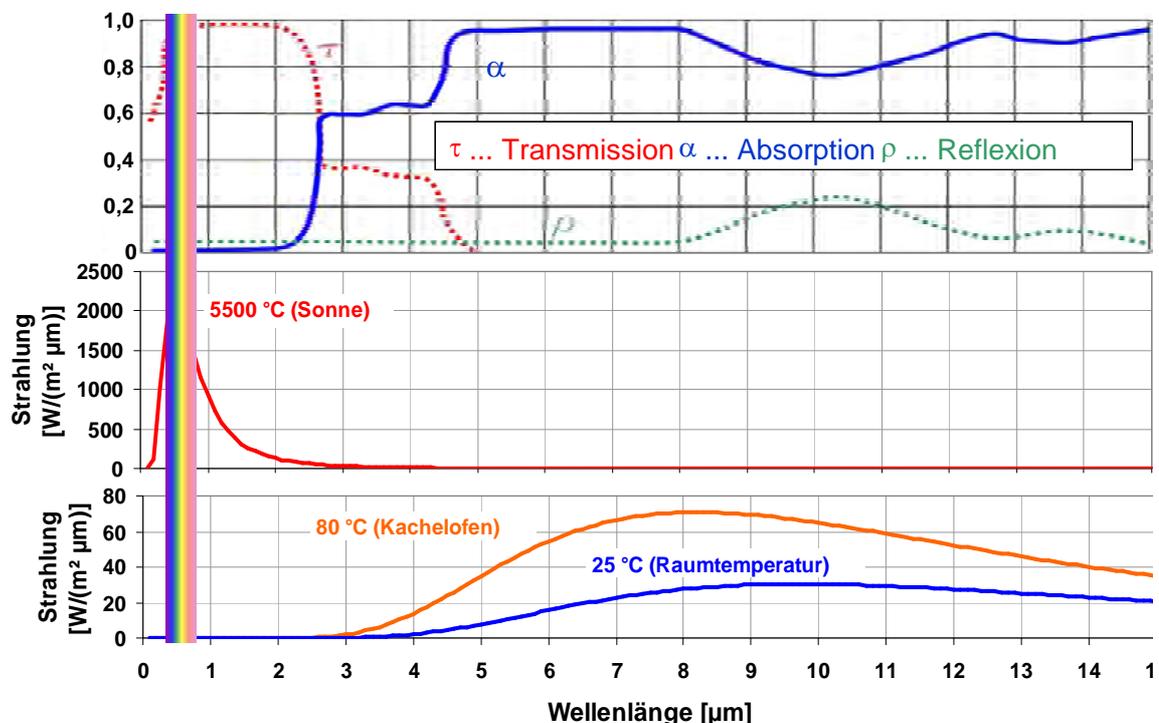


Fig. 13: Transmission, Absorption und Reflexion von Glas und zum Vergleich das Spektrum eines Schwarzkörperstrahlers bei verschiedenen Temperaturen

Der sichtbare Bereich des Spektrums liegt in etwa zwischen 0.4 und 0.8 μm (in der Abbildung färbig gekennzeichnet). Für die Abstrahlung bei hoher Temperatur, wie es bei der Sonne der Fall ist, liegt die gesamte abgestrahlte Energie unter 5 μm . Das ist auch genau der Bereich für den Glas durchsichtig ist (Transmission ist größer Null). Für niedrige Temperaturen (Kachelofen oder Raumtemperatur) beginnt die Abstrahlung erst bei etwa 3 μm und die Leistung ist um Größenordnungen geringer. Doch auch diese geringe Leistung kann durch das Fenster nicht ungehindert durchtreten, da die Transmission hier gleich Null ist. Der größte Teil dieser Strahlung wird im Glas absorbiert, teilweise auch reflektiert. Die wesentlichen Aussagen aus diesen wellenlängenabhängigen Eigenschaften von Glas sind:

- Glas ist durchsichtig, da im sichtbaren Bereich die Transmission sehr hoch ist.
- Der Treibhauseffekt lässt sich dadurch erklären, da die hochenergetische Strahlung der Sonne durch das Glas eintreten, die infrarote Wärmestrahlung aber nicht mehr entweichen kann.

Für verschiedene Glasarten sind natürlich unterschiedliche Transmissionsspektren zu erwarten. Beispielsweise wird bei einer Sonnenschutzverglasung der Transmissionsanteil bei niedrigen Wellenlängen deutlich geringer sein. Für eine energetische Betrachtung eines Fensters werden der Wärmedurchgang und der Energiedurchlassgrad herangezogen. Der Wärmedurchgang berechnet sich gleich wie bei einem Wandaufbau aus U-Wert, Fläche und Temperaturdifferenz. Der U-Wert eines Fensters wird wie folgt bestimmt:

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + L_g \cdot \Psi_g}{A_g + A_f}$$

U_w ... Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

U_g ... Wärmedurchgangskoeffizient des Glases [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

U_f ... Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

A_g ... Glasfläche [m^2]

A_f ... Rahmenfläche [m^2]

L_g ... Länge des Glasrandes [m]

Ψ_g ... Wert für die Wärmebrücke zwischen Rahmen und Glas [$\text{W}/(\text{mK})$]

Für den gesamten U-Wert eines Fensters sind also die U-Werte der Verglasung und des Rahmens sowie die Wärmeleitung des Glasrandes (Wärmebrücke) ausschlaggebend. Für Verglasungen finden sich U-Werte von 5,8 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Einfachverglasung) bis hinunter auf 0,4 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ (3-fach Wärmeschutzverglasung). Beim gesamten U-Wert für ein Fenster ist 0,9 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ stand der Technik es sind aber Werte bis auf 0,5 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ hinunter möglich. Der Energiedurchlassgrad wird als g-Wert angegeben. Dies ist der Anteil der eintreffenden Strahlungsenergie, der durch die Verglasung geht plus die sekundäre Wärmeabstrahlung der Verglasung. Für gängige Verglasungen liegt dieser Wert zwischen 0,4 (3-fach Wärmeschutzverglasung) und 0,9 (einfach Verglasung). Wesentlich bei Fenstern ist auch der korrekte Einbau. Wird der Anschluss des Fensters nicht in die Dämmebene gelegt kann sich der gesamte U-Wert um den Faktor 1,5 verschlechtern. Die abgestrahlte Energie eines Körpers mit einer bestimmten Temperatur (in Kelvin!) lässt sich mit dem Stefan-Boltzmann Gesetz berechnen (Anmerkung: Dieses Gesetz ist benannt nach den beiden Physikern Josef Stefan und Ludwig Boltzmann!):

$$e = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

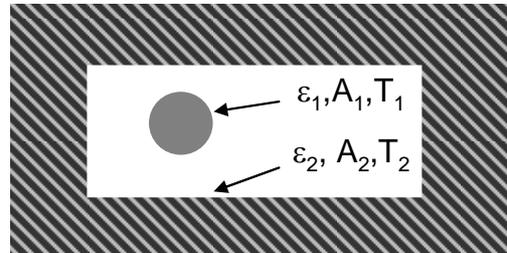
- σ ... Stefan-Boltzmann Konstante $5,67 \cdot 10^{-8}$ [W/(m²K⁴)]
 T ... Temperatur [K]
 e_s ... Strahlungsleistung [W/m²]
 ε ... Emissionsgrad

Zu beachten ist hier, dass die Temperatur zur vierten Potenz vorkommt. Dies verursacht bei steigender Temperatur einen starken Anstieg der Strahlungsleistung. Dieses Gesetz wird nun zur Berechnung des Strahlungsaustausches herangezogen:

$$\dot{Q} = A_1 \cdot \Sigma_{12} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Fig. 14: Strahlungsaustausch

- \dot{Q} ... Wärmefluss [W]
 A_1 ... kleinere Fläche
 Σ_{12} ... Austauschkoefizient [W/(m²K⁴)]
 T_1 ... Temperatur des Körpers 1 [K]
 T_2 ... Temperatur des Körpers 2 [K]

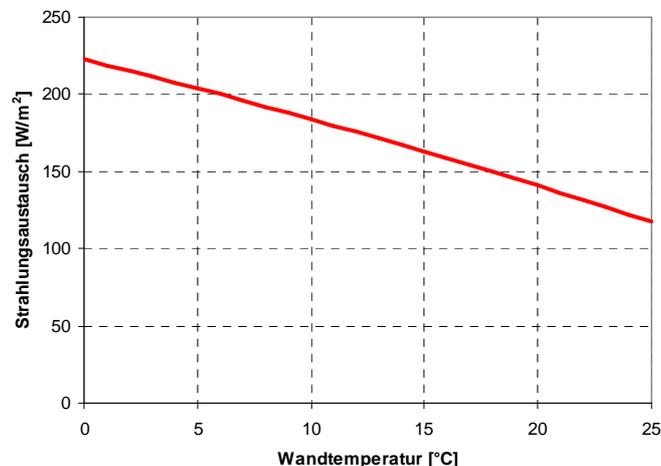


Die treibende Kraft ist auch hier wieder eine Temperaturdifferenz, nur mit dem Unterschied, dass die Temperatur nun zur vierten Potenz vorkommt. Der Austauschkoefizient ist von der vorliegenden Geometrie abhängig. Als Beispiel sei eine in einen Quader eingeschlossene Kugel gegeben:

$$\Sigma_{12} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right) \cdot \frac{A_1}{A_2}}$$

Beispiel

Für einen kugelförmigen Kachelofen mit einer Temperatur von 47 °C ergibt sich damit ein von der Wandtemperatur abhängiger Strahlungsaustausch, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.



I.3.5 Speichern von Wärme

Um die Speicherfähigkeit von Materialien abschätzen zu können sind folgende Materialeigenschaften von Bedeutung:

Die spezifische Wärmekapazität (c oder c_p):

Sie entspricht der Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg eines Stoffes um 1 Kelvin zu erwärmen, ist eine materialabhängige Größe und wird meist in J/(kgK) angegeben.

Die Wärmeleitfähigkeit (λ):

Je höher die Wärmeleitfähigkeit desto mehr Wärme kann bei gegebener Temperaturdifferenz fließen. Die Wärmeleitfähigkeit wird meist in W/(mK) angegeben.

Die Dichte (ρ):

Diese Größe bestimmt das Massen/Volumen Verhältnis eines Körpers. Je höher die Dichte, desto kleiner wird 1 kg des Materials.

Die Temperaturleitfähigkeit (a):

Sie setzt die Wärmeleitfähigkeit ins Verhältnis zum Speichervermögen und ist ein Maß dafür, wie schnell sich Temperaturstörungen im Material ausgleichen.

Aus diesen Materialgrößen lassen sich nun charakteristische Größen bestimmen, die das Speicherverhalten eines Materials beschreiben. Das Speichervermögen ist das Produkt aus Wärmekapazität und Dichte. Je größer dieser Wert ist, desto mehr Wärme lässt sich in einem bestimmten Volumen des Materials speichern. Ein Vergleich dieser Größen für Wasser, Stein und Luft zeigt Fig. 12:

	Wasser	Stein	Luft
Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]	0,64	2,5	0,028
Dichte ρ [kg/m ³]	988	2600	1,1
spez. Wärmekapazität c [J/kgK]	4171	800	1020
Speichervermögen $c \cdot \rho$ [MJ / (m ³ K)]	4,12	2,08	0,001
Temperaturleitfähigkeit a [m ² /s]	0,16	1,2	28

Fig. 15: Thermische Kennwerte von Wasser, Stein und Luft [Streicher, überarbeitet]

Durch die Einbringung von thermischer Speichermasse lassen sich die Bedingungen in einem Gebäude wesentlich beeinflussen. Mit der gespeicherten Energie in Wänden oder Böden lassen sich bei entsprechender Handhabung Temperaturspitzen abschwächen und der Energiebedarf für Heizen und Kühlen reduzieren. Ein typisches Beispiel dafür ist die Nachtlüftung mit der man die tiefen Temperaturen in der Nacht nutzt um das Gebäude auszukühlen. Die vorhandene Speichermasse sorgt dann unter Tags dafür, dass weniger hohe Temperaturen erreicht werden.

Für eine Abschätzung der Materialeigenschaften für diesen Einsatzbereich ist die dynamische Speicherfähigkeit zu betrachten:

$$C_{\infty} = \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \cdot \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$$

C_{∞} ... Speicherfähigkeit [J/(m²K)]

λ ... Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]

ρ ... Dichte [kg/m³]

c ... spez. Wärmekapazität [J/(kgK)]

τ ... Periodendauer der Temperaturschwingung [s]

π ... 3,1415...

Um die Temperaturschwankung zwischen Tag und Nacht zu berücksichtigen ist hier für die Periodendauer ein ganzer Tag (= 24 · 3600 Sekunden) einzusetzen. Wie viel von dem Material bei gegebener Periodendauer aktiviert werden kann bestimmt die sogenannte Eindringtiefe:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \sqrt{\frac{\lambda}{c \cdot \rho}}$$

σ ... Eindringtiefe [m]

τ ... Periodendauer der Temperaturschwingung [s]

π ... 3,1415...

c ... spez. Wärmekapazität [J/kg·K]

ρ ... Dichte [kg/m³]

Eine Übersicht dieser Größen für einige Materialien bietet die folgende Tabelle:

Material	ρ [kg/m ³]	λ [W/(mK)]	c_p [J/(kgK)]	a 10 ⁻⁶ [m ² /s]	σ [cm]	C_{∞} [kWh/(m ² K)]
Stahl	7850	60.000	480	15.924	66.2	0.693
Beton	2400	2.300	1130	0.848	15.3	0.115
Ziegel	1000	0.450	920	0.489	11.6	0.030
Holz	600	0.150	1600	0.156	6.6	0.017
XPS	35	0.033	1400	0.673	13.6	0.002
Glas	2500	0.810	840	0.386	10.3	0.060

I.4 Kernaussagen und Literatur zum Thema

Treibende Kraft in der Wärmetechnik ist die TEMPERATUR, sie ist ein Maß für den Wärmezustand eines Körpers.

Die zugeführte WÄRMEMENGE ist direkt proportional zur Temperaturerhöhung und zur Masse des Körpers. Den Proportionalitätsfaktor nennt man spezifische Wärmekapazität.

Die WÄRMEMENGE ist eine besondere Form der Energie.

ENERGIE ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten oder Wärme abzugeben. Sie kann weder entstehen noch verloren gehen (Energieerhaltungssatz).

LEISTUNG ist die Arbeit, die in einer bestimmten Zeit verrichtet wird.

Für eine energetische Betrachtung eines Gebäudes sind im Wesentlichen vier standortbedingte Energiequellen zu betrachten:

Außenluft / Sonneneinstrahlung / Boden / Grund- und Oberflächenwasser

Die wichtigen Größen zur Bestimmung der thermischen Eigenschaften von Materialien sind:

Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]

Spezifische Wärmekapazität c [J/(kgK)]

Dichte ρ [kg/m³]

Der U-Wert der thermischen Außenhülle eines Gebäudes ist eine wesentliche Größe für die Berechnung des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen.

Wasser ist mit einem Speichervermögen von 4,12 MJ/(m³K) ein ausgezeichneter Wärmespeicher.

Literatur

Arsenal, **Vergleichstudie zu Wärmepumpen Österreich-Ungarn**

http://www.icon-res.net/pdf-files/AP2/Vergleich_Waermepumpen_Oesterreich-Ungarn.pdf

BMLFUW, Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Hydrologisches Jahrbuch, Abteilung VII/3, Wasserhaushalt (Hydrographisches Zentralbüro).

GBA, Geologische Bundesanstalt, Geokarten, www.geologie.ac.at

Heimrath R., Haller M., 2007: Project Report A2 of Subtask A: The Reference Heating System, the Template Solar System; A Report of IEA SHC – TASK 32

Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese A., 2005: Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, 5. Auflage, Springer, ISBN 3-540-28204-1

Meteonorm, Wetterdatengenerator METEONORM 6.0, Fabrikstrasse 14, CH - 3012 Bern, Schweiz, Ausgabe 1995, www.meteonorm.com

OIB (Hrsg.), 2006: Leitfaden - Energietechnisches Verhalten von Gebäuden, Österreichisches Institut für Bautechnik, Version 2.5, 17. Oktober 2006, www.oib.or.at

ÖNORM B 8110-5, ENTWURF, Wärmeschutz im Hochbau; Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile, Ausgabe 2007-04-01

Polifke W., Kopitz J., 2005: Wärmeübertragung, Grundlagen, analytische und numerische Methoden, Person Studium, ISBN 3-8273-7104-X

Streicher, W., 2007: Sonnenenergienutzung, Skriptenreihe am Institut für Wärmetechnik der TU – Graz, www.iwt.tugraz.at

VDI 4640, Blatt 2, 2001: Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, www.vdi.de

ZAMG, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, www.zamg.ac.at

Weiterführende Literatur:

Keller B., 1997: Klimagerechtes Bauen, Grundlagen – Dimensionierung – Beispiele, B.G. Teubner Stuttgart, ISBN 3-519-05080-3

Gamerith H., Thermische Bauphysik, Wärmeschutz – Feuchteschutz – Mensch und Klima, Skriptenreihe am Institut für Hoch- und Industriebau der Technischen Universität - Graz

Marko A., Braun P., 1997: Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden, Springer, ISBN 3-540-60369-7

II. Aktive Solarenergienutzung



Dr. Richard Heimrath
Ao. Univ. Prof. Dr. Wolfgang Streicher

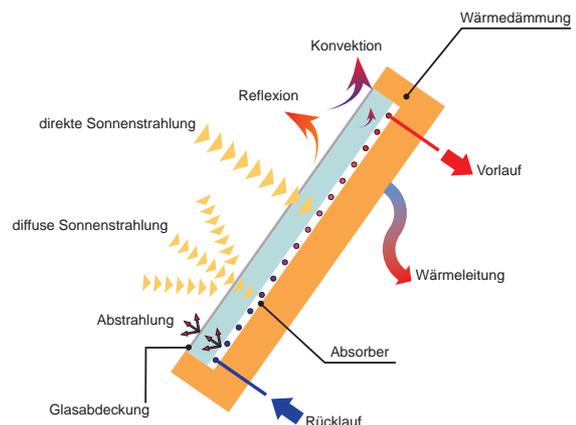
II.1 Grundlagen aktiver Solarthermie

II.1.1 Kollektoreigenschaften

Das zentrale Element in der aktiven Solarthermie ist der Sonnenkollektor. Um die Funktionsweise eines Sonnenkollektors darzustellen ist in Fig. 16 der schematische Aufbau gezeigt. Wesentlich für das Verständnis der Funktionsweise des Sonnenkollektors sind die Energieflüsse, die in diesem Bauteil auftreten und die Verluste bzw. die gewonnene Nutzenergie darstellen. Ein Teil der einfallenden Strahlung (direkte und diffuse Sonnenstrahlung) wird an der durchsichtigen Glasabdeckung reflektiert; ein weiterer geringer Teil wird vom Absorber reflektiert und verlässt den Kollektor durch die Glasabdeckung. In Summe ergeben diese beiden Effekte die sogenannten Reflexionsverluste. Durch die absorbierte Solarstrahlung heizt sich der Absorber auf und ein Teil der Wärme fließt als nutzbare Wärme zum Wärmeträger (Absorberfluid). Der heiße Absorber strahlt einen Teil der absorbierten Energie in langwelliger Strahlung ab, was zu den Abstrahlungsverlusten führt. Neben den Abstrahlungsverlusten hat der Absorber auch einen konvektiven Wärmeverlust und an der Rückseite des Kollektors und einen Wärmeverlust durch Wärmeleitung durch die Rückendämmung.

Fig. 16: Schematischer Aufbau und Energieflüsse in einem Sonnenkollektor

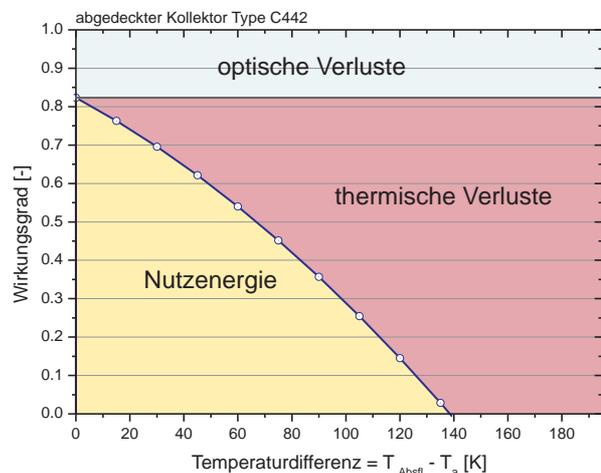
Bildquelle: [Heimrath]



Der messtechnische Nachweis der besprochenen Wärmeflüsse führt zur sogenannten Kollektorwirkungsgradkennlinie (Fig. 17), die bei jedem zertifizierten Kollektor im Datenblatt (z.B.: www.solarenergy.ch) aufscheint. Die auftretenden Verluste, lassen sich vereinfacht in optische und thermische Verluste zusammenfassen. Der Verlauf des Wirkungsgrades eines Kollektors kann wie in Fig. 17 dargestellt werden.

Fig. 17: Schematische Darstellung der Wirkungsgradkennlinie eines Sonnenkollektors

Bildquelle: [Heimrath]



Die Kollektorkennlinie leitet sich aus den oben genannten Energieflüssen ab und wird meist wie folgt zusammengefasst:

$$\eta_{Koll} = c_0 - c_1 \cdot \frac{(\bar{T}_{Abs,fl} - T_a)}{I_g} - c_2 \cdot \frac{(\bar{T}_{Abs,fl} - T_a)^2}{I_g}$$

- η_{Koll} ... Wirkungsgrad Kollektor
- $\bar{T}_{Abs,fl}$... mittlere Absorberfluidtemperatur
- T_a ... Außenlufttemperatur
- I_g ... solare Einstrahlung auf die Kollektorebene

c_0 [-] Konversionsfaktor des Kollektors: Dies ist der maximal mögliche Wirkungsgrad bei gleicher Temperatur von Kollektor und Umgebung. Er ergibt sich aus der Multiplikation des Durchlässigkeitskoeffizienten τ_{Abd} der Abdeckung und des Absorptionskoeffizienten α_{Abs} des Absorbers ($c_0 = \tau_{Abd} \cdot \alpha_{Abs}$).

c_1 [W/m²K] Wärmeverlustkoeffizient des Kollektors bezogen auf die Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Umgebung: Dieser Faktor wird im Normalfall für Windstille angegeben.

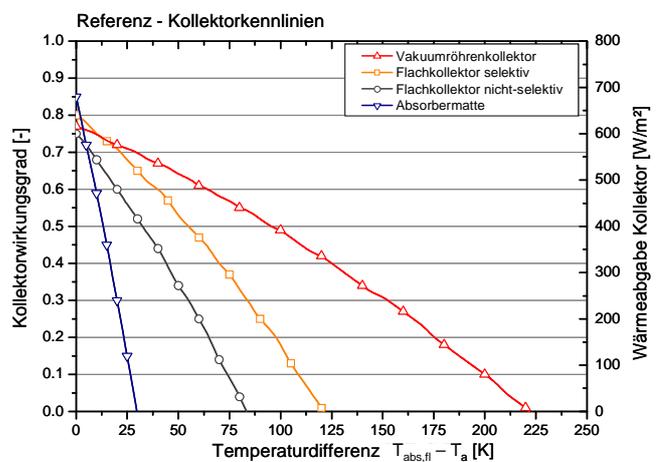
c_2 [W/m²K²] quadratisches Glied: Annäherung an die realen Strahlungsverluste und die Veränderlichkeit des Wärmeverlustkoeffizienten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen.

In Fig. 18 sind typische Kollektorkennlinien, für die wesentlichen Kollektortypen dargestellt. Der Vakuumröhrenkollektor zeigt die geringsten thermischen Verluste und kann somit die höchsten Kollektoraustrittstemperaturen (bis ca. 150°C) erzeugen. Danach kommt der typische Flachkollektor, der je nach Ausführung Austrittstemperaturen bis zu 80 – 100°C effizient erzeugen kann. Eine unabgedeckte Absorbermatte (sog. Schwimmbadkollektor) erreicht gerade 40 – 50°C an Austrittstemperatur und eignet sich im Speziellen für eine Schwimmbaderwärmung.

Fig. 18: Darstellung des Wirkungsgrades unterschiedlicher Sonnenkollektortypen

T_f .. mittlere Fluidtemperatur,
 T_a .. Außentemperatur,
 Einstrahlung 800 W/m²

Bildquelle: [Heimrath]



II.1.2 Solarer Deckungsgrad und spezifischer Kollektorsertrag

Zur Definition der Leistungsfähigkeit und zur Beschreibung der Dimensionierung von Solaranlagen wird ein Begriffspaar (solarer Deckungsgrad und spezifischer Kollektorsertrag) definiert, das nachfolgend erläutert wird.

Die gebräuchlichste Bewertungsziffer für eine thermische Solaranlage ist der **solare Deckungsgrad (SD)**. Mit diesem wird der solar eingebrachte Anteil am gesamten thermischen Energiebedarf, des betrachteten Heizungssystems, beschrieben. Die Energiemengen müssen für jenen Zeitraum eingesetzt werden, für welchen man den Deckungsgrad berechnen möchte. Am aussagekräftigsten ist der Jahresdeckungsgrad, bei dem als Bezugszeitraum das Kalenderjahr herangezogen wird.

Eine häufig verwendete Darstellungsart definiert den solaren Deckungsgrad als Verhältnis der vom Kollektorkreislauf gelieferten Energiemenge zur gesamten Energiemenge, die vom Kollektorkreislauf und der Zusatzheizung in den Speicher geliefert wird (Bilanz am Energiespeicher).

$$SD = \frac{\text{Solarenergie}}{\text{Zusatzenergie} + \text{Solarenergie}}$$

Bei dieser Definition werden für die Errechnung des Deckungsgrades die Verluste des Speichers zur Nutzenergie (Zusatzenergie + Solarenergie) hinzugerechnet. Diese Form der Deckungsgraddefinition wird aufgrund des repräsentativen Ergebnisses sehr häufig verwendet und findet oftmals in Simulationsprogrammen Verwendung.

Der **spezifische Kollektorsertrag (SE)** und der daraus resultierender Mindesternachweis wird vielerorts für die Gewährung einer Förderung vorausgesetzt. Dieser spezifische Kollektorsertrag beschreibt die jährliche Energiemenge, welche von einem Quadratmeter Kollektorfläche dem Energiespeicher zugeführt wird.

$$SE = \frac{\text{Solarenergie}}{\text{Kollektorfläche}} \quad [\text{kWh} / \text{m}^2\text{a}]$$

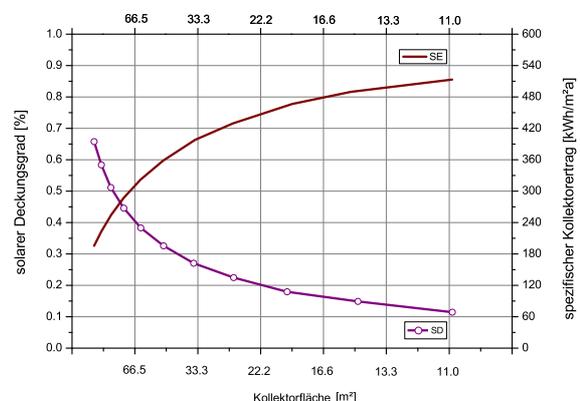
Der spezifische Kollektorsertrag wird häufig als wesentliche Kenngröße für die Leistungsfähigkeit von Solarsystemen angegeben. Für die richtige Interpretation derselben müssen einerseits die Dimensionierung der Anlage (sprich der solare Deckungsgrad SD und die Systemverluste (Speicher- bzw. Wärmeverteilverluste)) herangezogen werden (siehe Fig. 19).

Fig. 19: Darstellung des solaren Deckungsgrades und des spezifischen Kollektorsertrags über der Kollektorfläche

Hoher solarer Deckungsgrad = niedriger spezifische Ertrag und umgekehrt

$$\uparrow SD = \downarrow SE$$

Bildquelle: [Heimrath]

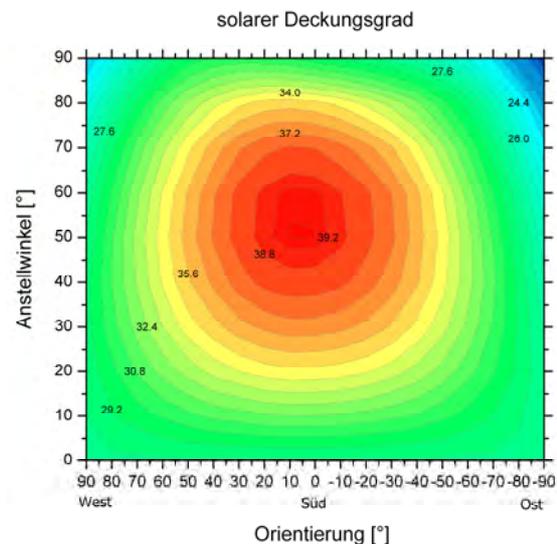


Für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Solaranlage müssen der solare Deckungsgrad, der spezifische Kollektorsertrag und das Wissen um die technische Ausführung in Betracht gezogen werden!

II.1.3 Solarer Deckungsgrad und Ausrichtung der Kollektorfläche

Eine Abweichung von der optimalen Ausrichtung (Süden) der installierten Kollektorfläche um $\pm 40^\circ$ (in Richtung West und Ost) bringt zwischen 45° und 60° Neigung der Kollektorfläche eine Abminderung des Deckungsgrades um etwa 10 %. Bei Südausrichtung kann die Neigung sogar zwischen 30° und 75° schwanken, ohne dass sich der Deckungsgrad um mehr als 10 % gegenüber einer ermittelten Idealvariante reduziert. Es ist daher möglich, von der optimalen Dachausrichtung und Neigung in gewissen Grenzen abzuweichen, ohne eine größere Einbuße an solarem Deckungsgrad zu erhalten (siehe Fig. 20).

Fig. 20: Ermittelte ideale Ausrichtung und Orientierung der Kollektorflächen für ein Zwei-Leiter-Netz mit dezentralen Brauchwarmwasserspeichern (Standort Zürich, 5 WE, maximaler Solarertrag beträgt 39,5 % bei 55° Anstellwinkel und 10° Westorientierung). [Heimrath, R. 2004]



Fassadenkollektoren

Kollektoren auf einer südseitig ausgerichteten senkrechten Wand erzielen bei einer Solaranlage zur teilsolaren Raumheizung (siehe Kapitel II.2.2) mit über 20 % solarem Deckungsgrad die nahezu gleichen spezifischen Kollektorerträge wie ein mit etwa 45° aufgestellter Kollektor. Dies bietet in der Gestaltungsarbeit eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Einbindung von Solaranlagen in das Gebäude. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Kollektoren nicht von anderen Gebäuden, von Bäumen etc. verschattet werden. In den Sommermonaten hat die Sonne auf südseitig ausgerichtete Fassadenkollektoren einen Einstrahlungswinkel von über 60° . Damit wird die Strahlung auf die Kollektorfläche um etwa die Hälfte reduziert. Aus diesem Grund müssen Fassadenkollektoranlagen zur Brauchwassererwärmung für die volle Sommerdeckung etwa doppelt so groß ausgeführt werden, wie ideal ausgerichtete Anlagen zur Brauchwarmwassererwärmung. In den Wintermonaten ist die Einstrahlung auf den vertikalen Kollektor aufgrund des niedrigen Sonnenstandes jedoch annähernd gleich der Solarstrahlung auf die optimal ausgerichtete Anlage. Fassadenkollektoren eignen sich daher besser für die Heizungsunterstützung, da die Einstrahlung auf die Kollektorfläche von März bis Oktober annähernd konstant ist und im Winter nicht stark abfällt. Ein großer Vorteil von Fassadenkollektoren sind die geringen Stillstandstemperaturen¹ im Sommer (aufgrund der reduzierten, weil steilen, Einstrahlung).

¹ Wird von dem Kollektor keine Wärme abgeführt, so stellt sich die so genannte Stillstandstemperatur oder Stagnationstemperatur ein. Bei dieser Temperatur stehen die Wärmeverluste im Gleichgewicht mit der eingestrahelten Sonnenenergie. Die Stillstandstemperatur eines Flachkollektors kann über 140°C betragen.

Dadurch kommt es nicht zur Stagnation (zum Stillstand) des Kollektorfeldes und somit zum Ausdampfen² des Kollektors. Im Winter reduzieren die in die Außenwand integrierten Fassadenkollektoren, bei Einstrahlung, aufgrund ihrer höheren Oberflächentemperatur die Transmissionsverluste dieses Wandteils.

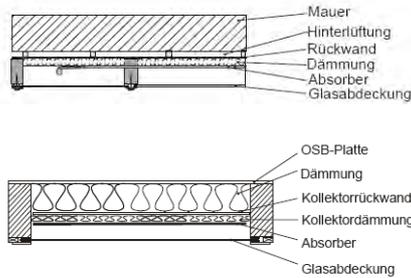


Fig. 21: hinterlüftetes- und nicht hinterlüftetes Fassadensystem (links) und Beispiel einer gelungenen Gebäudeintegration (rechts) [Bergmann, I. 2002]

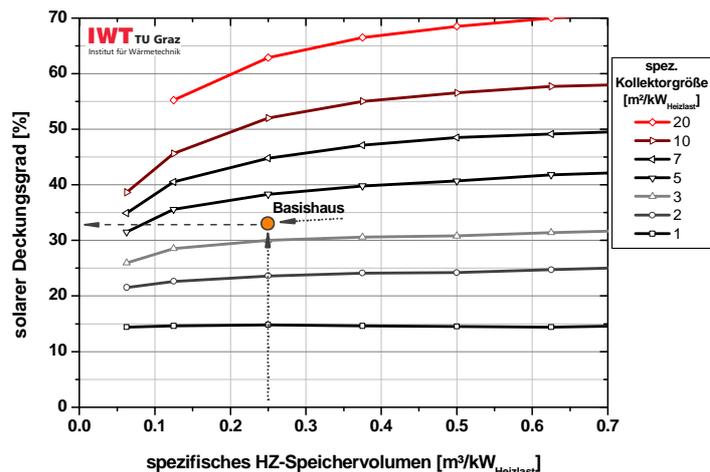
II.1.4 Solarer Deckungsgrad und Pufferspeicher

Nach der Bewertung der Ausrichtung wird nun die Abhängigkeit des solaren Deckungsgrades einer Anlage von der Heizungsspeichergröße und der Kollektorfläche betrachtet. Fig. 22 und Fig. 23 zeigen diesen Zusammenhang für Häuser mit beliebigen Heizlasten basierend auf spezifischen Speicher- und Kollektorgrößen.

Beispiel:

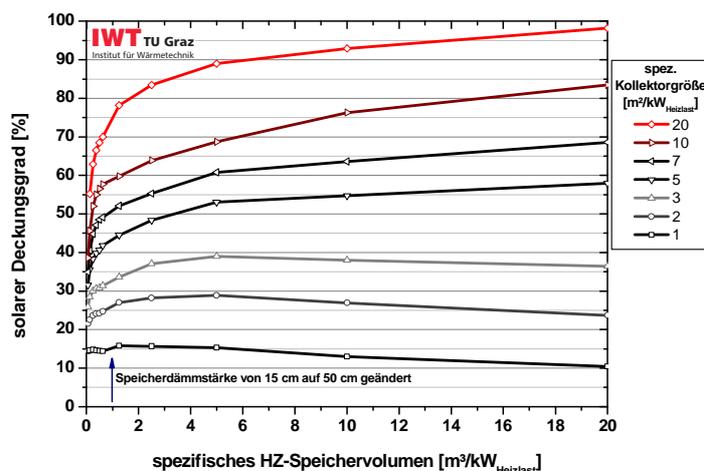
Heizlast: 8 kW
 Heizungsspeicher: 2 m³
 Kollektorfläche: 30 m²
 spez. Speichergröße 2 m³ / 8 kW = 0,25 m³/kW_{Heizlast}
 spez. Kollektorfläche 30 m² / 8 kW = 3,75 m²/kW_{Heizlast}

Fig. 22: Solarer Gesamtdeckungsgrad über Heizungsspeichergröße und Kollektorfläche für Heizspeichergrößen bis 0,7 m³/kW_{Heizlast} [Streicher, W. 2007]



² Um im Anlagenstillstand (Stagnation) das Solarfluid zu schonen, sollte der Inhalt eines Kollektors möglichst schnell ausdampfen können. Dazu ist es notwendig den Betriebsdruck so gering als möglich zu halten und eine einwandfreie Kollektorentleerung zu ermöglichen. Befindet sich während eines Anlagenstillstands im Kollektor nicht verdampft (flüssiges) Solarfluid, kommt es zu einer verstärkten thermischen Belastung des Solarfluids (= rasche Alterung).

Fig. 23: Solarer Gesamtdeckungsgrad über Heizungsspeichergröße und Kollektorfläche für Heizspeichergrößen bis $20 \text{ m}^3 / \text{kW}_{\text{Heizlast}}$ [Streicher, W. 2007]



Bei einem spezifischen Heizspeichervolumen von über $1 \text{ m}^3/\text{kW}_{\text{Heizlast}}$ wurde die Dämmstärke des Heizungsspeichers von 15 cm auf 50 cm erhöht (Fig. 23). Die Höhe des Heizungsspeichers wurde entsprechend dem Volumen ebenfalls angepasst. Alle anderen Werte des Basishauses (Klima, Ausrichtung der Kollektoren, Größe des Brauchwasserspeichers, Verschaltungsart, Regelungsparameter, relative Höhen für Wärmetauscher sowie Ein- und Auslässe in die Speicher etc.) wurden beibehalten. Welches Verhältnis (Heizlast zu Kollektorfläche und Speichervolumen) schlussendlich gewählt wird, ist eine Frage der Kosten von Speicher und Kollektor. Aus beiden Abbildungen (Fig. 22 und Fig. 23) wird deutlich, dass eine Vergrößerung des Heizspeichervolumens über eine bestimmte Größe nur mehr eine geringe Steigerung oder sogar eine Verringerung des solaren Deckungsgrades bewirkt. Die Verringerung tritt vor allem bei kleinen Kollektorflächen auf. In diesem Fall verliert ein größerer Speicher mehr Wärme (Energie), als die Solaranlage aufgrund des größeren zur Verfügung stehenden Volumens zusätzlich liefern kann.

Aus den Überlegungen des obigen Beispiels ergibt sich die Sinnhaftigkeit teilsolarer Heizungssysteme, bei denen bei möglichst geringen Investitionskosten möglichst hohe solare Deckungsgrade erzielt werden. Für Gebäude mit einer Heizlast um 10 kW (Einfamilienhaus) sind bei Kollektorflächen zwischen 30 und 50 m^2 Heizungsspeicher bis maximal 4 m^3 für die Solaranlage zu empfehlen. Bei Verwendung eines Festbrennstoffkessels kann darüber hinaus das notwendige Volumen zur Aufnahme der Energie einer Kesselfüllung hinzukommen.

Eine solare Volldeckung³ der Heizung ist durchaus erreichbar. Allerdings sind die hierfür notwendigen Speichergrößen und Kollektorflächen enorm. In der Schweiz wurde ein solches Haus von Jenni mit einer spezifischen Kollektorfläche von $22 \text{ m}^2/\text{kW}_{\text{Heizlast}}$ und einer spezifischen Speichergröße von $30 \text{ m}^3/\text{kW}_{\text{Heizlast}}$ gebaut. Dieses Haus erzielt seit 1989 solare Volldeckung [Jenni, 1993]. Auch in Österreich gibt es ein Einfamilienhaus (Baujahr 1997) mit solarer Volldeckung. Das ‚Haus Nader‘ (Laßnitzhöhe, Steiermark, Fig. 24, [Streicher et al., 1998]) erreicht mit $18,3 \text{ m}^2/\text{kW}_{\text{Heizlast}}$ (= 75 m^2 Kollektorfläche) und $18,3 \text{ m}^3/\text{kW}_{\text{Heizlast}}$ (= 75 m^3 Speichervolumen) einen solaren Deckungsgrad (SD) von 100 % (vergleiche mit Fig. 23).

³ Unter solarer Volldeckung versteht man einen solaren Deckungsgrad (SD) von 100 %. Das heißt, es wird zur Abdeckung der Raumwärme und des Warmwasserbedarfs, keine zusätzliche Wärmequelle (Holz, Öl, Gas, Strom) benötigt.

Fig. 24: Haus Nader,
4,1 kW Heizlast,
75 m² Kollektorfläche und
75 m³ Speichervolumen

Bildquelle: [Koch, 1999]



II.2 Anwendungsgebiete der aktiven Solarthermie

II.2.1 Anwendungsgebiet – Brauchwarmwasser

Der Haupteinsatzbereich von thermischen Solaranlagen liegt derzeit bei der Brauchwasserbereitung in Einfamilienhäusern (65 % der Anlagen am Solarmarkt).

Üblicherweise erfolgt die Brauchwarmwasserbereitung in Mitteleuropa mit elektrischem Strom, Gas oder über eine Zentralheizungsanlage, die entweder mit Festbrennstoffen, Gas oder Öl befeuert wird. Wird im Sommer die Brauchwarmwasserbereitung mittels eines Heizkessels durchgeführt, so arbeitet dieser mit einem äußerst schlechten Wirkungsgrad und hohem Schadstoffausstoß.

Das Energieangebot der Sonne reicht aus, um im Sommerhalbjahr - je nach Dimensionierung der Solaranlage - den Warmwasserbedarf zwischen 80 % und 95 % zu decken. In der Übergangszeit und in den Wintermonaten reicht das Energieangebot der Sonne aber immer noch zum Vorwärmen des Brauchwarmwassers; d.h. das kalte Wasser muss vom Heizkessel bzw. von der elektrischen Heizpatrone nur noch um eine geringere Temperaturdifferenz nachgeheizt werden. Die Anlagen zur Brauchwarmwasserbereitung für Einfamilienhäuser sind technisch zuverlässig und werden von Fachbetrieben österreichweit angeboten. Einen typischen Aufbau einer Solaranlage für Brauchwarmwasserbereitung zeigt die folgende Abbildung (Fig. 25).

Die in den Kollektoren gewonnene Wärme gelangt über den Wärmetauscher in den Solarspeicher. Die Umwälzpumpe (1) wird durch die Solarsteuerung abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Speicher ein- und ausgeschaltet. Der Kollektorfühler misst die Fluidtemperatur im Kollektor, der Speicherfühler die Temperatur im Bereich des Solarwärmetauschers. Ist die Kollektortemperatur um eine eingestellte Temperaturdifferenz wärmer als der Speicher, wird die Pumpe eingeschaltet und die Wärme vom Kollektor zum Wärmetauscher transportiert. Eine sorgfältige Fühlerplatzierung ist Voraussetzung dafür, dass die Pumpe nur läuft, wenn der Energieeintrag in den Speicher positiv ist.

- (1) Umwälzpumpe
- (2) Rückschlagventil
- (3) Kugelhahn
- (4) Thermo- und Manometer
- (5) Überdruckventil
- (6) Entlüftungstopf
- (7) Thermometer
- (8) Ausdehnungsgefäß
- (9) Wartungseinheit
- (10) Füll- und Entleerungshahn

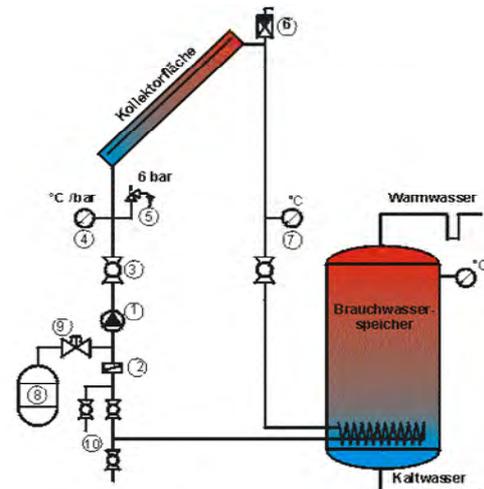


Fig. 25: Hydraulikschema einer thermischen Solaranlage zur Brauchwarmwasserbereitung

Ein Rückschlagventil (2) verhindert, dass der Kreis nachts in Thermosiphonwirkung rückwärts läuft und Energie vom wärmeren Speicher zum kälteren Kollektor zirkuliert. Das Expansionsgefäß (8) nimmt die Ausdehnung des Wärmeträgers im normalen Betrieb auf und auch die erhöhte Ausdehnung im Falle einer auftretenden Dampfphase und verhindert durch Aufrechterhaltung eines Mindestanlagendrucks ein Ansaugen von Luft durch diverse Verschraubungen. Das Expansionsgefäß sollte über eine Wartungseinheit (9) mit dem Solarkreis verbunden sein, die als Vorabspernung den Austausch ohne vorherige Entleerung der Anlage ermöglicht. Der Entlüfter (6) dient der Abfuhr des aus dem Wärmeträger freigesetzten Gases. Ein Überdruckventil (5) verhindert das Ansteigen des Anlagendrucks über einen zulässigen Maximalwert, wenn andere Funktions- und Sicherheitskomponenten (Regelung, Pumpe, Expansionsgefäß...) versagen sollten. Die analoge oder digitale Erfassung (4,7) einiger Messpunkte ist sehr wichtig zur Information des Benützers und zur Anlagenbeurteilung.

II.2.2 Anwendungsgebiet – teilsolare Raumheizung

Die Bereitstellung der Raumwärme erfolgt derzeit in Österreich zum überwiegenden Teil mit fossilen Energieträgern (Öl, Gas und Kohle). Ähnlich wie bei der breiten Markteinführung von solaren Anlagen zur reinen Brauchwarmwasserbereitung sind es wiederum private Bauherren/frauen, die in den vergangenen Jahren die ersten Anlagen zur teilsolaren Raumheizung⁴ realisierten. Das Anlagenverhalten und die erzielbaren Erträge zahlreicher Anlagen wurden messtechnisch erfasst und ausgewertet. Die Ergebnisse führten in der Folge zu wesentlichen Systemoptimierungen. In diesem Bereich hat Österreich im europäischen Vergleich eine Vorreiterrolle übernommen. Im Jahr 2006 wurden ca. 55 % der gesamten, jährlich installierten Kollektorfläche an Objekten mit teilsolarer Raumheizung installiert. Das entspricht rund 35 % aller montierten Anlagen [Faninger 2007]. Einen Vergleich des auftretenden Energiebedarfs (Raumwärme und Brauchwarmwasser) gegenüber einem möglichen solaren Energieeintrag über unterschiedlicher Kollektorflächen (von 20 bis 80 m²) für ein Gebäude mit 5 Wohneinheiten (5 WE) am Standort Zürich zeigt Fig. 26.

⁴ Parallel zum Begriff der teilsolaren Raumheizung hat sich auch die Bezeichnung solare Kombisysteme eingebürgert.

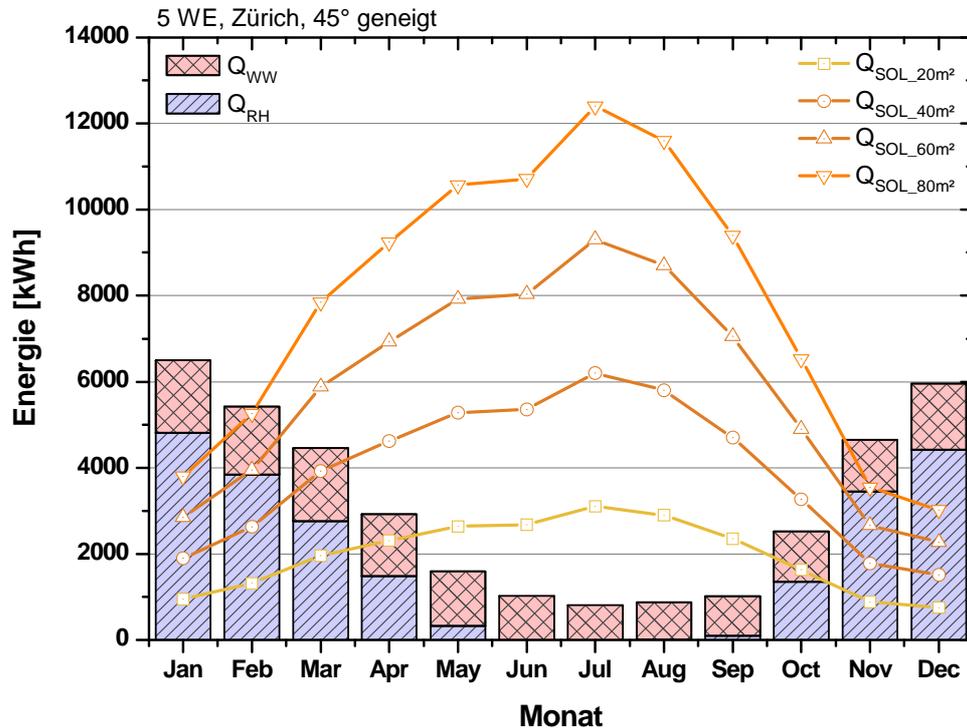


Fig. 26: Heizenergiebedarf, Warmwasserenergiebedarf und solarer Energieertrag für ein Gebäude mit 5 WE, (Q_{WW} .. monatlicher Warmwasserbedarf, Q_{RH} .. monatlicher Raumwärmebedarf, Q_{SOL} .. monatlicher Solarenergieeintrag auf die geneigte Kollektorfläche) [Heimrath, R. 2004]

Geprägt sind die teilsolaren Raumheizungen von der Speicherproblematik, da sich das Energieangebot umgekehrt proportional zum Energiebedarf verhält - im Sommer, wenn wenig Heizenergie benötigt wird, ist das Strahlungsangebot hoch, im Winter, wenn viel Energie benötigt wird, ist das Strahlungsangebot gering. Grundsätzlich ist es möglich, die Energie in großen Wasserspeichern oder Energiespeichern vom Sommer bis zum Winter zu speichern und so ausschließlich mit Sonnenenergie auszukommen. Das zeigen einige in den vergangenen Jahren realisierte Anlagen (siehe Fig. 24). Aus ökonomischer Sicht ist eine saisonale Speicherung mit der zurzeit am Markt vorhandenen Speichertechnik im Bereich von Ein- und Zweifamilienhäusern unwirtschaftlich und daher derzeit nicht breit umsetzbar. Das aus wirtschaftlicher Sicht interessantere Konzept ist das der teilsolaren Raumheizung. Bei Kollektorflächen von 20 bis 50 m² in Kombination mit Energiespeichern von 1 bis 4 m³, welche in der Lage sind, Wärme über einige Stunden (Nacht) bzw. einige Tage zu speichern, können im Einfamilienhausbereich solare Gesamtdeckungsgrade (Heizung und Warmwasser) von 20 bis 60 % erreicht werden. Der Restwärmebedarf kann mit einer Holzfeuerungsanlage (Stückholz-, Pellets- oder Hackgutkessel) gedeckt werden. Fig. 27 zeigt ein Hydraulikkonzept für die Einbindung einer thermischen Solaranlage zur teilsolaren Raumheizung und Brauchwarmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern und die an einem realen Gebäude ausgeführte Kollektoraufständerung.

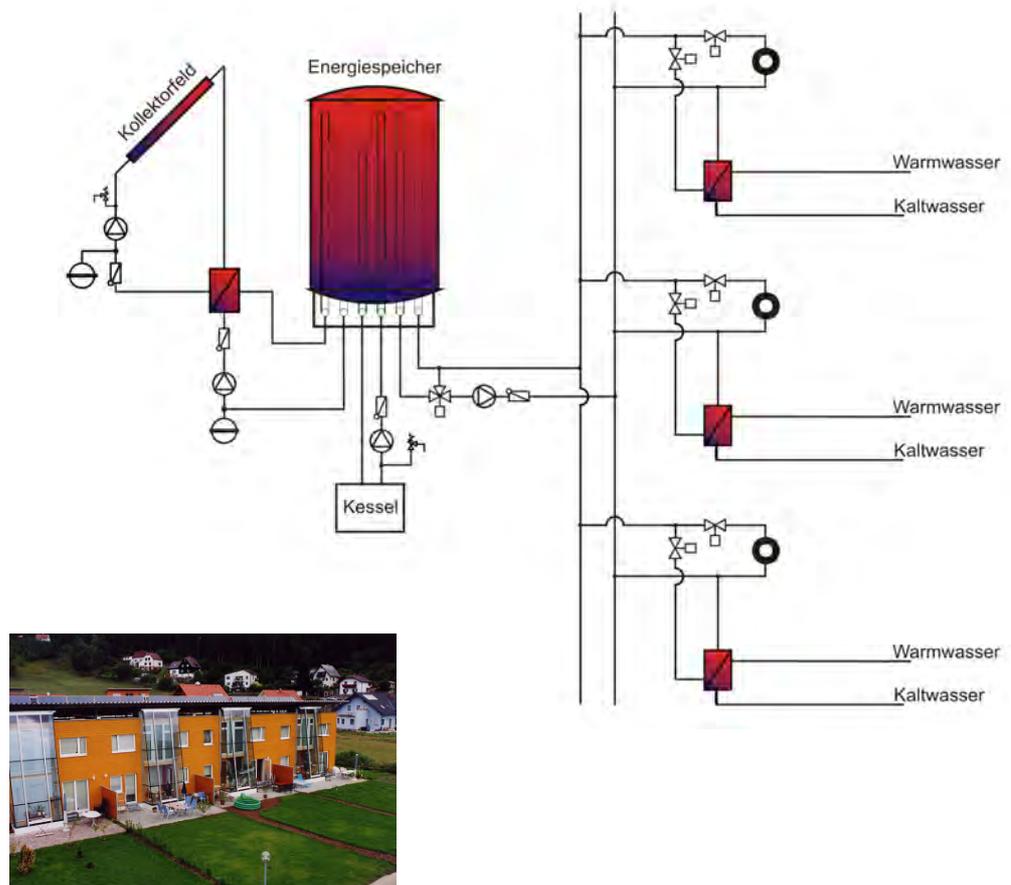


Fig. 27: Hydraulikkonzept einer gängigen solaren Kombianlage für Mehrfamilienhäuser (sog. Zwei-Leiter Netz) [Heimrath R., 2004] und ein Beispiel einer teilsolaren Raumheizung (Suncity Leoben [Architekt Nussmüller])

II.2.3 Anwendungsgebiet – Wärmenetze

Für die Energieversorgung von Wohnsiedlungen wurden in den vergangenen Jahren Konzepte entwickelt, die bei möglichst geringen Mehrkosten hinsichtlich der Errichtung, den fossilen Brennstoffbedarf zur Wärmeversorgung um 50 % und mehr reduzieren. Die Nutzung solarthermischer Energie in Nahwärmesystemen ist ein wichtiger Baustein dieser Versorgungskonzepte. Solar unterstützte Nahwärmeversorgung kommt vorrangig bei der Planung von Neubaugebieten in Frage. Wichtig ist ein von Anfang an abgestimmtes Gesamtkonzept, das sowohl den verbesserten Wärmeschutz der Gebäude als auch die energieeffiziente Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung umfasst und von allen beteiligten Akteuren gemeinsam entwickelt und umgesetzt wird. Fig. 28 zeigt die Standorte von Biomasse – Wärmenetze in Österreich, sowie ein Bild, einer der ersten solar unterstützten Biomasse – Nahwärmanlagen, in Eibiswald (Steiermark).



Fig. 28: Biomasse Fernwärmenetze in Österreich und ein Teilbereich der Kollektorfläche der Nahwärmanlage in Eibiswald (1250 m² Kollektorfläche, 105 m³ Energiespeicher)

Trotz des großen nachgesagten Potentials ist es in der Vergangenheit nicht gelungen, Mikronetze in Österreich als Standardwärmeversorgung zu etablieren. Was den Neubau von Siedlungsgebieten betrifft, so liegen in technologischer, organisatorischer und wirtschaftlicher Sicht, Hemmnisse vor, solche regionalen Mikronetze breit umzusetzen. Neubausiedlungsgebiete werden zumeist in Bauabschnitten (siehe Fig. 29) errichtet, was zur Folge hat, dass die Wärmeversorgung modular aufgebaut sein muss. Dieser Aspekt bringt zahlreiche technische als auch organisatorische Problemstellungen mit sich, die heute noch nicht vollständig gelöst sind.

Das EDZ - Projekt MoSol-Net [Fink, Heimrath 2007] beschäftigte sich schwerpunktmäßig mit der Ausarbeitung von Lösungsansätzen im technologischen Bereich, um diese Problemstellungen zu lösen.

Werden modular errichtete Siedlungsgebiete netzgebunden mit Wärme (aus Solarsystemen und Biomasse) versorgt, müssen diese hinsichtlich Lastausgleich und dezentraler Einspeisemöglichkeit von Solarsystemen flexibel aufgebaut sein.

Hierzu wurde ein spezielles Hydraulikkonzept, das sowohl die kombinierte Versorgung von Einfamilienhäusern, Reihenhäusern als auch Geschosswohnbauten ermöglicht, entwickelt. Die Energiespeicher sind dezentral angeordnet und übernehmen den Lastausgleich seitens der Biomasseheizung sowie die Speicherung der Solarwärme. Die Vorteile liegen darin, dass einerseits das Leitungsnetz um bis zu 35 % kleiner ausgelegt werden kann (reduzierte Kosten, reduzierte Wärmeverluste) und andererseits Solarwärme entsprechend des Bauforschrittes dezentral über Vorlaufeinspeisungen nachgerüstet werden kann. Abnehmerseitig sorgen Brauchwarmwasserberei-

tungssysteme im Durchflussprinzip (Frischwassermodule bei Einfamilienhäusern und Wohnungsstationen bei Geschosswohnbauten) in Verbindung mit einer Heizflächenauslegung von maximal 65/40°C für geringe Rücklauftemperaturen und somit für höchste Effizienz bei Solarsystemen sowie generell für geringe Netzwärmeverluste.



Fig. 29: Grundriss zu den Modellsiedlungsgebieten 1 - 3 / inkl. zentraler Wärmeversorgung. Diese werden in drei Bauabschnitten (unterschiedliche Farben) zu jeweils zwei bis drei Jahren errichtet.

Fig. 30 zeigt die Jahreswärmebilanzen der drei Modellsiedlungsgebiete (siehe Fig. 29) im direkten Vergleich. Vorweg genommen werden kann, dass alle drei Siedlungsgebiete hinsichtlich ihrer Jahressystemnutzungsgrade (liegen zwischen 75 und 93 %) ausgezeichnete Ergebnisse liefern. Die spezielle Systemhydraulik führt zu sehr geringen mittleren Betriebstemperaturen des Wärmeversorgungssystems. Die Netzvorlauftemperaturen liegen in der Heizperiode nahezu konstant bei 64°C, die Netzurücklauftemperaturen bei rund 34°C. In der Übergangszeit und in den Sommermonaten steigen aufgrund der höheren Solarerträge (führt zu höheren Speichertemperaturen) sowohl die Rücklauftemperatur als auch die Vorlauftemperatur an.

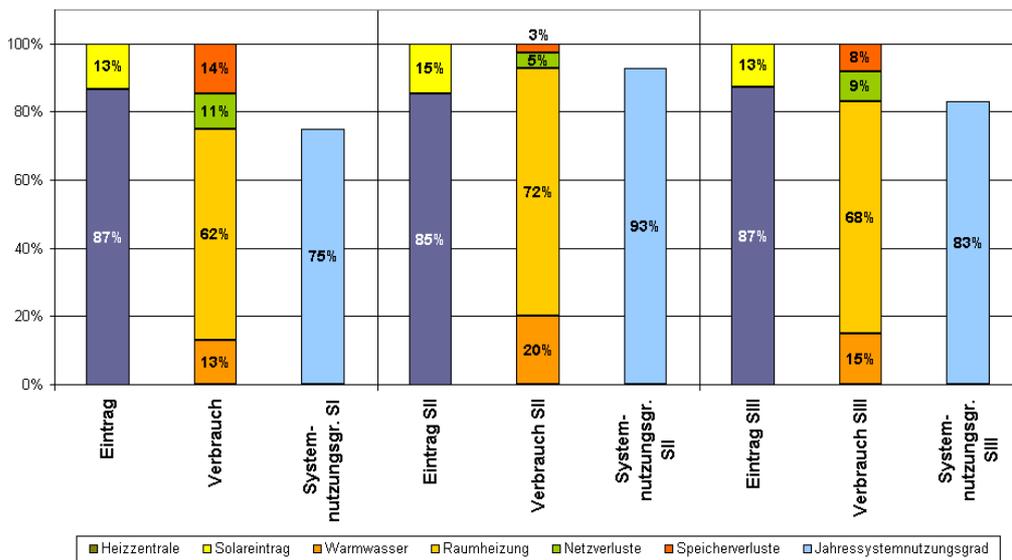


Fig. 30: Jahreswärmebilanzen der drei Modellsiedlungsgebiete im Vergleich (Links: Siedlungsgebiet 1, Mitte: Siedlungsgebiet 2, Rechts: Siedlungsgebiet 3). [Fink, Heimrath 2007]

Die Solarsysteme der drei Modellsiedlungsgebiete wurden im betriebswirtschaftlichen Optimum (solare Deckungsgrade um die 15 %) dimensioniert. Unterschiede er-

geben sich in Abhängigkeit der Betriebstemperaturniveaus der Solaranlagen sowie in Abhängigkeit der jeweiligen Systemverluste (Netz- und Speicherverluste). Anhand der im Projekt definierten Modellsiedlungsgebiete wurden Kollektorflächenvariationen in Verbindung mit der „Auslastung“ durchgeführt. Die Auslastung ist ein Maß für die Dimensionierung einer Solaranlage und beschreibt, mit welcher Last (der jährliche Wärmeverbrauch in kWh) ein Quadratmeter Kollektorfläche beaufschlagt wird. Um entsprechend aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurden für jedes Modellsiedlungsgebiet über eine repräsentative Bandbreite von solaren Deckungsanteilen (etwa 7–35 %) Kennzahlen errechnet.

Mit dem daraus resultierenden Nomogramm (Fig. 31) ist es somit möglich, für unterschiedliche Siedlungsgebiete Kollektorfläche bzw. solaren Deckungsgrad sowie spezifischen Solarertrag in entsprechender Genauigkeit einfach und rasch zu ermitteln. Aufgrund der unterschiedlichen Netzeinbindungsstrategien bei zentralen und dezentralen Kollektorflächen ergibt sich ein relativ breites Band für die spezifischen Solarerträge. Der spezifische Ertrag der zentralen Kollektorfläche wird im oberen Bereich, der Ertrag der dezentralen Flächen wird im unteren Bereich liegen. Bei den Netzverlusten ist das Wissen um die vorhandene Wärmebelegung von Bedeutung. So bedingt die geringste Wärmebelegung (Wärmeabnahme je Netzlänge) die größten Netzverluste (Siedlungsgebiet 1 mit ca. 10 – 12 % Netzverlusten) und die größte Wärmebelegung die kleinsten Netzverluste (Siedlungsgebiet 2 mit etwa 5 %).

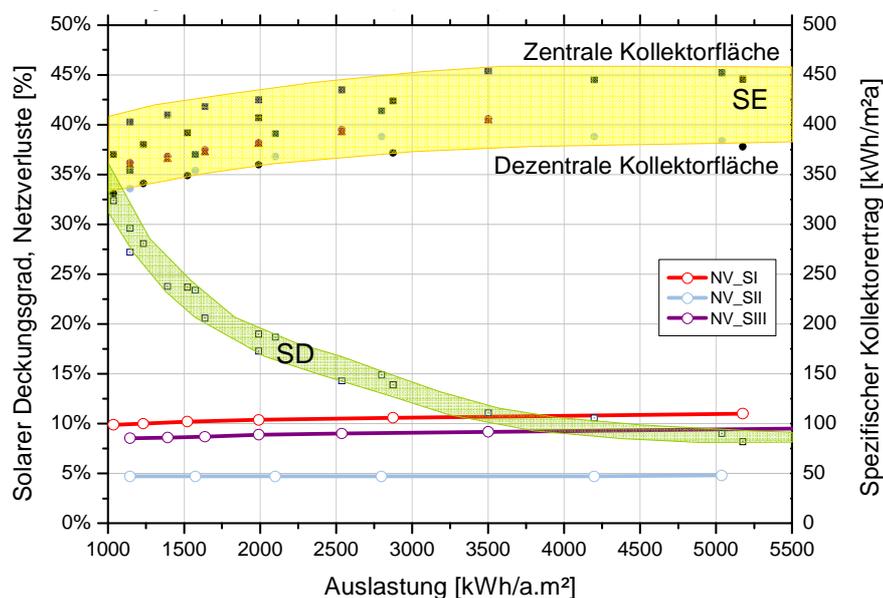


Fig. 31: Bandbreiten des solaren Deckungsgrades, des Kollektorertrages und der Netzverluste über der Auslastung – dargestellt für die drei Modellsiedlungsgebiete 1, 2 und 3. (SE... spezifischer Ertrag, SD ... solarer Deckungsgrad, NV ... Netzverluste, SI – SIII ... Siedlungsgebiet I bis III) [Fink, Heimrath 2007]

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass derartige, in Bauabschnitten errichtete Neubaugebiete von Baubeginn an mit einem hohen solaren Deckungsgrad versorgt werden können.

II.2.4 Anwendungsgebiet – solare Schwimmbaderwärmung

Im Sommer kann die vorhandene Solarwärme optimal für die Schwimmbaderwärmung genutzt werden. Das maximale Strahlungsangebot fällt mit dem Wärmebedarf während der Badesaison zusammen. Absorbermatten sind eine besonders günstige Möglichkeit die Solarwärme zu nutzen. Die Absorber (UV- und chlorbeständige Kunststoffschläuche) werden direkt vom Beckenwasser durchströmt und erwärmen dieses dabei (Prinzip des schwarzen Gartenschlauchs in der Sonne). Die gewünschte Temperatur liegt bei maximal 30°C, so dass sehr kostengünstige Absorber eingesetzt werden können, die bei den geforderten Temperaturen mit hohem Wirkungsgrad arbeiten. Bei Freibädern wird das Wasser alle drei bis vier Stunden umgewälzt, gefiltert und gechlort. 10 – 15 % der Durchflussmenge werden zur Durchströmung des Absorberfelds abgezweigt und dabei erwärmt. Die Pumpe des Solarkreises wird beim Überschreiten einer minimalen Einstrahlung (70 – 120 W/m²) eingeschaltet.

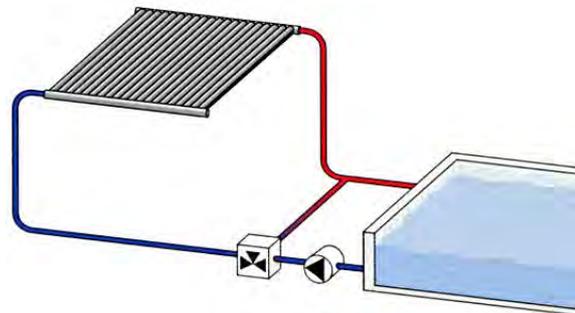


Fig. 32: Schwimmbad - Absorberanlage mit Absorbermatten

Über 60 % der Wärmeverluste eines Beckens entstehen durch Verdunstung. Durch eine Beckenabdeckung in der Nacht können die Wärmeverluste und somit der Heizenergiebedarf um bis zu 50 % reduziert werden.

Die erforderliche Absorberfläche entspricht - je nach Standort, Nutzungsdauer, Beckentemperatur und einer Abdeckung in etwa der halben bis ganzen Beckenfläche. Anhand der nachfolgenden Grafik (Fig. 33) kann eine grobe Auslegung vorgenommen werden.

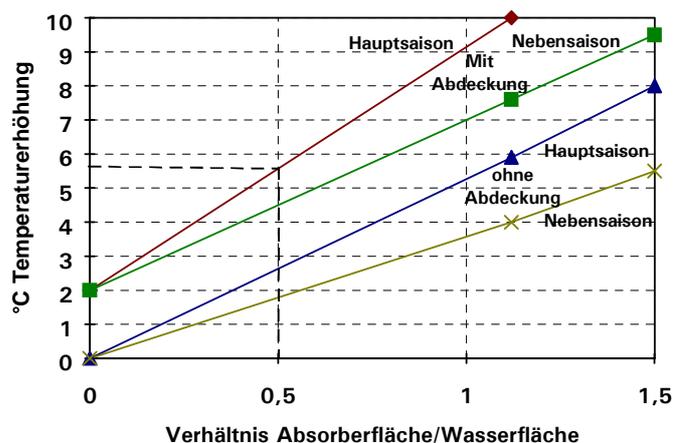


Fig. 33: Auslegung von Freibadkollektoren (Absorbermatten) in Abhängigkeit von der gewünschten mittleren Temperaturerhöhung gegenüber einem ungeheizten Becken [Wagner, 1994]

Die Verwendung von Absorbermatten für die Beheizung von Freibädern ist extrem wirtschaftlich. Die Investitionskosten für die Solaranlage sowie die Kosten für Betrieb und Wartung sind geringer als die Brennstoffkosten, die ansonsten entstehen würden. Die Amortisationszeiten liegen in der Regel bei drei bis fünf Jahren.

II.2.5 Anwendungsgebiet – solare Kühlung

Sommerliche Gebäudeklimatisierung stellt sowohl in kommerziell genutzten Gebäuden als auch in Wohngebäuden einen weltweit wachsenden Markt dar. Die Hauptgründe hierfür liegen einerseits in architektonischen Trends – beispielsweise durch den immer größer werdender Fensterflächenanteile der Fassaden – und andererseits in den wachsenden Komfortansprüchen der Nutzer. Zudem entstehen durch die immer größer werdende Anzahl an technischer Ausstattung, entsprechend größere interne Lasten, welche die Kühllast maßgeblich erhöhen.

Der Höhepunkt der Nutzung von Klimaanlage ist im Sommer, wobei nicht selten durch den hohen Strombedarf der Anlagen die Kapazitätsgrenze der Stromnetze erreicht bzw. überschritten wird. Gleichzeitig treten insbesondere bei großen solarthermischen Anlagen zur Heizungsunterstützung in der heißen Jahreszeit lange Stillstandszeiten auf, da zu dieser Zeit der Wärmebedarf im Gebäude niedrig ist. Das solare Potenzial, bedingt durch hohe Einstrahlung, bleibt dann weitgehend ungenutzt (vergleiche mit Fig. 26).

Während eine solare Heizung von Gebäuden inzwischen in die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit gerückt ist, findet die solare Kühlung bisher relativ wenig Beachtung. Aber auch, wenn der Gedanke mit Wärme zu kühlen ungewöhnlich ist, weist das Verfahren den großen Vorteil auf, dass Sonneneinstrahlung und Kühlbedarf nahezu zeitgleich steigen und fallen. Durch die somit mögliche ganzjährige Nutzung der Solarwärme können der Energieertrag und die Wirtschaftlichkeit der solarthermischen Anlagen deutlich gesteigert werden.

Derzeit gibt es drei generelle Verfahren zur Kälteerzeugung:

1. elektrisch⁵
2. thermisch⁶ oder
3. thermomechanisch⁷

Im Bereich der solaren Kühlung werden dabei vor allem Verfahren der Wärmetransformation durch Ad- und Absorption aus dem Bereich der thermischen Systeme (2) verwendet. Die konventionelle Kältetechnik wird durch Kompressionskältemaschinen (3) dominiert. Solare Technologien am Gebäude können photovoltaisch (PV) erzeugten Strom für diese Maschinen liefern. Aufgrund der zurzeit noch sehr hohen Investitionskosten für PV-Anlagen ist diese Variante der solaren Kühlung derzeit jedoch nicht verbreitet. Wirtschaftlich interessanter sind die Verfahren der thermischen Kühlung (2) mit Niedertemperaturwärme, welche die Solarenergie, aber auch eine Abwärme aus thermischen Prozessen für Absorptions- bzw. Adsorptionskältemaschinen bereitstellt. Die solare Kühlung kann den Ausstoß von Kohlendioxid zur Stromerzeugung reduzieren und den zur konventionellen Kühlung notwendigen Kraftwerkskapazitätsausbau verringern.

Am Markt dominierend sind **Absorptionskältetechniken** mit den Stoffpaaren Wasser-

⁵ Im Bereich der elektrischen Systeme gibt es zwei Verfahren: das Photovoltaik Peltier-System und das Photovoltaik Kompressionskältesystem.

⁶ Im Bereich der thermischen Systeme unterscheidet man offene (SGK und DEC-Verfahren) und geschlossene (Adsorptions- und Absorptionsverfahren) Systeme. Zusätzlich gibt es den Dampfstrahl-Kälte-Prozess, der sich aber im Moment in der Entwicklungsphase befindet. Allen liegen Wärmetransformationsprozesse zugrunde.

⁷ Für die solar betriebenen thermomechanischen Systeme stehen zwei Verfahren zur Verfügung: der Veulleumier-Prozess und der Rankine-Prozess. In der Praxis werden diese Verfahren bis jetzt noch nicht eingesetzt.

Lithiumbromid ($\text{H}_2\text{O-LiBr}$) beziehungsweise Ammoniak-Wasser ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$), welche über einen geschlossenen Kreisprozess Kälte erzeugen. Die Antriebstemperaturen für die Austreibung liegen je nach Technologie zwischen **90 und 140 °C**. Für Solarkollektoren ist das ein relativ hohes Temperaturniveau, das nur von speziell für hohe Temperaturen gefertigten Kollektoren (selektiver Flachkollektor, Vakuumröhrenkollektor) erreicht werden kann. Dies wird klar, wenn man die Kollektorkennlinien für verschiedene Kollektortypen im Vergleich betrachtet (siehe Fig. 18). Mit diesen Absorptionskälteanlagen lassen sich auf der ‚kalten Seite‘ (Raumseitig) Temperaturen zwischen **-60 und +20 °C** erreichen (siehe Fig. 34).

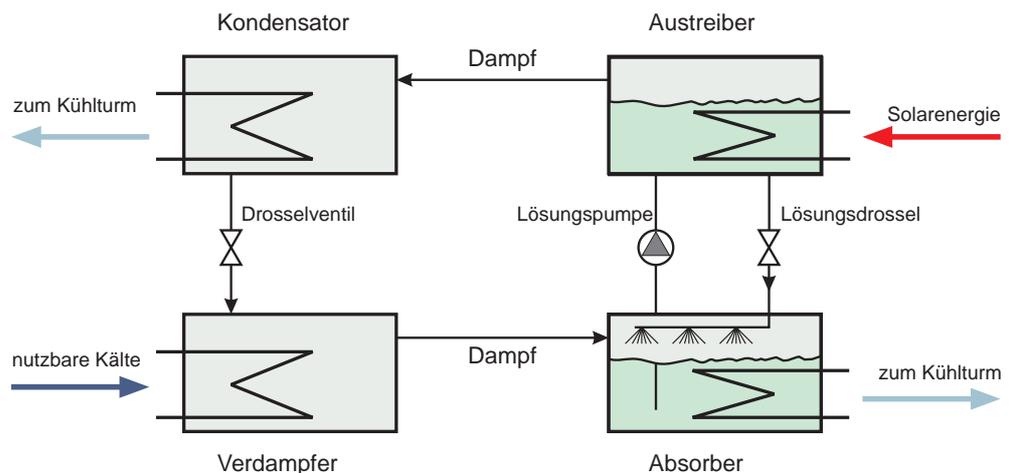


Fig. 34: Schematische Darstellung einer Absorptionskältemaschine, für die Herstellung von Kaltwasser. Der hauptsächliche Energieinput findet am Austreiber statt und kann über Solarenergie gedeckt werden. Elektrische Energie wird für die Lösungsmittelpumpe benötigt.

Bei der **Adsorptionstechnik** wird das Kältemittel Wasser an einem Festkörper wie Silikagel unter Freisetzung von Bindungswärme physikalisch adsorbiert. Die Desorption des angelagerten Wassers und die Druckerzeugung für die Kondensation erfolgt bereits bei niedrigen Antriebstemperaturen von **60 – 70 °C** (also für Solarkollektoren ein leichter zu erreichendes Temperaturniveau). Von geschlossenen Adsorptionskältemaschinen wird durch den Kreisprozess Kaltwasser von minimal **+5 °C** erzeugt (siehe Fig. 35).

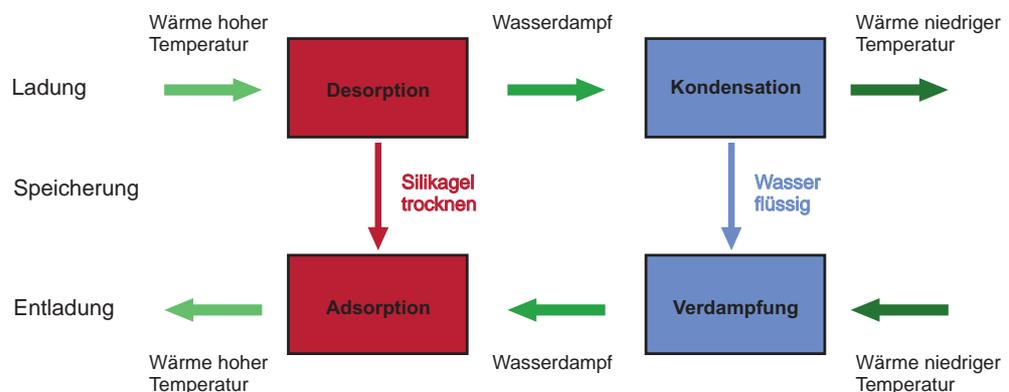


Fig. 35: Schematische Darstellung eines Adsorptionsprozesses. Die Desorption und die Verdampfung können mit solarthermisch bereiteter Wärme abgedeckt werden. Die Entnahme des Kaltwassers erfolgt am Kondensator.

Offene Adsorptionsanlagen verwenden die Zuluft direkt als Kälte­träger. Die physikalische Adsorption von Wasser an Silikagel oder Lithiumchlorid (LiCl) dient in diesem Prozess zur Trocknung der Luft. Gekühlt wird anschließend mit einer direkten Verdunstungs­befeuchtung der getrockneten und über einen Wärmetauscher vorgekühlten Luft. Die thermische Antriebsenergie ist zur Regeneration des Sorptionsmittels, d.h. zur Desorption des adsorbierten Wassers, erforderlich. Mit offener Adsorption lassen sich prozeßbedingt Lufttemperaturen nicht unter **+16 °C** erreichen. Die Antriebstemperaturen sind ebenfalls niedrig (**60 – 70 °C**).

In der nachfolgenden Fig. 36 sind nochmals die wichtigsten, solarthermisch betriebenen Prozesse zur solaren Kühlung zusammengefasst.

Technologie	Absorptionskälte Wasser-Lithiumbromid	Absorptionskälte Ammoniak-Wasser	Geschlossene Adsorption H ₂ O-Silikagel	Offene sorptionsgestützte Klimatisierung
Kältemittel	H ₂ O	NH ₃	H ₂ O	-
Sorptionsmittel	LiBr	H ₂ O	Silikagel	Silikagel
Kälte­träger	Wasser	Wasser-Glykol	Wasser	Luft
Kälte­temperaturbereich	+6 bis +20 °C	-60 bis +20 °C	+6 bis +20 °C	+16 bis +20 °C
Heiztemperaturbereich	90 bis 120 °C	100 bis 140 °C	55 bis 100 °C	55 bis 100 °C
Kühlwassertemperatur	30 - 50 °C	30 - 50 °C	25 - 35 °C	nicht erforderlich
Kälte­leistungsbereich pro Einheit	40 - 7000 kW	10 - 10000 kW	70 - 350 kW	6 - 300 kW
Leistungszahlen [-]	0.6 - 0.7	0.6 - 0.7	0.6 - 0.7	0.5 - 1.0
Investitionskosten pro kW Kälte­leistung	700 €/kW [200 kW] 1200 €/kW [50 kW]		600 - 1200 €/kW	~1200 €/kW

Fig. 36: Übersicht über solarthermisch beheizbare Kälte- und Klimatisierungsverfahren

II.2.6 Anwendungsgebiet – Prozesswärme

Betrachtet man den Energieverbrauch der Sektoren Industrie, Transport, Haushalte und den Dienstleistungssektor, so wird deutlich, dass in den OECD-Ländern die Industrie, knapp gefolgt von Transport mit rund 30 % den höchsten Anteil am Energieverbrauch aufweist. Bedingt durch die Tatsache, dass lange Zeit fossile Energie billig und scheinbar unbegrenzt zur Verfügung stand, wurden bisher in Gewerbe- und Industriebetrieben nur bescheidene Anstrengungen unternommen, fossile Energieträger durch erneuerbare Energieträger zu ersetzen. Die Nutzung der Sonnenenergie für gewerbliche und industrielle Produktionsprozesse sowie zur Beheizung von Produktionshallen blieb bisher auf wenige Anwendungen beschränkt.

Weltweit wurden im Rahmen des IEA SHC Task 33/IV⁸ mehr als 60 Anlagen mit einer installierten Leistung von 42 MW_{thermisch} entsprechend 60.000 m² Kollektorfläche im Industrie- und Gewerbebereich dokumentiert [Müller et al. 2004]. Aus dieser detaillierten Dokumentation ist ersichtlich, dass derzeit die wesentlichen Einsatzbereiche für solarthermische Anlagen in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, in der Textil- und Chemieindustrie sowie bei einfachen Waschprozessen (z.B. Autowaschanlagen) liegen. Dies liegt vor allem an den niedrigen Temperaturniveaus, die für die Prozesse dieser Branchen erforderlich sind. Die notwendigen Prozesstemperaturen liegen im Bereich von 30°C bis maximal 90°C, weshalb hauptsächlich Flachkollektoren eingesetzt werden, die bis zu diesem Temperaturbereich einen guten Wirkungsgrad aufweisen. Neben der Prozesswärmebereitstellung wird Solarwärme auch zur Beheizung von Produktionshallen genutzt.

Fig. 37: Prozesse mit dem größten Potenzial für solarthermische Anwendungen

[Weiss et al., 2005]

Industriesektor	Prozess	Temperaturniveau [°C]
Lebensmittel und Getränke	Trocknen	30 - 90
	Waschen	40 - 80
	Pasteurisieren	80 - 110
	Kochen	95 - 105
	Sterilisieren	140 - 150
	Wärmebehandlung	40 - 60
Textilindustrie	Waschen	40 - 80
	Bleichen	60 - 100
	Färben	100 - 160
Chemieindustrie	Kochen	95 - 105
	Destillieren	110 - 300
	Div. chem. Prozesse	120 - 180
Alle Sektoren	Vorwärmung von Kesselwasser	30 - 100
	Beheizung von Industriehallen	30 - 80

Aufgrund der geforderten Temperaturniveaus aus den Anwendungsbereichen der Fig. 37 leitet sich ein Forschungsbedarf an kostengünstigen und robusten Mitteltemperaturkollektoren, mit Austrittstemperaturen von 120 bis 250°C ab. Diesem Aspekt wurde ebenso im Rahmen des IEA SHC Task 33 Rechnung getragen und die Entwicklung eines konzentrierenden Kollektors (Fig. 38) begonnen [Weiss et al., 2005].



Fig. 38: Parabolrinnenkollektor mit Abdeckung [Weiss et al., 2005].

⁸ IEA SHC Task 33 ... International Energy Agency, Solar Heating and Cooling, Task 33 - Solar Heat for Industrial Processes

II.2.7 Anwendungsgebiet – solare Stromerzeugung mittels Photovoltaik

Der Begriff **Photovoltaik** (PV) leitet sich vom griechischen Wort für Licht (phos) und der Einheit der elektrischen Spannung (Volt) ab.

Solarzellen (oder **photovoltaische Zellen**) wandeln die Strahlungsenergie des Sonnenlichts direkt in elektrische Energie. Photovoltaik-Anlagen unterscheiden sich damit in Funktionsweise und äußerem Erscheinungsbild von einem thermischen Solarkollektor, der die Strahlung der Sonne in Wärmeenergie (für Heizung und Warmwasser) verwandelt.

Ausrichtung Photovoltaische Zellen werden in Modulen normalerweise auf Dachflächen oder in der Fassade in das Gebäude integriert. Eine Ausrichtung der Module nach Süden mit einem Neigungs- oder Anstellwinkel von etwa 30° liefert im Jahresmittel die größten Stromerträge. Bei der vertikalen Anordnung an Ost- und Westfassaden können noch etwa 60 % der maximalen Einstrahlungswerte genutzt werden. Eine Nachführung der PV-Anlage mit dem Sonnenlauf ist, aufgrund des hohen diffusen Lichtanteils von etwa 50 % in Mitteleuropa, in der Regel nicht wirtschaftlich.

Fig. 39: Energieautarke Schutzhütte Schiestlhaus am Hochschwab (2.154 m) als Beispiel einer gelungenen architektonischen Integration der PV-Module in die Fassade.



Aufbau Die weitaus meisten Solarzellen bestehen aus Silizium. **Mono- und polykristalline Siliziumzellen** haben heute einen Marktanteil von etwa 80 %. Sie werden als 0,3 mm dicke und 10 cm große Scheiben aus Kristallblöcken herausgesägt und weisen einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad auf (siehe Fig. 42).

Amorphe Siliziumzellen werden dagegen materialsparend in einer Dicke von wenigen tausendstel Millimetern auf ein Substrat⁹, aufgedampft. Ihr Wirkungsgrad liegt deutlich niedriger (siehe Fig. 42) als jener von kristallinen Siliziumzellen.

Fig. 40: polykristalline Silizium-Solarzellen in einem Solarmodul (Vorderseite)



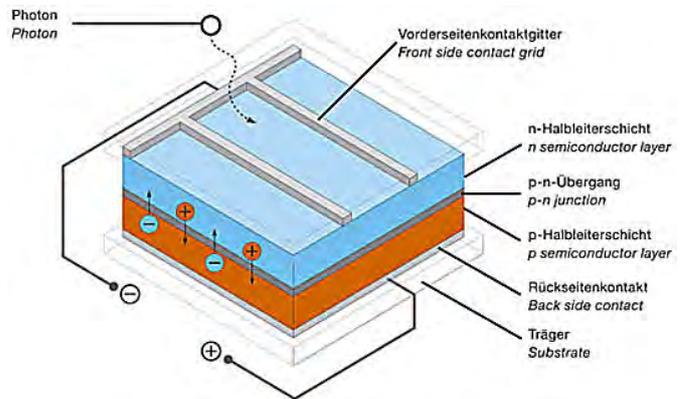
⁹ Als Substrat oder Trägermaterial kann Glas, Metallblech, Kunststoff oder auch ein anderes Material verwendet werden.

Photovoltaischer Effekt

Die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie in einer Solarzelle beruht auf dem bereits 1839 von dem französischen Physiker Alexandre Edmond Becquerel entdeckten **photovoltaischen Effekt**.

Fig. 41: Funktionsschema einer Solarzelle

Bildquelle: PVACCEPT, <http://www.pvaccept.de/>



Zwei Schichten eines Halbleiters (z.B. Silicium) werden durch „gezieltes Verunreinigen“ (Dotieren) mit unterschiedlichen Fremdatomen (z. B. Phosphor, Bor) so beeinflusst, dass eine Teilschicht negativ und die andere positiv leitend wird. Die Grenzschicht zwischen den beiden Halbleitern ist der sogenannte p-n-Übergang, der das Kernelement von Solarzellen bildet. In ihm besteht ein elektrisches Feld. Wird der p-n-Übergang mit Lichtenergie (Photonen) bestrahlt, entstehen durch Lichtabsorption freie Ladungsträger (negative Elektronen und positive „Defektelektronen“). Diese werden durch das elektrische Feld bewegt und erzeugen eine elektrische Spannung. Durch metallische Kontakte an beiden Seiten der Zelle und Anschluss eines Verbrauchers kann der entstandene elektrische Strom dann abgenommen werden (Fig. 41).

Leistungsangaben/ Moduldaten

Um PV-Module und –Systeme miteinander vergleichen und eine Auswahl treffen zu können, ist es notwendig, die wichtigsten Leistungsangaben zu kennen. Sie werden in drei wesentliche Faktoren unterteilt:

- Wirkungsgrad
- Nennleistung
- Performance Ratio (PR)

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad bezeichnet, welchen Anteil der Sonnenstrahlung eine Solarzelle in elektrische Leistung umsetzen kann, und wird in Prozent ausgedrückt. Ein Teil der Energie wird in Wärme umgesetzt (Aufheizung der Module auf typischerweise 60°) und geht für die elektrische Energieumwandlung verloren. Praktisch bedeutet ein Wirkungsgrad von 10 Prozent, dass 1 m² Modulfläche bei senkrechtem Lichteinfall eine elektrische Leistung von 100 Watt (W) erzeugt.

Die Wirkungsgrade unterschiedlicher Solarzellentypen können Fig. 42 entnommen werden.

Fig. 42: Typische Wirkungsgrade von Solarzellen

Solarzellentyp	Zellwirkungsgrad [%]
Monokristallines Silizium	15 -17
Polykristallines Silizium	14-15
Amorphes Silizium	5-7



Nennleistung	Ein photovoltaisches System wird durch seine Spitzenleistung in “Watt peak” (Wp) charakterisiert. Diese Nennleistung gibt das Modul bei direkter, senkrechter Sonneneinstrahlung einer Intensität von 1000 W/m ² und definiertem Sonnenspektrum (AM 1,5 siehe Fig. 4) bei einer Zelltemperatur von 25°C ab. Ein Modul hat typischerweise eine Leistung von 10 bis 100 Wp. Je nach Zell- bzw. Modultyp benötigt eine Anlage mit 1 kWp Leistung eine Fläche von 9 bis 20 m ² .
Faustregel:	10 m ² PV-Module für 1 kWp Leistung
Performance Ratio	Die Performance Ratio (PR) ist eine Angabe über den Ertrag des Systems im Verhältnis zum Ertrag eines idealen, verlustfreien Systems mit gleicher Auslegung, Nennleistung und Ortsangabe. Sie spiegelt die Energieeffizienz aller Komponenten (Modul, Wechselrichter, Verkabelung, etc.) im Zusammenspiel wider, ist aber unabhängig von Wirkungsgrad und Ausrichtung der Module. Die PR liegt bei modernen Anlagen bei 0,7 bis 0,8. Eine PR von 0,8 beispielsweise bedeutet, dass das System 20 % Ertrag „verschenkt“. Verschattung und Verschmutzung, aber auch zu hohe Modultemperatur bewirken diese Minderung der Leistung.
autarker Betrieb	PV-Anlagen können autark oder als netzgekoppelte Systeme betrieben werden. Einsatzgebiete für autarke Inselösungen sind unter anderem die Stromversorgung von Alm- und Schutzhütten, von Funkrelaisstationen oder Parksäulen. Autarke Anlagen benötigen Batterien als Energiespeicher. Für stationäre Photovoltaikanlagen werden in der Regel Bleibatterien verwendet. Der Ladewirkungsgrad einer Bleibatterie liegt bei ca. 90 %. Das funktionsgerechte Aufladen der Batterie wird durch einen elektronischen Laderegler erreicht. Er schaltet bei Erreichen der Ladeschlussspannung automatisch den Ladestrom ab und bei Unterschreiten der Mindestspannung wieder ein. Ein elektronischer Tiefladeschutz schützt die Batterie vor zu starker Entladung.
netzgekoppelter Betrieb	Beim Netzparallelbetrieb wird der von den Solargeneratoren erzeugte Strom in das öffentliche Netz eingespeist. Der Solarwechselrichter ist das Bindeglied zwischen Solarzellen und dem Wechselstromnetz. Der Wechselrichter formt den Modul-Gleichstrom in netzsynchronen 230-Volt-Wechselstrom um. Netzgekoppelte Anlagen benutzen das öffentliche Stromnetz als Speicher. Steht mehr Solarstrom zur Verfügung als im eigenen Haus gerade benötigt wird, so wird der Überschuss ins Netz eingespeist. Umgekehrt wird, in Schlechtwetterperioden und in der Nacht, Strom aus dem Netz zur Versorgung des Haushalts herangezogen.

II.3 Kernaussagen und Literatur zum Thema

Das zentrale Element in der aktiven Solarthermie ist der Sonnenkollektor. Seine thermischen Eigenschaften bzw. sein Wirkungsgrad wird mit der sogenannten Kollektorkennlinie beschrieben.

Die Ausrichtung (Himmelsrichtung und Aufstellwinkel) eines Kollektors ist essenziell für einen maximalen Ertrag. Die optimale Ausrichtung lässt sich aufgrund der gegebenen Bedingungen am Standort (Solarstrahlung, Verschattung) bestimmen. Je nach Anwendung und Priorität kann davon aber auch abgewichen werden (siehe z.B. Fassadenkollektor).

Wesentlich für einen hohen solaren Deckungsgrad in einem Raumheizungssystem ist das Zusammenwirken der Parameter: Heizlast des Gebäudes, Speichervolumen und Kollektorfläche. Für eine solare Volldeckung sind die benötigten Speichergrößen und Kollektorflächen aber unwirtschaftlich hoch.

Ein effizienter Einsatz von Solaranlagen ist in Form von teilsolaren Raumheizungssystemen möglich. Die Grundlast wird hier von einer Solaranlage abgedeckt, während für die Spitzenlasten z.B. ein Biomassekessel eingebunden ist. Wichtig ist hier auf eine abgestimmte Hydraulik samt passendem Wärmeabgabesystem zu achten.

Biomasse-Wärmenetze im Nahbereich sind in ganz Österreich weit verbreitet und bieten sich für eine Einbeziehung der Solarthermie an. Auch hier ist auf die optimale Auslegung der solaren Unterstützung zu achten. Effizient gestaltete Systeme in Kombination mit thermischen Solaranlagen sind bereits häufig realisiert.

Der Solaranlageanteil der Biomasse-Wärmenetze wird auf 90 % der Sommerlast ausgelegt. Damit sind solare Deckungsgrade im Bereich von 15 % (Raumwärme und Warmwasser) möglich.

Solare Schwimmbaderwärmung mit Absorbermatten ist die kostengünstigste und einfachste Art um solare Energie einzusetzen. Amortisationszeiten unter fünf Jahren sind durchaus möglich.

Solare Kühlung wird zurzeit stark weiterentwickelt und beginnt sich langsam zu positionieren. Für die verfügbaren solarthermisch beheizbaren Kälte- und Klimatisierungsverfahren sind teils hohe Kollektortemperaturen notwendig, die nur von wenigen Kollektortypen erreicht werden. Die Adsorptionsverfahren sind schon mit geringeren Temperaturen (ab ca. 60°C) möglich, erreichen aber auf der kalten Seite keine tiefen Temperaturen (minimal ca. +6°C).

Prozesswärme ist ein potentialträchtiges Thema für die Zukunft. Erste Studien laufen bereits, um die Prozesse mit dem größten Potential für solarthermische Anwendungen zu ermitteln. Weitere Forschungen sind notwendig um möglichst kostengünstige Mitteltemperaturkollektoren (bis ca. 300°C) zu entwickeln.

Die Photovoltaik zur solaren Stromerzeugung, arbeitet mit Wirkungsgraden im Bereich 6 bis 17 % (Solarthermie mit 40 – 60 %) und die Kosten liegen um einen Faktor 5 bis 8 höher als bei der Solarthermie. Wirtschaftlichkeit wird somit nur unter besonderen Umständen zu erreichen sein (Förderung über Einspeisetarife).

Es sind einige EDV – Werkzeuge zur Berechnung von solarthermischen Anlagen am Markt erhältlich (z.B. TRNSYS, SHWwin). Die Einarbeitung ist bei vielen aber sehr zeitaufwendig und oft mühsam.

Literatur

Heimrath R., 2004: Simulation, Optimierung und Vergleich solarthermischer Anlagen zur Raumwärmeversorgung für Mehrfamilienhäuser, Dissertation am Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz

Bergmann I., 2002: Fassadenintegration von thermischen Sonnenkollektoren ohne Hinterlüftung, AEE Intec, Gleisdorf

Streicher W., 2007: Sonnenenergienutzung, Vorlesungsskriptum, Technische Universität Graz (www.iwt.tugraz.at)

Streicher W., 2006: SHWwin, Programm zur Auslegung solarthermische Heizungsanlagen, freier Download von www.iwt.tugraz.at, Technische Universität Graz

Jenni J., 1993: Sonnenenergieanlagen mit hohem solaren Deckungsgrad für Warmwasser und Heizung, Jenni Energietechnik AG, Oberburg bei Burgdorf, Schweiz.

Streicher W., Koch M., Fink C., 1998: Betriebsergebnisse der ersten Heizperiode des Nullheizenergiehauses Nader, Tagungsbeitrag 8. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, Deutschland.



Koch M., 1999: Meßdatenerfassung- und Analyse des Nullheizenergiehaus Nader, Diplomarbeit am Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz

Faninger G., 2007: Der Solarmarkt in Österreich 2006, Erhebung für die Internationale Energie-Agentur (IEA), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Streicher W., Fink C., Heimrath R., Heinz A., Riva R., Mach T., 2001: Solarunterstützte Wärmenetze, Projekt der Programmlinie „Haus der Zukunft“, Institut für Wärmetechnik der Technische Universität Graz.

Fink C., Heimrath R., 2007: MoSol-Net, Entwicklung von modular erweiterbaren technischen Lösungen, die eine Wärmeversorgung von Neubaugebieten über solar unterstützte Nahwärmenetze ermöglichen; AEE-Intec und Institut für Wärmetechnik der Technische Universität Graz, im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Endbericht, Gleisdorf.

Wagner A., 1994: So baue ich eine Solaranlage, Wagner & Co. Solartechnik GmbH, Cölbe, Deutschland.

Henning H. M. (ed.), 2004: Solar Assisted Air-Conditioning in Buildings, A Handbook for Planners, ISBN 3-211-00647-8, Springer Verlag Wien - New York (www.iea-shc-task25.org)

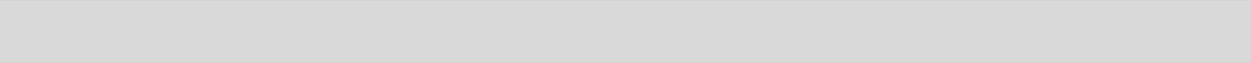
Wagner W., Jähnig D., 2006: Modularer Energiespeicher nach dem Sorptionsprinzip mit hoher Energiedichte (MODESTORE), AEE-Intec im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Endbericht, Gleisdorf.

Müller T. et al., 2004: PROMISE – Produzieren mit Sonnenenergie, Projekt im Rahmen der Programmlinien „Fabrik der Zukunft“, AEE-Intec im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Endbericht, Gleisdorf.

Weiss W. et al., 2005: Medium Temperature Collectors, State of the Art Report within Task 33/IV, Subtask C (www.iea-ship.org)

III. Heizungssysteme für NEH und PH

NEH – Niedrigenergiehäuser
PH - Passivhäuser



Dr. Richard Heimrath

III.1 Anforderungen an Heizungssysteme für NEH

III.1.1 Gebäudetechnische Konzeption

In den letzten Jahrzehnten bewegte sich der Technikeinsatz in Gebäuden zwischen Technologie und Technophobie. Beide Extreme haben in der Regel negative Konsequenzen auf die Bauweise. Ein Mindestmaß an Gebäudetechnik ist grundsätzlich notwendig, da mit baulichen Maßnahmen allein, im gemäßigten Klima Österreichs, ein behagliches Innenklima nicht hergestellt werden kann.

bauliches
Gebäudekonzept

Durch Optimierungen des baulichen Gebäudekonzepts lassen sich Energieeinsparungen von bis zu 80 % im Vergleich zu konventionellen Bauweisen erzielen. Eine weitere Reduktion mit baulichen Maßnahmen ist nur mit überproportionalem Aufwand möglich.

technisches
Gebäudekonzept

Hier lassen sich nur mit gebäudetechnischen Lösungen weitere Einsparpotentiale erschließen. Dies können Maßnahmen wie die Installation von Wärmerückgewinnungsanlagen, der Einsatz von thermischen Solaranlagen sein.

In weiterer Folge sollte der verbliebene Energiebedarf mithilfe von erneuerbaren Energieträgern gedeckt werden. Die Wärme- und Kältebereitstellung kann bspw. durch Nutzung von Erdwärme, Grundwasser, Photovoltaik usw. erfolgen. Auch effiziente Energiebereitstellungssysteme, mit besonders hohen Wirkungsgraden, wie Brennstoffzellen, Blockheizkraftwerken und Wärmepumpen können dazu beitragen, den Energieverbrauch eines Gebäudes gering zu halten.

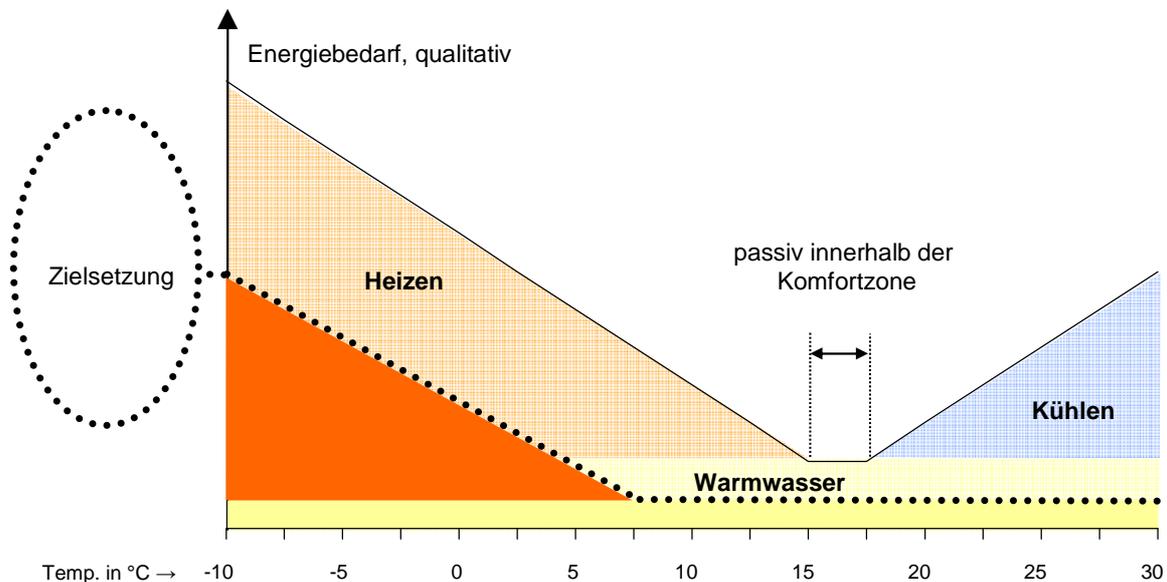


Fig. 43: Qualitativer Verlauf des Energiebedarfs eines Gebäudes, aufgetragen über der Außenlufttemperatur. Derzeitig üblicher Verbrauch (hell) und reduzierter, erstrebenswerter Energieverbrauch (dunkel). Bildquelle: [Wagner A. 2005], überarbeitet

In Fig. 43 ist der qualitative Verlauf des Energiebedarfs eines Gebäudes über der Außenlufttemperatur aufgetragen. Der derzeit übliche Energiebedarf von Gebäuden sieht sowohl bei geringern (Winter) als auch bei hohen Außenlufttemperaturen (Sommer) einen entsprechenden Energiebedarf für die Raumkonditionierung als auch die Warmwasserbereitung vor. Hinsichtlich der Raumkonditionierung besteht nur ein kleines Temperaturfenster, in dem das Gebäude auch ohne Einsatz von Gebäudetechnik die Komfortanforderung der Nutzer erfüllt.

Zielsetzung muss es nun sein, Gebäude so zu konzipieren das diese Phase ohne Einsatz der Gebäudetechnik bereits bei geringen Außenlufttemperaturen (passive Gewinne und minimierte Verluste) beginnt und auch in der warmen Jahreszeit keine aktive Kühlung (Speichermasse, passive Kühlung, Verschattung,...) von Nöten ist.

Zur Gewährleistung der gewünschten Raumtemperatur und zur Sicherstellung der benötigten Raumlüftung sind technische Systeme (Gebäudetechnik) erforderlich. Für eine richtige Konzeptauswahl ist es wichtig, die Anforderungen des Nutzers bzw. des Bauherren zu kennen. Je präziser diese Anforderungen feststehen, umso besser kann ein passendes Gebäudetechnikkonzept erstellt werden.

Generell kann die Gebäudetechnik in drei Teilbereiche gliedert werden:

- Wärme- / Kälteabgabesystem
- Wärme- / Kälteverteilsystem
- Wärme- / Kältequellensystem

Diese Teilbereiche werden nun nachfolgenden im Detail erörtert.

III.2 Wärme- / Kälteabgabesysteme

Die Wärmeverluste (bzw. Wärmegewinne) eines Raums müssen durch das Heizsystem (bzw. Kühlsystem) ausgeglichen werden. Die Wärme (Kälte) wird in der Regel zentral erzeugt, über Wasser oder Luft zum Raum transportiert und mit Wärmeabgabesystemen (Kälte-) an den Raum abgegeben. In Ausnahmefällen kann die Wärme auch direkt im Raum erzeugt und von der Wärmequelle abgegeben werden, z.B. Gasstrahler für große Hallen, Kamine in Wohngebäuden oder Elektroheizungen.

Wärme- und Kälteabgabesysteme unterscheiden sich durch folgende Punkte:

- Art der Wärmeabgabe (Strahlung vs. Konvektion)
- Vorlauf- und Rücklauftemperatur
- Regelung

Hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit für den Nutzer ist die Wärme- bzw. Kälteabgabe über Strahlung, denn konvektive Luftbewegungen können als unangenehm empfunden werden. Wärme- oder Kälteabgabesysteme können auch Strahlungsasymmetrien¹⁰ oder auch einen Kalt- bzw. Warmluftabfall¹¹ ausgleichen. Grundsätzlich kann zwischen folgenden Wärmeabgabesystemen unterschieden werden:

- Flächenheizung (hoher Strahlungsanteil)
- Radiatoren (mittelgroßer Strahlungsanteil)
- Konvektoren (geringer Strahlungsanteil)
- Luftheizung (kein Strahlungsanteil)

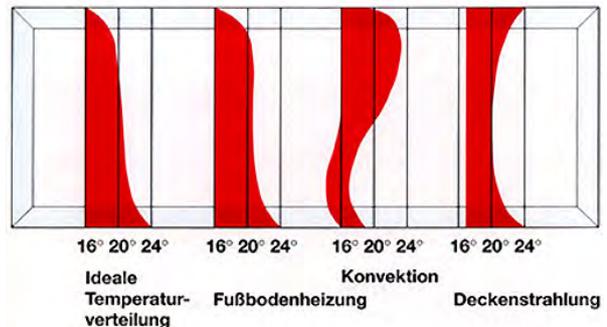
In der Fig. 44 ist die vertikale Temperaturverteilung für unterschiedliche Wärmeabgabesysteme angeführt. Im Vergleich zur idealen Temperaturverteilung (beste thermi-

¹⁰ Strahlungsasymmetrische Verhältnisse liegen dann vor, wenn Oberflächen zueinander in unterschiedlichen Intensitäten abstrahlen. Dieses Phänomen wird vom menschlichen Körper als unbehaglich empfunden, weil er zur kälteren Fläche eine negative Strahlungsbilanz aufweist. Ein behaglicher Zustand liegt dann vor, wenn er an alle Flächen etwa gleich viel Strahlung ausstrahlen und empfangen kann. Dies liegt vor, wenn die Temperatur dieser Flächen zur Körperoberflächentemperatur eine geringe Abweichung aufweist.

¹¹ Starke Temperaturdifferenzen zwischen Raumschließungsflächen oder Heizflächen und Raumluft (Strahlungsasymmetrien) können zu Kaltluftabfall oder Warmluftabfall und damit verbundenen Zuglufterscheinungen führen.

sche Behaglichkeit) zeigt sich, dass Flächenheizungen mit hohem Strahlungsanteil nahe an der idealen Temperaturverteilung liegen.

Fig. 44: vertikale Temperaturverteilung unterschiedlicher Wärmeabgabekonzepte



III.2.1 Flächenheizung

Flächenheizungen geben ihre Wärme über großflächige Heizelemente ab. Sie erlauben bei gleicher Behaglichkeit niedrigere Raumlufttemperaturen als Systeme die mittels Konvektion Wärme abgeben. Dies führt speziell bei hohen Luftwechselraten zu einem geringeren Energieverbrauch. Als Heizflächen dienen meistens die Raumschließungsflächen, d.h. entweder die Raumdecken, Wände oder Fußböden. Aufgrund der hohen Masse sind Flächenheizsysteme meist träge in ihrer Regelbarkeit. Aus physiologischen Gründen sollten die Oberflächentemperaturen in niedrigen Temperaturbereichen, d.h. unter 30°C bleiben.

III.2.2 Radiatoren

Radiatoren bestehen aus glattem oder profiliertem Stahlblech. Die Vorderseite eines Radiators gibt die Wärme überwiegend in Form von Strahlung ab, die übrigen Flächen überwiegend konvektiv. Der konvektive Anteil der Wärmeabgabe nimmt mit der Bautiefe des Radiators zu. Aufgrund der geringen enthaltenen Wassermenge und der geringen Speichermasse des Radiators selbst, sind sie schnell regelbar.

III.2.3 Konvektoren

Konvektoren bestehen aus dicht mit Blechlamellen besetzten Rohren, die meist in schachtartige Nischen eingebaut sind, oder sich hinter einer Verblendung befinden. Die Wärmeabgabe erfolgt hauptsächlich über Konvektion. Unterflurkonvektoren ermöglichen eine Erwärmung raumhoher Verglasungen ohne Verwendung störender Heizkörper. Problematisch sind dabei häufig die Reinigung der Heizkörperschächte und die Staubaufwirbelung durch den Konvektionsstrom.

III.2.4 Luftheizung

Bei der Luftheizung (alternativ: Konvektionsheizungen) wird dem Objekt erwärmte Luft zugeführt. Luftheizungen zeichnen sich durch eine gute Anpassung an einen wechselnden Wärmebedarf (schnelles Aufheizen und rasches Anspringen auf Regelvorgänge) aus. Weniger günstig ist eine vermehrte, durch die verstärkte Luftbewegung verursachte, Staubaufwirbelung. Die Luft kann zentral oder dezentral erwärmt werden. Luftbasierende Verteilsysteme benötigen aufgrund der geringeren Wärmekapazität der Luft (vergleiche mit Kapitel III.3.3) große Luftmengen und daher große Leitungsquerschnitte und eine relativ hohe Transportenergie. Sie sollten daher nur in sehr gut wärmegeämmten und luftdichten Gebäuden eingebaut werden. Häufig zur

Anwendung kommen Luftheizungen hauptsächlich bei Gebäuden, die im Passivhauskonzept errichtet werden.

Beim Passivhauskonzept, wird unter der Verwendung eines leicht erhöhten hygienischen Luftwechsels (max. 0,8 facher Luftwechsel) versucht, die gesamte zum Heizen notwendige Energie über die Luftheizung in das Gebäude zu bringen. Die dabei maximal zu transportierende Energie (maximale Zulufttemperatur ist 55°C) ergibt umgerechnet auf die Wohnnutzfläche eine spezifische Heizlast von 10-14 W/m² (vergleiche mit dem Beispiel in Kapitel III.3.3).

Liegt die Heizlast unter dieser Grenze von 14 W/m², kann ein zusätzliches Heizwärmeverteilssystem und Abgabesystem eingespart werden. In diesem Fall kann die Wärme über die Luftheizung eingebracht werden, wodurch kein zusätzliches wasserbasiertes System erforderlich ist.

Mithilfe eines Umluftsystems könnten noch höhere Heizleistungen transportiert werden, allerdings ginge hier der entstehende Kostenvorteil, der durch die Einsparung eines zweiten Systems entsteht, durch größere Kanalquerschnitte sowie einen höheren Regelungs- und Transportaufwand wieder verloren.

Eine Zusammenfassung der wesentlichen Eigenschaften der Wärme- bzw. Kälteabgabeflächen sind in der Fig. 45 zu finden.

Fig. 45: Eigenschaften verschiedener Wärmeabgabesysteme

		Radiator	Konvektoren	Fußbodenheizung	Deckenheizung	Wandheizung	Betonkernaktivierung	Luftheizung
Investitionskosten ¹⁵⁾	€/m ²	35 - 60	50 - 100	50 - 85	70 - 120	120 - 230	40 - 95	(5) 60 / 105
Systemtemperaturen ¹⁾	°C	bis 90 / 70	bis 90 / 70	bis 40 / 35	bis 40 / 35	bis 40 / 35	bis 90/75	bis 90 / 70 ⁴⁾
Heizwärmebedarf ²⁾	W/m ² NGF	> 100	bis 100	bis 70	bis 50	bis 80	bis 40	bis 30
Wärmeabgabe bei 40°C ³⁾	W/m ²	530	200	70	40	130	45	5 ⁵⁾
Strahlung ¹³⁾ / Konvektion ¹⁴⁾	%	50/50	20/80	90/10	90/10	90/10	90/10	0/100
Hinweise	-	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)

- 1) maximale Vorlauf und Rücklauftemperaturen für das Heizungssystem
- 2) maximal deckbarer Heizwärmebedarf des Gebäude je m² Nettogeschosßfläche
- 3) Wärmeabgabe des Heizungssystems je m² des Heizungssystems
- 4) Vor- und Rücklauftemperatur - wasserseitig / luftseitig maximal 55°C Lufttemperatur empfohlen
- 5) Wärmeabgabe des Luftsystems bei einem Luftwechsel von 0.4h⁻¹
- 6) als Flachheizkörper gut zur Sanierung geeignet
- 7) ggf. Hygieneprobleme
- 8) Kaltluftabfall möglich
- 9) ggf. unbehaglich
- 10) -
- 11) Selbstregelleffekt
- 12) -
- 13) unter Wärmestrahlung versteht man den Wärmetransport über elektromagnetische Wellen
- 14) unter Konvektion versteht man den Wärmetransport mit Hilfe eines Mediums (hier Luft)
- 15) Kosten je m² Nettogeschosßfläche (NGF) - nicht je m² verlegter Heizfläche

Bei der Nutzung der Wärmeabgabesysteme als Kälteabgabesysteme gelten dieselben Überlegungen hinsichtlich der Einhaltung physiologischer Behaglichkeitskriterien. Auch hier gilt es die Grenzen hinsichtlich Oberflächentemperaturen und Luftströmungsgeschwindigkeiten einzuhalten, da es ansonst zu Unbehaglichkeit kommen kann. In Fig. 46 sind die wesentlichen Eigenschaften verschiedener Kälteabgabesysteme zusammengefasst.

Fig. 46: Eigenschaften verschiedener Kälteabgabesysteme

		Radiator	Konvektoren	Fußboden- kühlung	Decken- kühlung	Wand- kühlung	Betonein- aktivierung	Luftkühlung
Investitionskosten	€/m ²	35 - 60	50 - 100	50 - 85	70 - 120	120 - 230	40 - 95	(5) 60 - 105
Vorlauftemperaturen ¹⁾	°C	-	-	16 - 22	10 - 16	16 - 22	16 - 20	6 - 10
Kühlleistung ²⁾	W/m ²	-	-	25	80	60	40	20 (100)
Hinweise	-	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)

- 1) Vorlauftemperaturen die typischer Weise für das System verwendet werden
- 2) spezifische Kühlleistung je m² Nettogeschoßfläche, die mit dem beschriebenen Kühlsystem erreicht werden kann
- 3) untypisch
- 4) untypisch
- 5) ggf. unbehaglich
- 6) Taupunktregelung notwendig
- 7) ggf. Taupunktregelung
- 8) ggf. Taupunktregelung, keine abgehängten Decken
- 9) ggf. Kondensatableitung notwendig

III.3 Wärme- Kälteverteilungssystem

III.3.1 Verteilung im Gebäude

Für die gängigsten Varianten der Warmwasserheizung ergeben sich für den Wohnungsbau verschiedene Möglichkeiten der Leitungsführung zwischen Wärmeerzeuger bzw. Wärmequelle und Wärmeabgabefläche:

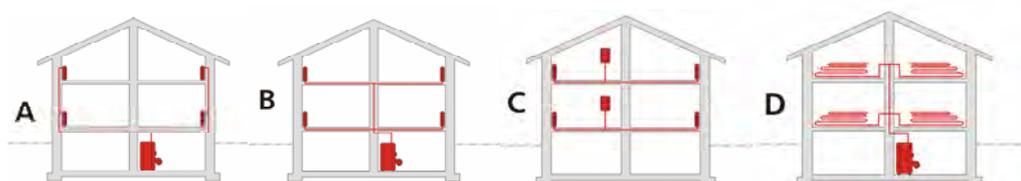


Fig. 47: Leitungsführung von Warmwasserheizungen; Bildquelle: <http://www.baunetz.de/>

A - Das klassische System, das noch häufig im Gebäudebestand anzutreffen ist, ist die Verlegung der Rohrleitungen in Außenwandschlitz bis zu den Heizkörpern unter den Fenstern. Nach heutigen Wärmeschutzvorschriften ist dieses System kaum noch zu realisieren.

B - Heute werden die Steigstränge in der Regel zentral im Gebäude in einem Schacht angeordnet. Die horizontale Verteilung erfolgt im schwimmenden Estrich. Die Wärmeverluste der Verteilung kommen den Räumen zu Gute.

C - Bei Etagenheizungen entfällt der Steigstrang. Die Verteilleitungen werden im Estrich als Ein- oder Zweirohrsystem bis zu den Heizkörpern geführt. Die Wärmeverluste der Verteilung kommen den Räumen zu Gute.

D - Bei Fußbodenheizungen erfolgt die vertikale Leitungsführung ebenfalls zentral über Steigstränge. Die Unterverteilung und die Aufteilung der einzelnen Heizkreise erfolgt in den Geschossen.

III.3.2 Verluste von Wärmeverteilnetzen

Die Heizanlagenverordnung [ÖNORM M 7580] schreibt für die Ausführung von Warmwasser- Zentralheizungen die Dämmung der Rohrleitungen vor. Auf der Grundlage einer Wärmeleitfähigkeit von $0,040 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ergeben sich die Dämmstoffdicken abhängig von der Nennweite des Rohres. Im Normalfall verdreifacht sich der Gesamtdurchmesser des Rohres.

Kupferrohre		Stahlrohre		Mindestdämmstoffdicke [mm]
Nennweite DN	Außendurch- messer	Nennweite DN	Außendurch- messer	
bis 15	bis 18 mm	bis 10	bis 17,2 mm	20
20 bis 25	bis 28 mm	15 bis 20	bis 26,9 mm	22
32 bis 40	bis 42 mm	25 bis 32	bis 42,4 mm	28
50	$\geq 54 \text{ mm}$	40 bis 50	bis 60,3 mm	38
65 bis 100	bis 114 mm	65 bis 100	bis 114,3 mm	65

Fig. 48: Rohrdurchmesser, empfohlene Dämmstoffdicke für Kupfer und Stahlrohre

- Die volle Dämmstoffdicke ist vorzusehen bei: Wärmeverteilungsleitungen in Keller, Außenwänden, Schächten und Kanälen, Wärmeverteilungsleitungen ohne Absperr-einrichtungen 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)
- Keine Dämmung: Wenn die Rohrleitungen die Funktion von Heizflächen übernehmen, kann die Dämmung entfallen.

Wärmeverluste im Wärmeverteilnetz erhöhen den notwendigen Heizenergiebedarf um 5 – 15 % (je nach Ausführung und Verlegung). Dieser Heizenergiebedarf kann nicht direkt den Verbrauchern¹² zugeordnet werden. Der Wärmeverlust von gut gedämmten Rohren liegt im Bereich von 5 bis 10 W/lfm Rohrleitung und kann aus der Fig. 49 entnommen werden.

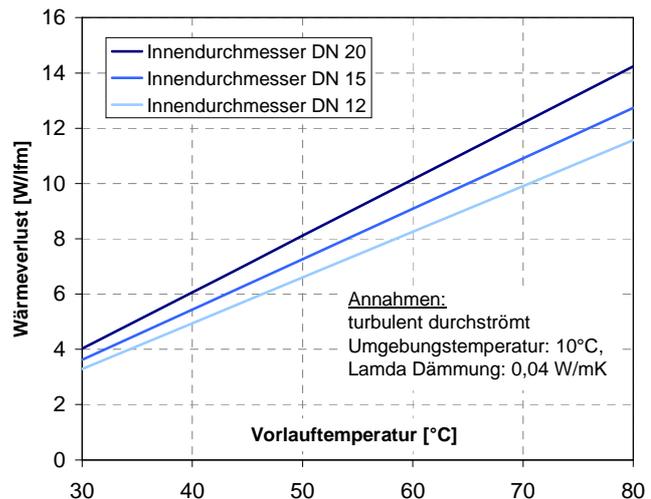


Fig. 49: Wärmeverluste von Rohrleitungen, voll gedämmt

¹² Wenn der Energiebedarf nicht direkt den Verbrauchern zugeordnet werden kann, führt das einerseits zu Ungenauigkeiten bei der Abrechnung, andererseits zur Wärmeabgabe in unbeheizten Gebäudebereichen (=Wärmeverluste).

III.3.3 Energiedichte von Wärmeverteilnetzen

Die Energiedichte in Wärmeverteilnetzen hängt stark vom verwendeten Wärmeträgermedium ab. In der Haustechnik werden hauptsächlich Luft und Wasser als Trägermedium verwendet.

Bei der Verwendung von **Luft** als Wärmeträgermedium sind anhand der physikalischen Stoffwerte und der maximal möglichen Temperaturen die Grenzen vorgegeben. Als maximale Zulufttemperatur sind ca. 55°C möglich, darüber kommt es zu einer Geruchsbelastung durch verschwelende Staubpartikel. Die maximal mögliche Strömungsgeschwindigkeit in den Rohrleitungen - ist aufgrund einer möglichen Lärmbelastigung - mit etwa 4 bis 6 m/s begrenzt. Durch diese Randbedingungen ergeben sich somit die erforderlichen Strömungs- Querschnitte.

Wird **Wasser** als Wärmeträgermedium eingesetzt, so kann hier von einer maximalen Temperatur von 90°C ausgegangen werden. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit beträgt bei Wasserrohren etwa 0,6 bis 0,8 m/s. Darüber kommt es auch hier zu unangenehmen Strömungsgeräuschen.

Zur Verdeutlichung der mit Wasser und Luft transportierbaren Wärmemenge ist in der Folge ein Berechnungsbeispiel angeführt.

Beispiel

Wärmetransport mit Luft und Wasser im Vergleich

Temperaturniveau Vorlauf: 60 °C
 Temperaturniveau Rücklauf: 40 °C
 Innendurchmesser Rohr: 20,4 mm
 Strömungsgeschwindigkeit: max. 0,8 m/s

Die übertragene Leistung errechnet sich mit: $Q = V \cdot c \cdot \rho \cdot \Delta T$

mit:

Q = Wärmebedarf [W]
 V = Volumenstrom [kg/m³]
 c = spez. Wärmekapazität [kWh/m³K]
 ρ = Dichte [kg/m³]
 ΔT = Temperaturdifferenz zwischen zu- und abströmenden Medium [K]

$$Q_w = (A \cdot v) \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot \Delta T = 21859 W$$

$$Q_L = (A \cdot v) \cdot c_L \cdot \rho_L \cdot \Delta T = 6,6 W$$

$$Q_w = Q_L \cdot 3312$$

Wasser: $c_w = 4,18 \text{ kJ/kgK}$, $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 4180 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ (**1,16 kWh/m³K**)

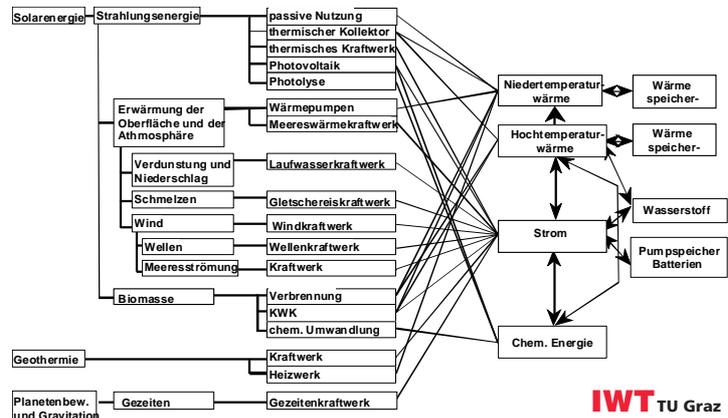
Luft: $c_L = 1,00 \text{ kJ/kgK}$, $\rho_L = 1,25 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 1,25 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ (**0,000361 kWh/m³K**)

Anhand des Beispiels wird ersichtlich, das aufgrund der unterschiedlichen Stoffeigenschaften (Dichte, spezifischen Wärmekapazität) das Medium Wasser eine um den Faktor 3300 höhere Wärmedichte aufweist als Luft (vergleiche mit dem Passivhauskonzept!).

III.4 Wärme- Kältequellensysteme

Die Wärme- oder Kältequellen lassen sich aufgrund ihrer Herkunft in ‚nicht regenerative Energieträger‘ (Heizöl, Erdgas...) und in ‚regenerative Wärmequellen‘ (Solarthermie, Geothermie, Biomasse...) unterteilen (siehe Fig. 50).

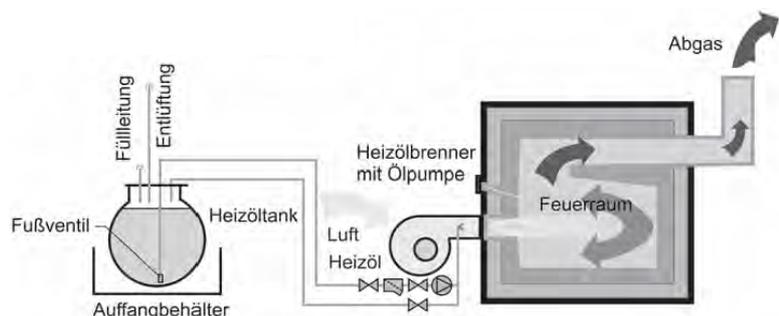
Fig. 50: Möglichkeiten zur Nutzung des regenerativen Energieangebots [Streicher W., 2007]



III.4.1 Ölbrenner

Mit dem flüssigen Energieträger Heizöl lässt sich Energie in besonders kompakter Form handhaben (Heizwert von etwa 12 kWh/kg). Für die Brennstofflagerung ist der Einsatz von Sicherheitseinrichtungen erforderlich, um auch bei möglichen Gebrechen an Heizölversorgungsanlagen jede Verunreinigung von Erdreich zu vermeiden. Heizölversorgungsanlagen werden deshalb häufig in öldicht ausgeführten Auffangwannen angeordnet, die bei Heizölaustritt die einzulagernde Heizölmenge aufnehmen können. Darüber hinaus kommen Warneinrichtungen zum Einsatz, welche Heizölaustritt in Auffangwannen registrieren. Die Verfeuerung von Heizöl erfolgt zumeist in Heizölbrennern (Fig. 51), welche bei Wärmebedarf gleichzeitig Heizöl und Verbrennungsluft ansaugen, einen Ölnebel erzeugen, und diesen elektrisch zünden. Die mit dem Heizölbrenner erzeugte Heizflamme entfaltet sich sodann in der Brennkammer (Feuerraum) eines Heizungskessels. [Pech, A. 2005]

Fig. 51: Schematische Darstellung eines Ölbrenners [Pech, A. 2005]



Hohe Temperaturen in der Brennkammer (um ~ 800 °C) und ausreichende Verweilzeiten des Brennstoffes im Brennkammerbereich begünstigen eine schadstoffarme Verbrennung. Nach Abschluss des Oxidationsprozesses werden die Abgase über Umlenkungen (sog. "Züge") und heizwasserumflossene Kühlflächen geleitet, wobei sie einen Teil ihres Wärmeinhaltes an das Heizwasser abgeben. Das abgekühlte Abgas gelangt sodann über einen Abgasstutzen und einen Abgasfang (Rauchfang) ins Freie.

Zur Vermeidung unerwünschter Wärmeabgabe von Heizkesseloberflächen an Heizräume werden Heizkessel mit einer wärmedämmenden Umhüllungen ausgerüstet.

Brennwerttechnik Bei der sogenannten Brennwerttechnik sind Abgastemperaturen erreichbar, die nur um 15°K über der Rücklauftemperatur des Heizsystems liegen. Bei einer Rücklauftemperatur am Kesselaustritt von +45°C wäre demnach eine Abgastemperatur von +60°C erreichbar. Bei dieser tiefen Abgastemperatur kondensiert der Wasserdampfanteil des Abgases bereits weitgehend, wobei dessen Verdampfungswärme (~11 % des Wärmeinhaltes von Heizöl) frei wird und zusätzlich zur Heizwassererwärmung genutzt werden kann. „Saurer Regen“¹³ entsteht bei Brennwerttechnik schon im Heizungskessel und im Abgasfang und kann dort bereits seine unheilvolle Wirkung entfalten, wenn man dieser nicht mit bestimmten technischen Maßnahmen begegnet:

- Einsatz korrosionsbeständiger Heizflächen im Kessel
- Anordnung von Kondensatsammelgefäßen an Heizkessel und Abgasfang
- Einsatz korrosionsbeständiger Materialien für den Abgasfang.

III.4.2 Erdgastherme

Erdgas Erdgas ist ein brennbares Naturgas, das in unterirdischen Lagerstätten vorkommt. Es tritt häufig zusammen mit Erdöl auf, da es auf ähnliche Weise entsteht. Erdgase bestehen hauptsächlich aus Methan, unterscheiden sich aber in ihrer weiteren chemischen Zusammensetzung. Die Zusammensetzung der Erdgase ist je nach Fördergebiet sehr unterschiedlich. Vor der Verwendung des Erdgases ist eine Aufbereitung erforderlich, wobei unerwünschte Bestandteile wie Schwefelwasserstoff, Wasser etc. im Zuge verschiedener Prozesse entfernt werden. Erdgas ist ein ungiftiges, brennbares, farb- und in der Regel geruchloses Gas mit einer Zündtemperatur von rund 600°C. Es ist leichter als Luft. Zur Verbrennung von 1 m³ Erdgas werden ungefähr 10 m³ Luft benötigt. Um eventuell austretendes Erdgas orten zu können, wird es mit einem Duftstoff versehen.

Verteilung Die Leitung und Verteilung von Erdgas erfolgt über Rohrleitungsnetze, die von privaten oder kommunalen Unternehmen betrieben werden. Der Energieinhalt von Gas liegt im Bereich von 10,0 bis 14,0 kWh/kg (oder 8,2 – 11,1 kWh/m³) und ermöglicht die automatische Beschickung von Gasfeuerungsanlagen beliebiger Größe (der schematische Aufbau ist ähnlich dem Ölbrenner).

III.4.3 Biomassebrenner

Biomasse Bei der Verfeuerung von Biomasse (z.B. Holz) wird der an die Atmosphäre abgegebene Abgasbestandteil Kohlendioxid von Pflanzen innerhalb einiger Vegetationsperioden für den Aufbau von „Biomasse“ wieder aufgenommen. Wird Biomasse nicht verbrannt, dann verwest sie nach Ablauf ihrer Lebenszeit, wobei dieser Oxidationsprozess im Vergleich zu Verbrennungsvorgängen langsamer abläuft. Auch dabei entstehen unter Energieabgabe die Verwesungsprodukte Kohlendioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O).

Verbrennung Eine schadstoffarme Verbrennung von Holz ist nur bei Feuerraumtemperaturen um ca. +800°C und bei automatisch geregelter Verbrennungsluftzufuhr erreichbar. Solche

¹³ Als sauren Regen bezeichnet man Niederschlag, dessen pH-Wert niedriger ist als der pH-Wert von reinem Wasser (<pH=5,5). Bei der Verbrennung von Heizöl entstehen Schwefeloxide und somit bei der Verbindung mit Wasser Schwefelsäure (H₂SO₄), also sogenannten sauren Regen.

Verhältnisse lassen sich nur in geschlossenen Feuerräumen verwirklichen. „Kaminöfen“ werden deshalb mit Sichtfenster und geschlossenem Verbrennungsraum angeboten, in welchem die Verbrennungsgase möglichst lange verweilen können und in dem die Verbrennungsluftmenge bedarfsabhängig (z.B. mit einer „ λ -Sonde“ im Abgasstrom) geregelt werden kann.

Nachfolgend sind nun die wesentlichen Biomassequellen im Detail dargestellt.



Fig. 52: Stückholz, Hackgut, Pellets

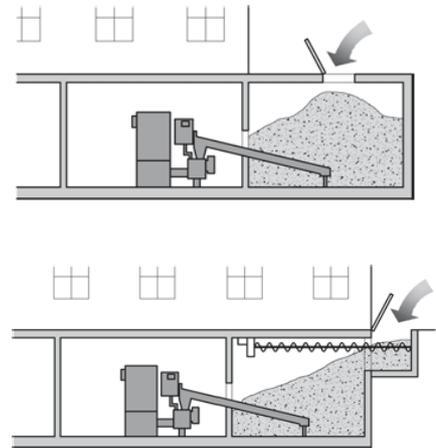
- Stückholz** Die klassische Gewinnung von Scheitholz erfolgt manuell mittels Säge, Axt und Spalter. Dazu wird minderwertiges Holz oder Holz, das bei der Gewinnung von Nutzholz anfällt auf die entsprechende Länge gesägt und anschließend automatisch gespalten. Dies gewährleistet eine bessere Trocknung und Verbrennung, da dadurch die Oberfläche vergrößert wird.
- Hackgut** Als Hackgut oder Hackschnitzel bezeichnet man maschinell zerkleinertes Holz mit und ohne Rinde bei einer maximalen Stücklänge von 15 cm. Hackschnitzel können aus Durchforstungs- oder Waldrestholz, Industrierestholz, Altholz oder Hölzern aus Kurzumtriebsplantagen erzeugt werden.
- Pellets** Diese bestehen aus getrocknetem Restholz (Sägespäne, Hobelspäne), die ohne Zugabe chemischer Bindemittel unter hohem Druck in Form genormter zylindrischer Röllchen hergestellt werden. Ihr Energieinhalt liegt im Bereich von 4,7 bis 5,0 kWh/kg und ermöglicht die automatische Beschickung von Holzfeuerungsanlagen beliebiger Größe.
- Pelletsanlieferung** Die Pellets werden mittels Silowagen angeliefert und in den Lagerraum eingeblasen. Die Silowagen verfügen in der Regel über einen Pumpschlauch mit max. 30 m Länge. Der Pelletsagerraum (bzw. die Befüllkupplungen, Sacksilo) darf daher max. 30 lfm von der Hauszufahrt entfernt sein (Höhendifferenzen von bis zu 8 m können bewältigt werden).
- Pelletslagerung** Lose Pellets kann man in Gewebetanks, unterirdischen Erdtanks oder in Kellerräumen lagern. Die Wände und die Geschoßdecke des Pelletsagerraumes und des Heizraumes müssen der Brandwiderstandsklasse REI 90 entsprechen. Wie auch bei anderen Heizsystemen ist die Heizraumtür und die Tür des Lagerraumes als Brandschutztür (mind. EI 30) auszuführen. Wenn möglich, sollte der Pelletsagerraum an eine Außenmauer angrenzen, da die Befüllstutzen von außen zugänglich sein müssen. Bei innenliegendem Lagerraum müssen die Einblas- und Abluftrohre bis an die Außenmauer geführt werden. Wenn möglich, sollte auch der Heizraum an eine Außenmauer angrenzen, um eine direkte Verbrennungsluftversorgung des Pelletskessels zu gewährleisten. Bei innenliegendem Heizraum muss ein Zuluftkanal vom Heizraum bis an die

Außenmauer geführt werden. Grundsätzlich sollte der Pelletslagerraum länglich-rechteckig sein, wobei die Raumbreite – wenn möglich – 2,0 m nicht übersteigen soll z.B.: 2 m x 3 m oder 1,8 m x 3,2 m etc.

Kennwerte Pellets:

- pro 1 kW Heizlast = 0,9 m³ Lagerraum
- 1m³ Pelletsmenge = 650 kg
- pro 1 kW Heizlast = ca. 400 kg Pellets
- Energieinhalt = 4,7 – 5 kWh/kg
- 2 kg Pellets = ca. 1 Liter Heizöl
- 3 m³ Pellets = ca. 1.000 Liter Heizöl

Fig. 53: Möglichkeiten der Pellets- oder auch Hackschnitzzellagerung [Pech, A. 2005]



Je schmaler der Raum ist, desto weniger „Leerraum“¹⁴ bleibt. Die Größe des benötigten Lagerraumes hängt vom Wärmebedarf des Gebäudes ab, sollte jedoch so groß gewählt werden, dass zumindest eine einfache bis eineinhalbfache Jahresbrennstoffmenge eingelagert werden kann. Berücksichtigt man das nicht nutzbare Raumvolumen, so ergeben sich die Kennwerte nach Fig. 53. Das nachfolgende Beispiel zeigt die Verwendung der Kennwerte anhand eines Einfamilienhauses.

Beispiel

Einfamilienhaus mit einer **Heizlast von 15 kW** = 5800 kg Pellets Jahresbedarf

15 kW Heizlast x 0,9 m³/kW = **13,5 m³ Lagerraumvolumen** (inkl. Leerraum)
 nutzbarer Rauminhalt = 13,5 m³ x 2/3 = 9 m³
 Pelletsmenge = 9 m³ x 650 kg = **5850 kg**
 Lagerraumgröße = 13,5 m³ : 2,4 m (Raumhöhe) = 5,6 m² Lagerraumfläche
 (2 m x 3 m sollte jedoch nicht unterschritten werden)
 Gelagerte Energiemenge = 5850 kg x 5 kWh/kg = 29250 kWh
 (entspricht einer Heizölmenge von ca. 3000 Liter)

III.4.4 Solarthermische Anlage

(vergleiche mit dem Kapitel II)

In Österreich stehen pro Jahr zwischen 1.000 und 1.400 kWh/m² an Solareinstrahlung auf die horizontale Fläche zur Verfügung. Für die thermische Nutzung dieses Energiepotentials wandeln Solarkollektoren die Solarstrahlung in Absorbern in Wärme um. Die beiden Hauptkomponenten solarthermischer Anlagen sind der Kollektor (Aufgabe: Umwandlung der Solarstrahlung in Wärme) und der Speicher (Aufgabe: Speicherung der Wärme), welche in der Folge beschrieben werden:

¹⁴ Als Leerraum wird jenes Volumen innerhalb des Pelletslagerraums bezeichnet, der durch die notwendigen Einbauten als Lagerraum nicht nutzbar ist.

Kollektoren

unabgedeckter
Absorber

Die einfachste Bauform eines Solarkollektors ist der **unabgedeckte Absorber**. Er besteht aus schwarzen Kunststoffschläuchen, die auf Freiflächen oder Dächern ausgelegt werden. Unabgedeckte Absorber eignen sich besonders für den Einsatz in Freibädern, da einerseits die an den Kollektor gestellten Anforderungen (Temperaturniveau, Regelungsfähigkeit) sehr gut erfüllt werden und andererseits die hauptsächliche Nutzungszeit im Sommer mit der Zeit des maximalen Strahlungsangebots zusammenfällt. Das Beckenwasser wird zur Erwärmung direkt durch die Absorber gepumpt. Mit diesem System lassen sich Vorlauftemperaturen von etwa 20°C über der Außenlufttemperatur erzeugen.

verglaster
Flachkollektor

Höhere Temperaturen erreicht man mit **verglasten Flachkollektoren**. In einem gut wärmegeprägten Gehäuse mit Glasabdeckung befinden sich Absorberbleche, die mit Rohrleitungen verbunden sind. Durch die Rohrleitungen wird ein frostsicheres Wärmeträgermedium, meist ein Wasser-Glykol-Gemisch gepumpt. Mit Flachkollektoren lassen sich Temperaturen von etwa 50°C über der Außenlufttemperatur und Wirkungsgrade von 50 bis 60 % erreichen. Als Absorbermaterialien kommen in der Regel Metalle wie Kupfer oder Aluminium zum Einsatz, die zusätzlich selektiv beschichtet werden, um die Aufnahme der Solarstrahlung zu maximieren und eine Abstrahlung zu verhindern. Zusätzlich wird zur Abdeckung von Kollektoren Antireflexglas verwendet, welches den Strahlungsdurchgang von 90 auf 95 % erhöht.

Vakuurröhren-
kollektor

Bessere Wirkungsgrade und höhere Temperaturen lassen sich mit **Vakuurröhrenkollektoren** erzielen. In evakuierten Glasröhren befinden sich die Absorberstreifen. Das Vakuum stellt eine ideale thermische Trennung dar und bewirkt eine Minimierung von Wärmeverlusten über Konvektion. Das Vakuumrohr ist auf einer Seite an ein Sammelrohr angeschlossen, über das das Wärmeträgermedium die Solarwärme zum Speicher transportiert. Bei trockener Anbindung über eine so genannte Heatpipe können beschädigte Vakuurröhren auch bei laufendem Betrieb ausgetauscht werden. Mit Vakuurröhrenkollektoren lassen sich Temperaturen von bis zu 90°C über der Außenlufttemperatur erzeugen. Darum eignen sich Vakuurröhrenkollektoren besonders zur Heizungsunterstützung und Prozesswärmeerzeugung.

Wärmespeicher

Brauchwasser-
erwärmung

Typische Anlagen zur Brauchwassererwärmung bestehen aus einem Zweikreisssystem, bei dem der Solarwärmekreis vom Brauchwasserkreis getrennt ist. Der Solarwärmekreis belädt über einen Wärmetauscher einen Brauchwasserspeicher. Die Regelung wird so ausgelegt, dass die Umwälzpumpe der Solaranlage in Gang gesetzt wird, sobald die Kollektortemperatur einige Grad über der unteren Speichertemperatur liegt. Im Sommer reicht die gewonnene Wärme meist für den gesamten Brauchwasserwärmebedarf aus. Im Winter wird das solar vorgewärmte Wasser konventionell nacherhitzt (siehe Fig. 54 links).

Heizungs-
unterstützung

Zur Heizungsunterstützung gibt es eine Vielzahl unterschiedlichster Hydraulikkonzepte. Eine gängige Variante ist das sogenannte Tank in Tank Konzept. Zentraler Bauteil ist hier der Energiespeicher, in den im oberen warmen Bereich ein Brauchwarmwassertank eingehängt ist. Die Solaranlage kann den gesamten Speicher aufheizen, die konventionelle Nachheizung hingegen, kann nur den obersten Speicherbereich nachladen, das so genannte Bereitschaftsvolumen, aus dem auch die Wärmeentnahme erfolgt. Da nicht das gesamte Speichervolumen beheizt wird, lassen sich so die Energiekosten für die Nachheizung minimieren. Innerhalb des Speichers stellt sich eine Temperaturschichtung ein, die durch den Beladevorgang möglichst nicht zerstört werden sollte. Dies wird in der Praxis durch Prallplatten an der Kaltwasserzufuhr

(und/oder Schichtladelanzeln) und durch eine möglichst geringe Durchflussgeschwindigkeit erreicht (siehe Fig. 54 rechts).

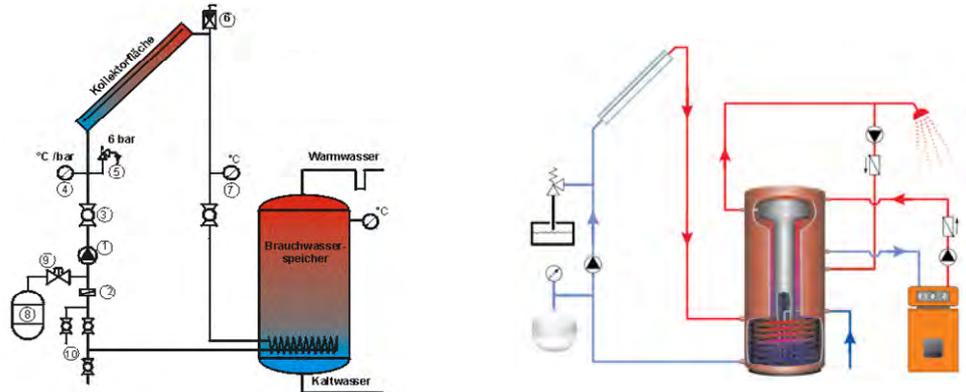


Fig. 54: Schema einer Warmwasser Solaranlage (Bild links) und einer Anlage für Warmwasser mit Heizungsunterstützung (teilsolares Raumheizungssystem) für Einfamilienhäuser, ausgeführt als Tank in Tank Konzept

Der überwiegende Anteil der thermischen Solaranlagen werden in Österreich für die Trinkwassererwärmung eingesetzt. Je nach Auslegung können so im Jahresmittel 50 bis 70 % des Energiebedarfs für die Trinkwassererwärmung je Haushalt eingespart werden. Bei gut wärmegeämmten Gebäuden, wie Niedrigenergiehäusern, kann die thermische Solaranlage auch zur Unterstützung der Heizung ausgelegt werden. Je nach Dimensionierung können so im Jahresmittel 15 bis 40 % des Energiebedarfs für die Wärmebereitstellung des gesamten Gebäudes (Wassererwärmung und Raumheizung) durch aktive Solarnutzung abgedeckt werden.

Kollektor-
ausrichtung

Die optimale Kollektorausrichtung ist die Südrichtung ($\pm 20^\circ$). Der optimale Anstellwinkel der Kollektoren hängt stark von der Verwendung der Solaranlage ab. Wird die Solaranlage für die reine Warmwasserbereitung genutzt wird der Anstellwinkel bei 30 bis 45° liegen. Geht die Nutzung in Richtung teilsolare Raumheizung, so ist der Anstellwinkel deutlich steiler, um die Sonne vor allem im Frühjahr und Herbst optimal nutzen zu können (siehe Fig. 55).

Geringe Abweichungen in der Neigung und der Orientierung werden den solaren Ertrag nur wenig reduzieren und können durch eine Vergrößerung der installierten Kollektorfläche kompensiert werden.

Warmwasser	Kollektorfläche	Flachkollektoren: 1.0 - 1.5 m ² /Person Vakuurröhren: 0.8 - 1.2 m ² /Person
	Kollektorneigung	(20) - 30 bis 45°
	Speichervolumen	Flachkollektoren: 50 - 70 l/m ² Koll.fl. Vakuurröhren: 70 - 90 l/m ² Koll.fl.
Warmwasser und Heizungsunterstützung	Kollektorfläche	Flachkollektoren: 2.0 - 3.0 m ² /Person Vakuurröhren: 1.5 - 2.5 m ² /Person
	Kollektorneigung	(30) - 40 bis 60°
	Speichervolumen	Flachkollektoren: 60 - 80 l/m ² Koll.fl. Vakuurröhren: 80 - 100 l/m ² Koll.fl.

Fig. 55: Auslegungsrichtwerte für Warmwasser Solaranlagen und einer Anlage für Warmwasser mit Heizungsunterstützung (teilsolares Raumheizungssystem) (siehe auch Fig. 22 und Fig. 23)

III.4.5 Wärmepumpensysteme

Die Funktionsweise von Wärmepumpen basiert auf der Tatsache, dass jeder Stoff (z.B. Erdreich, Wasser...) eine bestimmte Menge Energie enthält. Eine Wärmepumpe stellt damit im Wesentlichen eine indirekte Nutzung der Sonnenenergie dar. Die Wärmepumpe entzieht dem Stoff diese Energie auf einem niedrigen Temperaturniveau und gibt sie auf höherem Temperaturniveau an das Heizsystem eines Gebäudes ab.

Funktionsweise

Die Wärmepumpe besteht im Wesentlichen aus vier Bauteilen: dem Verdampfer, dem Kompressor, dem Verflüssiger und dem Entspannungsventil (Fig. 56).

Im **Verdampfer** entzieht das Kältemittel¹⁵ bei einem Druck von etwa 3 bar (abhängig vom Kältemittel) seiner Umgebung sensible Wärme, ohne sich jedoch selbst dabei wesentlich zu erwärmen, da die Wärme als latente Verdampfungswärme aufgenommen wird.

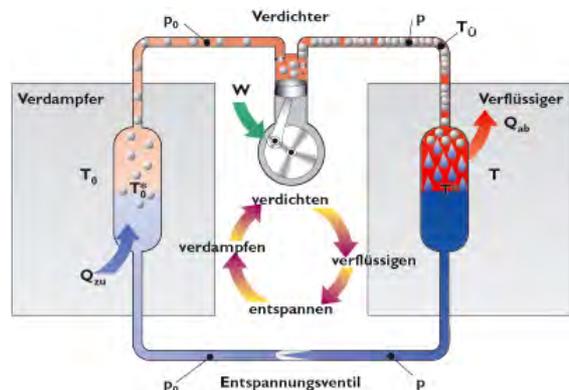
Durch den Kompressor (**Verdichter**) wird das Kältemittel dann verdichtet, der Druck wird somit erhöht, wodurch die Temperatur des Kältemittels ansteigt. Der Kompressor benötigt Antriebsenergie, die üblicherweise **in Form von Strom** zugeführt wird. Durch den hohen Druck steigt der Kondensationspunkt des Kältemittels so stark an, dass eine Wärmeübertragung auf den Nutzkreislauf, hier den Heizungskreislauf, möglich wird. Dies könnte beispielsweise der Vorlauf einer Warmwasserheizung mit einer Temperatur von 25 bis 35 °C sein.

Im **Verflüssiger** kondensiert das unter hohem Druck stehende Kältemittel und gibt dabei seine Wärme an den Nutzkreislauf (z.B. Fußbodenheizung) ab. Dies geschieht wiederum überwiegend durch die Übertragung von latenter Wärme.

Anschließend strömt das Kältemittel durch das **Entspannungsventil**. Durch den Druckverlust kühlt es stark ab und kann im Verdampfer wieder Wärme aus der Umgebung aufnehmen.

Je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Umgebungswärme und Heizkreislauf ist, desto effizienter arbeiten Wärmepumpen. Heizungssysteme mit niedrigen Vorlauf-temperaturen (z.B. Fußbodenheizung) lassen sich darum besonders effizient mit Wärmepumpen betreiben.

Fig. 56: Kreisprozess der Wärmepumpe (Q_{zu} = zugeführte Wärme, Q_{ab} = abgegebene Wärme, P_0 = niedriger Druck, P = hoher Druck, T = Temperatur, W = zugeführte Antriebsenergie)



Funktionsprinzip der Wärmepumpe

1. Das Kältemittel verdampft und entzieht dabei seiner Umgebung Wärme (niedriger Druck).
2. Der Verdichter komprimiert das Kältemittel auf 12 bis 22 bar, wodurch dessen Temperatur und der Kondensationspunkt ansteigen.
3. Im Verflüssiger kondensiert das Kältemittel unter hohem Druck und gibt seine Wärme an einen Nutzkreislauf ab.
4. Über das Entspannungsventil kommt es zu einem Druckverlust und dabei zu einer Abkühlung des Kältemittels und der Absenkung des Verdampfungspunktes.

¹⁵ Als Kältemittel kommen Arbeitsmedien zum Einsatz, die in einem Kältemaschinenprozess bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck Wärme aufnehmen und bei höherer Temperatur und höherem Druck Wärme abgeben. Gängige Kältemittel sind Tetrafluorethan (R134a), Propan (R290), Zeotrope Gemische von Kohlenwasserstoffen (407c, 410a).

Wärmequellen

Als Wärmequellen werden üblicherweise Erdreich, Luft oder Wasser genutzt. Die entzogene Wärme wird dabei im Verdampfer auf den Kältemittelkreislauf übertragen. Von den im Jahr 2005 in Österreich installierten Wärmepumpen verwendeten 74 % Erdreich als Wärmequelle und 14 % der installierten Anlagen nutzten die Wärmequelle Luft. Die restlichen Anlagen nutzen Wasser als Wärmequelle [Faninger 2006].

Wärmequelle
Wasser

Bei der Verwendung von **Wasser** als Wärmequelle kann als Oberflächen-, Grund- oder Abwasser genutzt werden. Eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung von See- oder Flusswasser ist, dass dieses ganzjährig ein ausreichend hohes Temperaturniveau aufweisen muss. Oberflächenwasser folgt in seinem Temperaturniveau zeitverzögert dem Außentemperaturverlauf, die Wassertemperatur darf jedoch auch bei einer Abkühlung um 4 bis 5 K nicht unter den Gefrierpunkt absinken, da sonst die Wärmetauscher vereisen. Grundwasser weist das ganze Jahr über eine nahezu konstante Temperatur von etwa 10°C auf. Über einen Förderbrunnen wird das Wasser entnommen, über den Verdampfer geleitet und anschließend in einem Schluckbrunnen wieder dem Grundwasser zugeführt (offenes System). Grundwasserwärmepumpen können auch im tiefsten Winter wirtschaftlich eingesetzt werden.

Fig. 57: Modell einer Wärmepumpen-Heizanlage mit Schluck- und Saugbrunnen

Bildquelle: Bundesverband WärmePumpe



Wärmequelle
Außenluft

Die **Außenluft** stellt ein leicht zu erschließendes Energiepotential dar. Allerdings unterliegt der Temperaturverlauf großen Schwankungen. Gerade während des größten Wärmebedarfs im Winter sind die Lufttemperaturen am niedrigsten. Besser eignet sich die Abluft einer Lüftungsanlage, die kontinuierlich ein hohes Temperaturniveau aufweist (vergleiche mit Passivhauskonzept im Kapitel IV.3).

Fig. 58: Modell einer Wärmepumpen-Heizanlage mit Außenluftwärmetauscher

Bildquelle: Bundesverband WärmePumpe



Wärmequelle
Erdreich

Bei der Nutzung von **Erdreich** als Wärmequelle können entweder Rohrregister oder Erdsonden eingesetzt werden. Rohrregister werden in einer Tiefe von etwa 1,5 bis 2 m flächig im Erdreich verlegt. Meist wird ein Wasser-Glykol-Gemisch durch das Rohrregister gepumpt und gibt die Wärme an den Verdampfer ab. Das Erdreich sollte eine möglichst gute Wärmeleitfähigkeit und eine hohe Wärmekapazität besitzen. Feuchtlehmige Böden eignen sich also besser als trocken-sandige Böden (siehe

Fig. 60). Die notwendige Verlegefläche des Rohrregisters beträgt bei heutigen Neubauten das 1,5 bis 2,0 fache der beheizten Gebäudefläche. Senkrecht in die Erde gebohrte Erdsonden eignen sich für kleinere Grundstücke oder für den nachträglichen Einbau im Rahmen einer Sanierung. Ab einer Tiefe von 15 m liegt die Erdreichtemperatur das ganze Jahr über konstant bei 10 bis 14 °C. In der Regel wird über eine Bohrung ein Kunststoffrohr in die Erde eingebracht, durch das das Wasser-Glykol-Gemisch gepumpt wird.

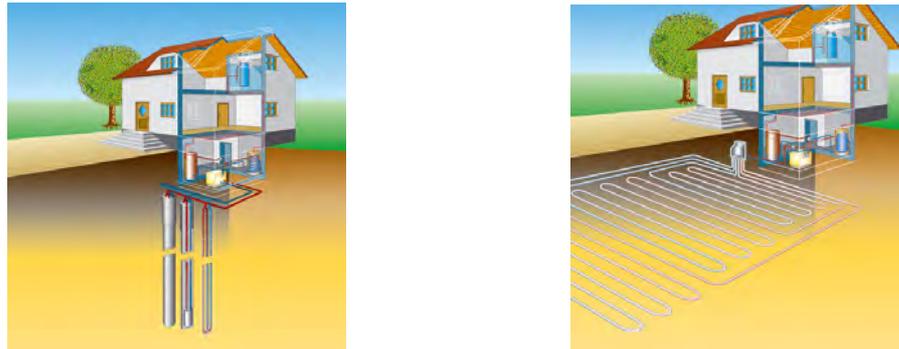


Fig. 59: Modell einer Wärmepumpen-Heizanlage mit einer Tiefenbohrung bzw. mit einem horizontal verlegten Kollektor; Bildquelle: Bundesverband WärmePumpe

Erdwärmekollektor		Erdwärmesonde	
Bodenqualität	Spezifische Wärmeentzugsleistung [W/m ² (Kollektorfläche)]	Bodenqualität	Spezifische Wärmeentzugsleistung [W/m (Sondenlänge)]
Trockener nichtbindiger Boden	8 - 10	Kies, Sand trocken	20 - 25
Bindiger Boden feucht	16 - 30	Kies, Sand wasserführend	55 - 80
Wassergesättigter Sand/Kies	30 - 40	Ton, Lehm feucht	30 - 50
		Kalkstein	45 - 70
		Sandstein	55 - 80
		Gneis, Granit	55 - 85

Fig. 60: Übersicht über den Einfluss des Bodens auf den Wärmeentzug. Die Werte vor Ort können durch Grundwassereinfluss u.ä. stark abweichen. Die Werte der horizontalen und der vertikalen Erdwärmetauscher sind nicht miteinander vergleichbar, da es sich um verschiedene Maßeinheiten handelt. (Werte nach VDI 4640)

Betriebsweisen

Wird für die Heizung ausschließlich eine Wärmepumpe verwendet, spricht man von **monovalentem Betrieb**. Beim **bivalent-alternativen Betrieb** deckt die Wärmepumpe den Wärmebedarf bei höheren Außentemperaturen und wird bei niedrigeren Temperaturen abgeschaltet. Ein konventioneller Heizkessel übernimmt dann die Wärmeversorgung. Im **bivalent-parallelen Betrieb** wird ein konventioneller Heizkessel bei hohem Wärmebedarf zugeschaltet, die Wärmepumpe läuft parallel weiter mit.

Die Warmwasserbereitung kann durch die Wärmepumpe in den meisten Fällen vollständig durchgeführt werden. Dazu wird ein zweiter Kondensatorwärmetauscher ver-

wendet, der das hohe Temperaturniveau direkt nach der Druckerhöhung durch den Kompressor nützt, um möglichst effizient Warmwasser mit ca. 55 bis 60°C zu erzeugen.

Zusammenfassend sind in der Fig. 61 die wichtigsten Kenndaten unterschiedlicher Wärmequellen für Wärmepumpen-Anlagen dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Jahresarbeitszahl (Effizienz des Gesamtsystems) umso besser (höher) ausfällt, je höher die Wärmequellentemperatur in der Heizsaison ist.

	Erdwärmekollektor	Erdwärmesonde	Grundwasser	Luft	Massivabsorber
Örtliche Verfügbarkeit	überall	überall	nicht überall	überall	nur bei Neubauten
Platzbedarf	hoch	gering	gering	gering	gering
Durchschnittstemperatur im Winter	-5° bis +5°C	0° bis +10°C	+8° bis +12°C	-25° bis +15°C	-3° bis +5°C
Wasserrechtlich genehmigungspflichtig	fast nie	fast immer	immer	nein	nein
Mittlere Jahresarbeitszahl	bis 4.5	bis 5.0	bis 5.0	bis 3.3	-

Fig. 61: Kenndaten wichtiger Wärmequellen für WP-Anlagen im privaten Wohnungsbau unter mitteleuropäischen Klimabedingungen. Massivabsorber sind z. B. erdberührende Betonteile (z. B. Gründungspfähle), in die ein Wärmetauscher von Beginn an „eingebaut“ wird.

Unterschiede zwischen Leistungszahl (COP) und der Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die Leistungszahl (COP) betrachtet nur die Leistung zu einem bestimmten Zeitpunkt, in einem definierten Betriebspunkt. Es wird daher nur einer von unendlich vielen möglichen Betriebspunkten im Verlauf eines Betriebsjahres dargestellt. Der COP kann damit den realen Betrieb der Anlage nicht abbilden.

Eine sinnvolle energetische Bewertung der Gesamtanlage kann nur über die Berücksichtigung des Zeitfaktors bzw. der gesamten Betriebszeit der Wärmepumpe erfolgen. In der Praxis hat sich als Zeitraum ein Kalenderjahr für die energetische Bewertung durchgesetzt. Im realen Betrieb verändert sich die Leistungszahl (COP) einer Wärmepumpe ständig, während die Jahresarbeitszahl (JAZ) rückwirkend für ein Jahr ermittelt wird. (siehe Fig. 62)

	Bedeutung	Aussage
Leistungszahl (ϵ) COP	Das Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zu aufgenommener, elektrischer Antriebsleistung zu einem bestimmten Zeitpunkt und für bestimmte Temperaturverhältnisse.	Effizienz der Wärmepumpe bei Prüfbedingungen.
Jahresarbeitszahl (β) JAZ	Das Verhältnis der pro Jahr gelieferten Heizwärme (Q) zur benötigten Antriebsenergie (W). Damit werden u.a. betriebsbedingte Schwankungen gemittelt.	Effizienz der gesamten Wärmepumpen-Heizungsanlage

Fig. 62: Kennwerte von Elektro-Wärmepumpen

III.4.6 Überblick Wärmequellensysteme

Nachfolgend werden die bisher besprochenen Wärmequellensysteme hinsichtlich ihres Leistungsbereiches, des Platzbedarfs und der Wärmegestehungskosten miteinander verglichen (siehe Fig. 63).

Der Leistungsbereich der Systeme beginnt bei etwa 5 kW und endet bei einigen hundert Kilowatt Leistung. Vor allem sehr gut gedämmte Einfamilienhäuser mit Leistung zwischen 3 und 6 kW Leistung haben somit Probleme ein richtig dimensioniertes Heizungssystem zu finden. Hier muss darauf geachtet werden, dass ein Lastenausgleichspeicher integriert wird, um ein häufiges Takten (Ein- und Ausschalten) des verwendeten Heizungssystems zu verhindern (erhöhte Emissionen und Verschleiß).

Die Gesamtkosten für ein Heizungssystem (ohne Wärmeabgabesystem) bewegen sich derzeit in etwa zwischen 7.000 und 16.000 € wobei eine Gastherme am günstigsten ist und die Wärmepumpe mit einer Tiefensonde das teuerste System darstellt.

Der Platzbedarf im Keller (Kosten für umbauten Raum) reicht von rund 1 m² (Gastherme) bis hin zu ca. 10 m² für einen Pellets- oder Ölkessel. Die Wärmepumpen benötigen noch eine entsprechende Gartenfläche (ca. 20 m² bei einer Tiefensonde oder ca. 250 m² bei einem Flachkollektor).

Die angegebenen Energiekosten stammen aus einer Studie [Schupfer, Zivkovic, 2006] aus dem September 2006 und zeigen, dass die Wärmepumpe die günstigsten Kosten je erzeugter kWh und der Ölkessel die höchsten Kosten je erzeugter kWh aufweist.

Fig. 63: Vergleich unterschiedlicher Heizungssysteme hinsichtlich Leistungsbereich, Platzbedarf und Kosten (Investition- und Energie-)

		Thermische Solaranlage	Wärmepumpe Horiz.kollektor	Wärmepumpe Tiefenkollektor	Pelletsessel	Ölkessel	Gaskessel
Leistungsbereich ¹⁾	kW	1 - 800 (10800)	5 - 100 (500)	5 - 100 (500)	(6) 10 - 300	10 - 500	10 - 500
Kosten (10 kW) ²⁾	€	10000 ⁶⁾	8000	8000	8500	5000	5300
Zusatzkosten ³⁾	€	-	3500	8000	1500	3000	2000
Platzbedarf Keller (10 kW) ⁴⁾	m ²	1.5	2 + 250	2 + 20	2 + 7	1.5 + 7	1
Kosten Energie ⁵⁾	€Cent/kWh	8.0	2.5	2.8	5.9	9.2	6.4

- ¹⁾ Ober und Untergrenzen der Leistungen - Wichtig ... konventionelle Kessel werden kaum kleiner 10 kW gebaut
²⁾ Die Kosten sind als Richtwerte gedacht - Nur der Kessel oder die WP alleine - die Solaranlage (inkl. Speicher) hat etwa 15 m²
³⁾ Die Zusatzkosten beinhalten die Kollektoren (WP), den Öltank und den Gasanschluss, jedoch keine baulichen Massnahmen
⁴⁾ Platzbedarf eines 10 kW Kessels bzw. WP und zusätzlich die notwendige m² für die Kollektoren bzw. der Lagerräume
⁵⁾ Die Energiekosten in Cent je kWh stammen von der Energie OÖ [Schupfer/Zivkovic] Zeitpunkt 09/2006
⁶⁾ die Solaranlage ist in dieser Form noch kein vollständiges Heizungssystem (SD ist ca. 25 - 30 %)

III.5 Kernaussagen und Literatur zum Thema

Primäres Ziel stellt die Optimierung der Gebäude hinsichtlich des wärmetechnischen Verhaltens dar, um somit ein Gebäudetechnikkonzept verwenden zu können, welches ein Minimum an Energie benötigt. Energieeinsparungen von bis zu 80 % gegenüber einer konventionellen Planung sind dadurch möglich.

Die betrachteten Wärme- und Kälteabgabesysteme haben unterschiedliche Strahlungsanteile bei der Wärmeabgabe. Je höher der Strahlungsanteil ist desto Behaglicher wird das System empfunden.

Die für das Wärmeabgabesystem notwendigen Temperaturen aus dem Heizungssystem unterscheiden sich stark. Je tiefer die Temperaturen sind umso eher sind sie geeignet, in Gebäudetechnikkonzepten verwendet zu werden, welche die erneuerbaren Energieträger Solarthermie und Geothermie nutzen.

Bei der Wärmeverteilung ist auf eine möglichst zentrale Verlegung zu achten. Die entstehenden Wärmeverluste kommen so meist den beheizten Räumen zu gute.

Die Verluste von Wärmeverteilsträngen sind keinesfalls zu vernachlässigen und erreichen zwischen 8 und 20 % des gesamten Heizwärmebedarfs. Dämmen nach Norm ist unumgänglich!

Die Energiedichte des Wärmeträgermediums ist für die übertragene Leistung und die zu planenden Kanalquerschnitte von Bedeutung. Luft eignet sich bis zu einer spezifischen Heizlast von 10 bis maximal 30 W/m² NGF. Wasser wird über einer spezifischen Heizlast von ca. 15 W/m² bevorzugt verwendet.

Als Energieträger für die Wärmebereitstellung gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten. Die wesentlichen erneuerbaren Energieträger sind am österreichischen Markt die Biomasse, die Solarthermie und die Wärmepumpe.

Die Ermittlung des ‚richtigen‘ Heizungssystems muss nach der Bestimmung der Gebäudeheizlast und der Definition des Wärmeabgabesystems erfolgen. Flächige Wärmeabgabesysteme mit niedrigen Vorlauftemperaturen ermöglichen es effiziente Gesamtsysteme (Solarthermie, Wärmepumpe) zu entwickeln. Kommen Radiatoren zur Anwendung, sollten diese nur noch mit Biomasseheizungssystemen zum Einsatz gebracht werden.

Literatur

Wagner A., 2005: Energieeffizienz in Bürogebäuden - die KfW-Gebäude in Frankfurt am Main, (www.zukunft-haus.info)

Streicher W., 2007: Sonnenenergienutzung, Vorlesungsskriptum, Technische Universität Graz (www.iwt.tugraz.at)

Pech A., Jens K., 2005: Heizung und Kühlung, Baukonstruktionen Band 15, ISBN 978-3-211-21501-2, Springer-Verlag, Wien.

Faninger G., 2006: Der Wärmepumpenmarkt in Österreich 2005, Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, BMVIT

Schupfer, Zivkovic, 09.2006: Kostenvergleich von Heizungssystemen, Energie AG (www.energieag.at)

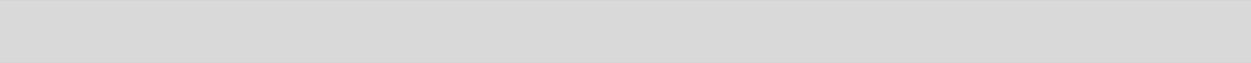
VDI 4640, 2000: Thermische Nutzung des Untergrundes, Teil I-IV, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf, Deutschland.

Weiterführende Literatur:

Schlagnitweit H., Wagner H., 2002: Heizungs- und Lüftungsinstallation, SB-Nr. 39 ISBN 3-7002-1321-2, BOHMANN FACHBUCH im Verlag Jugend & Volk

Haidenbauer H., Winkelbauer G., 2003: Gas- und Wasserinstallation, SB-Nr. 34 ISBN 3-7002-1320-4, BOHMANN FACHBUCH im Verlag Jugend & Volk

IV. Heizungskonzepte für Niedrigenergie- und Passivhäuser



Dr. Richard Heimrath

IV.1 Solare Kombisysteme für Mehrfamilienhäuser

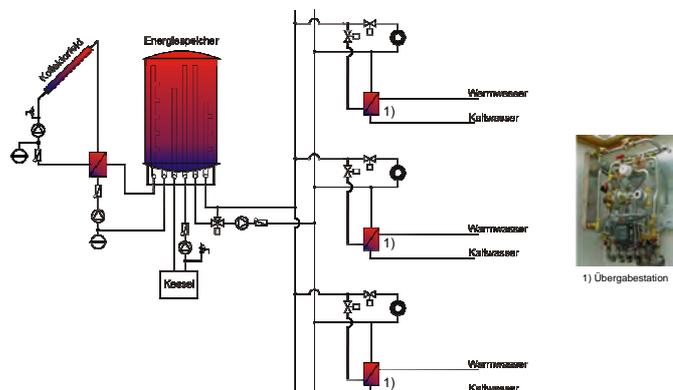
IV.1.1 Systembeschreibung

Solare Kombisysteme (alternativ: teilsolare Raumheizungsanlagen) sind Anlagen die Solarenergie sowohl zur Trinkwassererwärmung als auch zur Heizungsunterstützung einsetzen.

Mit Kollektorflächen von 20 bis 400 m² können im Einfamilienhausbereich solare Gesamtdeckungsgrade (Heizung und Warmwasser) von 20 bis 60 % erreicht werden. Dazu ist eine Kombination mit Pufferspeichern von 1 bis 20 m³ erforderlich, die in der Lage sind, Wärme über einige Stunden (Nacht) bzw. einige Tage zu speichern. Im Bereich der Mehrfamilienhäuser sind solare Deckungsgrade im Bereich von 10 bis 35 % wirtschaftlich realisierbar. Der Restenergiebedarf wird idealerweise mit einer Holzfeuerungsanlage (Stückholzkessel, Pellets- oder Hackgutkessel) gedeckt.

Ein solches System besteht aus einem zentralen Pellets- oder Gaskessel, der einen Pufferspeicher lädt. Von diesem Pufferspeicher werden über ein Zweileiternetz sowohl die Radiatoren (bzw. Wand- oder Fußbodenheizungen) als auch die Frischwasserstationen in den Wohneinheiten mit Wärme versorgt. An den Frischwasserstationen in jeder Wohneinheit kann jederzeit Brauchwarmwasser gezapft werden, ohne durch die Größe eines Brauchwarmwasserspeichers limitiert zu sein. Dafür muss das Verteilnetz auf mindestens 60-65°C gehalten werden.

Fig. 64: Pellets- oder Gaskessel mit Zweileiternetz und Wasserheizung mit Kollektorfeld, [Streicher, W. et al. 2004]



Platzbedarf Für ein Gebäude mit 12 Wohneinheiten reicht ein zentraler Pelletskessel bis etwa 40 kW Heizleistung, der einen Platzbedarf von ca. 1,5 m² hat. Dazu kommt das Pelletslager, das für ein Passivhaus mit Wärmerückgewinnung inklusive Fördereinrichtungen etwa 3 m³ bei zweimaliger Beladung pro Jahr pro Wohneinheit aufweist. Bei Einsatz eines Gaskessels reicht 1 m² aus. Der Pufferspeicher hat bei einem Volumen von etwa 1 m³ einen Platzbedarf von etwa 1 m². In den einzelnen Wohneinheiten gibt es nur eine Übergabestation, die etwa 0,5 m² Platz an der Wand benötigt. Außerdem muss in jedem Raum Platz für Radiatoren (möglichst unter Fenstern) vorgesehen werden.

Bei Einsatz einer Solaranlage (mit 2 - 4 m² Kollektorfläche pro Wohneinheit) vergrößert sich der Pufferspeicher um 150 - 200 Liter/Wohneinheit. Zusätzlich zu den ange-

¹⁶ Wird die Verteilung der Wärme, für die Warmwasserbereitung und die Raumheizung über ein Leitungspaar realisiert, dann spricht man von einem sogenannten Zweileiternetz (im Vergleich zu konventionellen Vierleiternetzen)

gebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

IV.1.2 Vorteile des Systems

Pelletsessel

- erneuerbarer Energieträger
- heimischer, krisensicherer Energieträger
- ungefährlicher Brennstoff
- hohe Leistung, schnell regelbar

Gaskessel

- viel Erfahrung bei Installateuren mit dieser Technik
- hohe Leistung, schnell regelbar

Zweileiterverteilsystem mit Frischwasserstationen

- Hygienische Brauchwarmwasserbereitung im Direktdurchlauf
- Warmwassermenge ist nicht durch das Volumen des Brauchwarmwasserspeichers begrenzt
- Rücklauftemperatur niedriger als bei Luftheizsystem (ca. 30-40°C) wenn das System gut einreguliert ist, daher weniger Verluste

Wasserheizsystem mit Radiatoren

- flexible schnelle Regelmöglichkeit mit Raumthermostaten
- Einzelraumregelung möglich
- Radiatoren als „Warmplatz“ in der Wohnung
- hohe Wiederaufheizleistung (abhängig von Radiatorfläche und Vorlauftemperatur)

Wandheizung

- gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, keine Aufwirbelung durch Konvektion
- geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme
- langwellige Strahlungswärme
- gute Raumtemperaturverteilung
- schnell regelbar (je nach Wandaufbau)

Fußbodenheizung

- gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, keine Aufwirbelung durch Konvektion
- große Speicherkapazität (Dämpfung der Raumtemperaturschwankung)
- geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme
- langwellige Strahlungswärme
- Heizfläche Boden ist meist frei
- Selbstregelungseffekt bei Sonnenstrahlung bei richtiger Dimensionierung (Oberflächentemperatur max. 2 K über Raumtemperatur)
- gute Raumtemperaturverteilung

IV.1.3 Nachteile des Systems

Pelletsessel

- Für den Pelletsessel ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren (in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Pufferspeicher gegeben).
- Kamin erforderlich (Errichtungskosten und Platzbedarf)
- das Brennstofflager kann mittlerweile auch mit Außenlagerung (z.B. PE-Erdtanks) also platzsparend realisiert werden

Gaskessel

- Für den Gaskessel ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren (in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Pufferspeicher gegeben).
- fossiler Energieträger (problematisch für CO₂ Bilanz)
- Kamin erforderlich (Errichtungskosten und Platzbedarf)
- Explosionsgefahr
- importabhängig
- Anschluss an Gasleitung oder Gastank notwendig
- spezifische Anforderungen im Passivhausbereich (Erfahrung bei Installateuren, hinsichtlich der korrekten System-Integration, fehlen)

Zweileiterverteilsystem mit Frischwasserstationen

- höhere Verteilverluste durch größere Leitungslängen im Vergleich zu dezentralen Systemen
- erhöhte Verteilverluste durch hohes Temperaturniveau im Verteilnetz (Vorlauf mindestens 60°C)

Wasserheizsystem mit Radiatoren

- höhere Luft- und Heizflächentemperaturen als bei Flächenheizung
- Oberflächentemperatur von Wand und Boden unter Lufttemperatur
- höherer Konvektionsanteil als Strahlung
- Platzbedarf in jedem Raum
- kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung
- Lärmbelästigung bei falscher Rohrdimensionierung
- durch Konvektionsströmung kann Staub aufgewirbelt werden

Wandheizung

- große Speicherkapazität (Wiederaufheizen)
- je nach Auslegung eher träges System
- Heizwand muss im Wesentlichen frei bleiben
- Befestigungen an einer Heizwand nur mit Vorsicht (mit Thermopapier kann die Lage der Rohre ermittelt werden)
- kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung

Fußbodenheizung

- große Speicherkapazität (Wiederaufheizen)
- je nach Auslegung eher träges System
- eingeschränkte Auswahl von Bodenbelägen
- kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung

IV.1.4 Konzeptionsrichtlinien

Ein Pufferspeicher ist unbedingt notwendig, um das Takten des Brenners zu minimieren. Biomassekessel haben beim Takten (Anfahren, Laufzeit, Abschalten, Gluterhaltung) 3 -20 mal höhere CO- und bis zu 26 mal höhere CH-Emissionen als im kontinuierlichen Betrieb. Beim Gaskessel sind die Emissionen etwa 6-10 mal höher. Verringerteres Takten kann die Lebensdauer der Zündeinrichtung verlängern. Das System ist grundsätzlich bei Mehrfamilienhäusern sowohl im Reihenhaus- als auch im Geschloßwohnbau einsetzbar. Es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Leitungslänge zwischen den Abnehmern nicht zu groß sind, um die Verteilverluste gering zu halten.

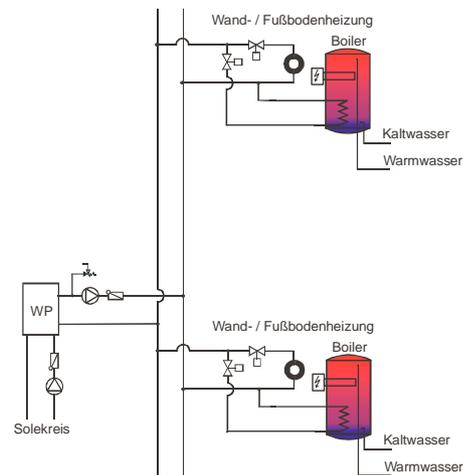
IV.2 Sole/Wasser Wärmepumpe mit Fußbodenheizung

IV.2.1 Systembeschreibung

Systemkonzept

In diesem System gibt es eine zentrale Sole-Wärmepumpe, die Niedertemperatur-Energie über einen Solekreis aus dem Erdreich entnimmt und auf nutzbares Temperaturniveau angehoben, in ein Zweileiterverteilsystem einspeist. Der Kompressor der Sole-Wärmepumpe verbraucht dabei elektrische Energie. Ein Zweileiterverteilsystem verbindet die Wärmepumpe mit den einzelnen Wohneinheiten und versorgt die Wand- bzw. Fußbodenheizungen mit Wärme. Die Flächenheizung muss in Kombination mit ausreichenden thermischen Massen ausgeführt sein, um eine entsprechende Speicherfunktion zu gewährleisten. Dadurch wird häufiges Takten der Wärmepumpe vermieden und die Räume kühlen nicht aus, wenn die Wärmepumpe die Brauchwarmwasserspeicher nachlädt. In jeder Wohneinheit gibt es einen eigenen Brauchwarmwasserspeicher.

Fig. 65: Solewärmepumpe - zentral mit Zweileiternetz, [Streicher, W. et.al 2004]



Regelungskonzept

In bestimmten Zeitfenstern (vorwiegend nachts) wird das Zweileiterverteilsystem nicht mehr für die Heizkreise verwendet, sondern um die dezentralen Brauchwarmwasserspeicher zu beladen. Aus diesen Brauchwarmwasserspeichern kann jederzeit Brauchwarmwasser entnommen werden. Zur Nachheizung der Brauchwarmwasserspeicher gibt es jeweils einen Elektroheizstab als Spitzenabdeckung bzw. falls außerhalb der Ladezeiten eine größere Menge Brauchwarmwasser gebraucht wird.

- Platzbedarf** Für eine Sole-Wärmepumpe mit bis zu 50 kW Heizleistung reichen 2 m² Platz in einem zentralen Technikraum. Zusätzlich wird im Garten je nach Ausführung entsprechend Platz für den Solekreis benötigt. In jeder Wohneinheit benötigt man etwa 0,5 m² Standfläche für den Brauchwarmwasserspeicher bzw. Wandfläche bei einem Hängespeicher. Eine Fußbodenheizung hat keinen zusätzlichen Platzbedarf, bei einer Wandflächenheizung muss berücksichtigt werden, dass die Heizwände nicht komplett mit Möbeln zugestellt werden dürfen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.
- Wärmequellensysteme** Für den Solekreis gibt es verschiedene Ausführungsvarianten:
- 1) **Erdsonden (Bohrloch):** Die Wärme wird dem Erdreich hier über ein oder mehrere Bohrungen bis zu 100 m Tiefe mit 5 bis 10 m Abstand entzogen. Nach VDI 4640, Blatt 2 [VDI 4640, 2002], kann für Erdwärmesonden in kleineren Anlagen zwischen 20 W/m (schlechter Untergrund, trockene Lockergesteine) und 84 W/m (Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit) Wärme entzogen werden.
 - 2) **Grundwasser:** zwei Brunnen müssen gegraben werden (einer, um das Grundwasser zu fördern, und einer, um das abgekühlte Grundwasser wieder dem Grundwasserkreislauf zuzuführen). Bei einer Leistungszahl von 4 und einer Abkühlung des Grundwassers um 3 K müssen etwa 230 l Grundwasser pro Stunde je kW Heizleistung der Wärmepumpe gefördert werden.
 - 3) **Flächenkollektor:** Die erforderliche Fläche ist einerseits vom Wärmebedarf des Wohnhauses abhängig, andererseits aber auch von der Zusammensetzung und Feuchtigkeit des Erdreichs. Nach VDI 4640, Blatt 2, kann dem Boden durchschnittlich zwischen 10-15 W/m² (trockener sandiger Boden) und 30-40 W/m² (wassergesättigter Sand/Kies) Wärme entzogen werden. Die Wärmeentnahme erfolgt über kunststoffummantelte Kupferrohre oder Kunststoffrohre aus einer Tiefe von 1 bis 1,5 Meter, der Rohrabstand beträgt ca. 80 cm.
 - 4) **Grabenkollektor:** Die erforderliche Grabenlänge ergibt sich aus der berechneten Heizlast des Gebäudes und hängt ebenfalls von der Zusammensetzung und Feuchtigkeit des Bodens ab. Als Richtwert kann 2,5 m pro kW Heizlast verwendet werden. Der Verlegeabstand der Rohre beträgt hier nur 5-10 cm. Diese Methode ist platzsparend, sollte aber vermieden werden, da z.B. Flächenkollektoren durch die größere, zum Wärmeentzug zur Verfügung stehende, Speichermasse dem Erdreich wesentlich mehr Energie entziehen können.

IV.2.2 Vorteile des Systems

Sole-Wärmepumpe

- geringer Platzbedarf
- einfachste Energieversorgung durch Strom
- kein Rauchfang nötig
- kein Brennstofflager
- kein Staub, Geruch

Zweileiterverteilsystem mit Brauchwarmwasserspeicher

- durch Beladung der Speicher keine zusätzliche Zirkulationsleitung nötig bzw. niedrige Vorlauf-Temperatur bei Heizbetrieb möglich (hohe Leistungszahl der Wärmepumpe)
- kleine Verteilverluste im Vergleich zu Vier-Leiternetz (Beladung in Zeitfenstern)
- Brauchwarmwasserspeicherverluste sind in der Heizperiode nicht verloren sondern dienen zur Raumheizung (besonders positiv bei Platzierung im Bad)
- Warmwasserversorgung ist durch Elektroheizpatrone unabhängig vom zentralen Heizungssystem (z.B. bei Wartungsarbeiten)

Wandheizung

- gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine konvektive Aufwirbelung
- geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme
- langwellige Strahlungswärme
- gute Raumtemperaturverteilung
- schnell regelbar (je nach Wandaufbau)

Fußbodenheizung

- gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine konvektive Aufwirbelung
- große Speicherkapazität (Takten der Wärmepumpe wird minimiert, Dämpfung der Raumtemperaturschwankung)
- geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (Wärmepumpe, Solarenergie)
- langwellige Strahlungswärme
- Heizfläche Boden ist meist frei
- Selbstregelungseffekt bei Sonnenstrahlung bei richtiger Dimensionierung (Oberflächentemperatur max. 2 K über Raumtemperatur)
- gute Raumtemperaturverteilung

IV.2.3 Nachteile des Systems

Sole-Wärmepumpe

- Warmwasserbereitung auf über 50°C reduziert die Leistungszahl stark
- Treibhausgasproblematik (Einsatz von Fluor-Kohlenwasserstoffe als Kältemittel)
- benötigt Energiepuffer (= stärkerer Estrich, Speichermasse des Gebäudes), um Takten niedrig zu halten

Zweileiterverteilsystem

- erhöhte Verteilverluste durch lange Leitungen im Vergleich zu dezentralen Systemen (wenn im unbeheizten Bereich)
- Nachheizung der Brauchwarmwasserspeicher nur in bestimmten Zeitfenstern sinnvoll möglich
- Warmwassermenge durch Brauchwarmwasserspeichergröße begrenzt

Wandheizung

- Heizwand muss im Wesentlichen frei bleiben
- Befestigungen an einer Heizwand nur mit Vorsicht (mit Thermopapier kann die Lage der Rohre ermittelt werden)
- kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung
- für diesen Fall ohne Heizungspuffer ähnlich träges System wie Fußbodenheizung

da die Wand eine thermische Speicherkapazität aufweisen muss, um ein Takten der Wärmepumpe zu verringern (Probleme beim Wiederaufheizen)

Fußbodenheizung

- große Speicherkapazität (Wiederaufheizen)
- je nach Auslegung eher träges System
- eingeschränkte Auswahl von Bodenbelägen
- kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung

IV.2.4 Konzeptionsrichtlinien

Während der Beladung der Brauchwarmwasserspeicher ist kein Heizbetrieb möglich. Die Wärmepumpe, Speichergröße und die Zeitfenster müssen daher so aufeinander abgestimmt sein, dass die Beladung der dezentralen Speicher innerhalb der Zeitfenster möglich ist. Die Verteilleitungen zwischen den einzelnen Abnehmern sollten nicht zu lang sein, um die Verteilverluste gering zu halten. Die Leistungszahl (COP) einer Sole-Wärmepumpe liegt bei 0°C Soletemperatur und 35°C Wassertemperatur (B0/W35) bei 4,3-4,7, bei 50°C Wassertemperatur bei 2,8-3,1. Im Brauchwarmwasserbetrieb liegt die Vorlauftemperatur bei 60°C, das heißt, dass die Leistungszahl dann noch niedriger liegt. Typische Jahresarbeitszahlen (JAZ - Leistungszahl über ein Jahr gemittelt, einschließlich Verluste durch Anfahrvorgänge etc.) liegen bei 3,5 bis 4,0. Diese Systeme können bei Mehrfamilienhäusern, in Reihenhäusern und im Geschosswohnungsbau eingesetzt werden.

IV.3 Luft/Luft/(Wasser) Wärmepumpe

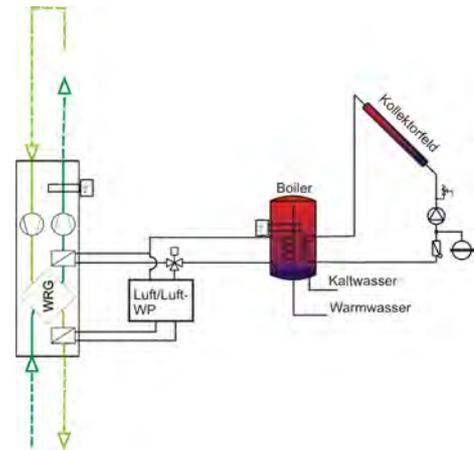
IV.3.1 Systembeschreibung

Systemkonzept

Bei diesem System handelt es sich um ein speziell für Passivhäuser entwickeltes Kompaktsystem mit kontrollierter Wohnungslüftung, bei der die Heizung ausschließlich durch Erwärmung der Frischluft erfolgt. Ein Luftwechsel durch die Lüftungsanlage ist daher zwingend erforderlich, um Heizen zu können. Voraussetzung ist eine maximale Heizlast von 10 bis 14 W/m², um mit dem hygienisch erforderlichen Luftwechsel und einer Zulufttemperatur unter 50 °C der Heizbedarf decken zu können. Dafür muss der nicht kontrollierbare Infiltrationsluftwechsel in das Gebäude auf ein Minimum reduziert sein. Daher ist es wichtig, die Infiltrationsbegrenzung bautechnisch zu planen und bei der Ausführung durch Qualitätsbegleitmaßnahmen sicherzustellen. Dies ist besonders bei Lüftungssystemen notwendig, die in den Wohnräumen die vorgewärmte Luft einblasen und in den Feuchträumen absaugen.

Bei derartigen Systemen wird in so genannten Einblasräumen (zumeist Wohnräume) die erwärmte Luft mit leichtem Überdruck eingebracht und strömt dann durch Überströmzonen zu den Absaugräumen (Feuchträume), in denen durch die Absaugung ein leichter Unterdruck vorherrscht. Bei ungenügender Luftdichtigkeit der Gebäudehülle besteht die Gefahr, dass in den Räumen mit Überdruck die erwärmte Luft ins Freie geblasen wird und in den Absaugräumen kalte Luft aus der Umgebung ins Gebäude gesaugt wird (zusätzliche Infiltrationsverluste).

Fig. 66: Kleinstwärmepumpe mit Luftheizung – dezentral (Kollektorfeld und Erdreichwärmetauscher empfohlen)
[Streicher, W. et al. 2004]



Winterbetrieb

Über einen Luft/Luft-Wärmetauscher wird der Abluft aus den Räumen Wärme entzogen und der Zuluft zugeführt. Üblicherweise wird dabei eine Wärmerückgewinnung von 75-90 % realisiert. Dies kann zu einer Abkühlung der Abluft an den Wärmetauscherflächen unter Null Grad führen, was eine Vereisung des Wärmetauscherflächen unter Null Grad führen, was eine Vereisung des Wärmetauschers bewirkt. Wird hier keine Abtauschaltung vorgesehen, so „wächst“ der Wärmetauscher zu, es kann keine Abluft mehr strömen, die Zuluft kann nicht mehr vorgewärmt werden und die Heizung kann nicht mehr funktionieren. Die Außenluft sollte daher bei Reihenhäusern über einen Erdreichwärmetauscher angesaugt und dadurch (bei richtiger Auslegung des Erdreichwärmetauschers) immer über 0°C vorgewärmt werden. Damit wird ein Vereisen des Wärmerückgewinnungswärmetauschers komplett vermieden. Steht kein Erdreichwärmetauscher zur Verfügung (Mehrfamilienhaus) muss mittels einer E-Patrone die kalte Zuluft (Außenluft) frostfrei gehalten werden. Trotzdem muss der Verdampfer der Abluftwärmepumpe, welcher die Abluft weiter abkühlt, mit einer Abtauschaltung versehen sein.

Die Abluft- Zuluftwärmepumpe heizt entweder über ein Luft-Heizregister die Zuluft nach erfolgter Vorwärmung durch den Abluftwärmetauscher oder sie bedient einen Brauchwarmwasserspeicher. Der Kompressor der Abluftwärmepumpe verbraucht elektrische Energie. Dieser Kompressor ist im Zuluftstrom angeordnet, sodass seine Abwärme ebenfalls der Zuluft zugute kommt. Im Sommerbetrieb ist dies allerdings ein unerwünschter Effekt. Für extrem kalte Tage, an denen mehr als 10 bis 14 W/m² Heizleistung nötig ist, kann zusätzlich elektrisch nachgeheizt werden. Diese Nachheizung sollte jedoch nur in Ausnahmefällen erforderlich sein und darf demnach nur einen sehr geringen Anteil des Heizwärmebedarfs decken.

Der Brauchwarmwasserspeicher kann ebenfalls mit einem Elektroheizstab nachgeheizt werden. Die Einbindung einer Solaranlage zur Brauchwarmwasserbereitung ist möglich und sinnvoll. Erdreichwärmetauscher eignen sich besonders für Reihenhäuser, im Geschosswohnbau führt die Luftvorwärmung über Erdreichwärmetauscher zu unnötigen Verlängerungen der Rohrleitungen im Gebäude.

Sommerbetrieb

Im Sommer kann der Luft/Luft-Wärmetauscher umgangen werden, so dass die Zuluft nicht erwärmt wird. Der Luft/Luft-Wärmetauscher wird dafür manuell oder automatisch durch zwei aneinander vorbeiführende Rohrleitungen ersetzt. Wenn ein Erdreichwärmetauscher vorhanden ist, kann die angesaugte Luft zusätzlich leicht gekühlt werden. Dies entspricht keiner Klimaanlage, aber eine unnötige Erwärmung der Zuluft wird so vermieden. Alternativ kann im Sommer tagsüber auch nur der Zuluftventilator betrieben werden. Die Abluft wird dann über die Fenster abgeführt. Auf diese Art und Weise findet auch keine Wärmerückgewinnung statt und die Zuluft wird über

den Erdreichwärmetauscher gekühlt. Die Nachheizung des Brauchwarmwasserspeichers sollte im Sommer möglichst nachts stattfinden. Die Abluft erfolgt dann über das Lüftungsgerät, sodass die Wärmepumpe arbeiten kann, während die Luft über Fensterlüftung zugeführt wird, sodass eine Beheizung durch die Abwärme des Kompressors vermieden wird.

Effizienz Die Wärmepumpe arbeitet um so effizienter, umso kleiner die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle (Abluft) und der gewünschten Vorlauftemperatur ist. Für den Heizbetrieb reichen Vorlauftemperaturen von 35-40°C an den meisten Tagen aus. Typische Leistungszahlen liegen bei etwa 3,5. Das heißt, dass bei einem Heizwärmebedarf von 3,5 kWh dem Kompressor in etwa 1 kWh elektrischer Strom zugeführt werden muss, während 2,5 kWh aus der Abluft genutzt werden. Zur Brauchwarmwasserbereitung ist dagegen eine Temperatur von mindestens 45°C nötig. Bei dieser Temperaturspreizung arbeitet die Wärmepumpe nur mit einer reduzierten Leistungszahl von etwa 2,5 (Sommerbetrieb), im Winter liegt die Leistungszahl bei etwa 3,0, da die Abwärme des Kompressors für die Heizung der Zuluft genutzt werden kann. Für die Brauchwassererwärmung empfiehlt sich bei derartigen Systemen die Unterstützung durch eine solare Brauchwarmwasseranlage.

Typische Jahresarbeitszahlen (Leistungszahl über ein Jahr gemittelt, einschließlich Verluste durch Anfahrvorgänge etc.) liegen bei knapp über 3,0. Das System wird dezentral verwendet. Das heißt, jede Wohneinheit hat ein eigenes Lüftungsgerät mit Wärmepumpe, einen eigenen Brauchwarmwasserspeicher und ggf. eine eigene Solaranlage. Das Lüftungsgerät mit Wärmepumpe und Brauchwarmwasserspeicher kann auch im Wohnbereich, z.B. in einem Abstellraum oder im Vorraum installiert werden.

Platzbedarf Der Platzbedarf für dieses Kompaktgerät mit Abluftwärmerückgewinnung, Ventilatoren und Wärmepumpe sowie einem Brauchwarmwasserspeicher von etwa 200 l liegt bei etwa 1 bis 2 m². Zusätzlich ist schon bei der Bauplanung zu berücksichtigen, dass Platz für Zu- und Abluftrohre vorhanden sein muss. Rohrdurchmesser liegen für Wohnungen und Einfamilienhäuser aus Geräuschgründen typischerweise zwischen DN 80 und DN 160, je nach Luftvolumenstrom und Rohrleitungslänge. Die Rohre werden üblicherweise in der Fußbodenkonstruktion oder in einer in Teilbereichen abgehängten Decke verlegt. Dadurch verliert der Raum (bspw. Flure, Bad, WC) etwa 15-20 cm an Raumhöhe. Als Variante kommt auch eine offene oder kaschierte Führung der Rohrleitungen im Raum zum Einsatz. Bei Einsatz einer Solaranlage (mit 6-8 m² Kollektorfläche) ist etwa 0,4 m² zusätzlicher Platzbedarf für einen größeren Brauchwarmwasserspeicher (ca. 400 l) und eine Solarstation zu berücksichtigen. Zusätzlich zum angegebenen Flächenbedarf ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

IV.3.2 Vorteile des Systems

Wärmepumpe

- kompakte Systemtechnik
- einfache Energieversorgung durch Strom
- relativ geringe Systemverluste (Kompaktgerät, Verluste gehen in die Wohnung)
- kein Rauchfang nötig
- kein Brennstofflager nötig
- kein Staub, Geruch,...
- Aufstellung des Systems auch im Wohnbereich möglich

Luftheizsystem

- permanent frische Luft in allen Räumen
- Energiesparen durch Wärmerückgewinnung
- keine kalte Zugluft durch Fensterlüften
- kein Arbeitsaufwand bzw. keine Notwendigkeit für regelmäßiges Fensterlüften
- gefilterte Luft für Pollenallergiker
- Lärmschutz durch geschlossene Fenster
- keine Heizkörper oder Heizflächen notwendig
- über einen Erdreichwärmetauscher ist im Sommer ein Luftwechsel möglich, der keinen zusätzlichen Energieeintrag ins Gebäude bringt.

IV.3.3 Nachteile des Systems

Wärmepumpe

- Treibhausgasproblem bei Einsatz von Fluor-Kohlenwasserstoffe als Kältemittel
- Gefahr der Aufheizung der Zuluft während Brauchwarmwasserbereitung (Sommerproblem, kann durch Einsatz einer Solaranlage minimiert werden)

Luftheizsystem

- kleine Heizleistung (max. 10-14 W/m² für Transmission und Infiltration) bei Luftwechselraten von 0,4 - 0,5 h⁻¹ und begrenzter Einblasetemperatur. Daher reagiert das Luftheizungssystem in diesem Anwendungsfall sehr träge in der Wiederaufheizung aber schnell in der Abkühlung.
- Luftkanäle und Lüftungsgerät haben für Wohnungen relativ große Dimensionen
- Lärmbelästigung bei unsachgemäßer Planung bzw. Ausführung (durch zu enge Rohrquerschnitte, schlechte Dämmung des Zentralgeräts, falsches Design der Luftauslässe, etc)
- zumeist gleiche Temperatur in allen Räumen (kann auch positiv gesehen werden)
- Fensteröffnung im Winter kann zu Problemen bei der Beheizung des Gebäudes führen (Wärmerückgewinnung wird umgangen)
- keine Heizung bei abgeschalteter Lüftungsanlage
- dichte Gebäudehülle erforderlich, damit Abluftwärmerückgewinnung funktioniert
- funktioniert nur zufriedenstellend bei einwandfreier Planung des Gebäudes
- Planungsfehler und dadurch zu hohe Luftwechselraten etc. wirken sich negativ auf die Wohnqualität aus

IV.3.4 Konzeptionsrichtlinien

Mit Luftheizungen lassen sich nur sehr geringe Heizleistungen (etwa 10-14 W/m² Netto-Wohnfläche) realisieren. Die Heizleistung von Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe ist ebenfalls sehr gering, so dass diese Geräte nur für Passivhäuser geeignet sind. Im Brauchwarmwasserbetrieb arbeiten Wärmepumpen durch die höheren Temperaturen mit niedrigeren Leistungszahlen. Das System kann bei Mehrfamilienhäusern sowohl im Reihenhaus als auch im Geschößwohnungsbau (hier jedoch eher ohne Erdreichwärmetauscher mit Luftvorwärmung) eingesetzt werden.

IV.4 Nutzungssensitivität verschiedener Heizungssysteme

Im Rahmen des Projektes „Heizungssysteme für Niedrigenergiehäuser“ [Streicher, W. et al. 2004] wurden mehrere Heizungssysteme im Detail simuliert. Dabei wurde neben ökonomischen, energetischen und ökologischen Aspekten auch der Umgang der Nutzer mit ihren Heizungssystemen in die Untersuchung miteinbezogen.

Um die Reaktion und die „Robustheit“ der Heizungssysteme auf wechselndes Benutzerverhalten abzutesten, wurden zwei zeitlich wechselnde Benutzerprofile (Szenarien) auf die Systeme aufgeprägt:

- Szenario a) **Offenes Fenster vergessen:** Ein Fenster wird über einen Zeitraum von 4 Stunden (nach Sonnenuntergang (ab 16 h) in einer Winterwoche mit mittlerer Einstrahlung und entsprechend tiefer Außentemperatur) geöffnet. Die Heizung läuft während dieser Periode weiter.
- Szenario b) **Winterurlaub mit Raumlufttemperaturabsenkung:** Absenkung der Raumluft-Solltemperatur über 14 Tage im Winter auf 15°C mit Lüftungsverlusten nur durch Infiltration. Nach Urlaubende ist eine Wiederaufheizung auf 22,5°C Raumtemperatur gefordert.

IV.4.1 Verhalten bei Szenario a)

Hier wird verglichen, wie die verschiedenen Systeme reagieren, wenn die Fenster längere Zeit geöffnet waren und das Gebäude wieder auf die entsprechende Temperatur aufgeheizt werden muss. Alle Systeme wurden ohne Solaranlage gerechnet.

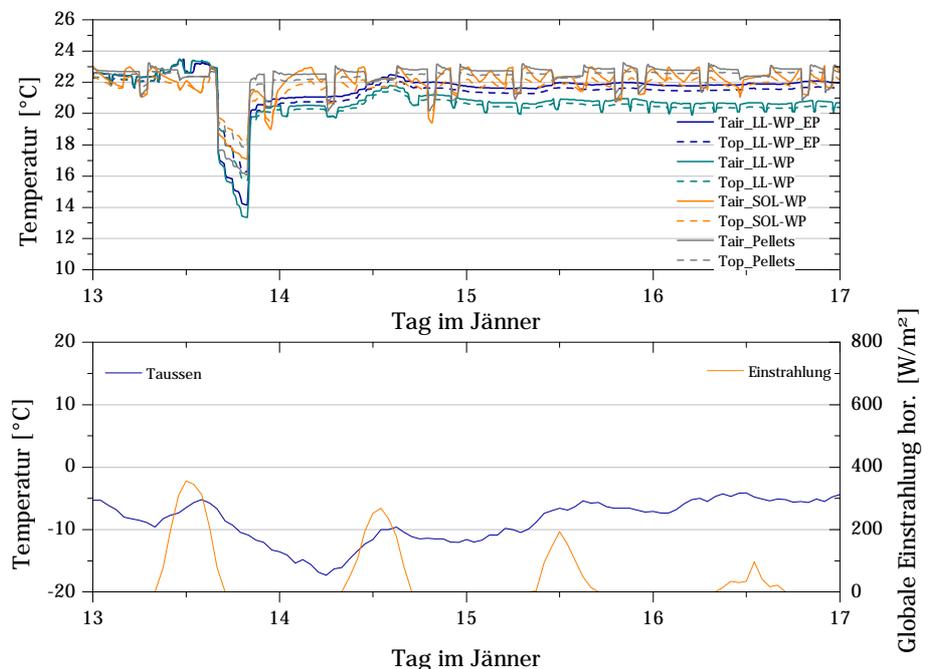


Fig. 67: Verlauf von operativer (T_{op}), Luft- (T_{air}) und Außentemperatur (T_{aussen}) sowie Globalstrahlung auf die Horizontale für verschiedenen Systeme (Pellets, Sole WP, LL-WP und LLWP_EP), Szenario a): 4 h Fensterlüftung [Streicher, W. et al. 2004]

Die Fig. 67 zeigt in der oberen Grafik die operative Temperatur und die Zonenlufttemperatur, in der unteren Grafik die Außenlufttemperatur und die Globalstrahlung

lung auf eine horizontale Fläche. Der betrachtete Zeitraum erstreckt sich von einigen Stunden vor bis drei Tage nach dem Auskühlvorgang und umfasst somit den gesamten Aufheizvorgang.

Die operative Temperatur (T_{op}) ergibt sich aus dem Mittelwert zwischen Umschließungsflächen und Lufttemperatur und stellt die Empfindungstemperatur des Menschen, der sich im Strahlungsaustausch mit den umschließenden Wänden befindet, dar.

Die betrachteten Systeme sind das zentrale Pelletssystem (Pellets), das zentrale Sole-Wasser Wärmepumpensystem (SOL-WP) und das dezentrale Luft/Luft/Wasser-WP-System (LL-WP). Bei letzterem System wurde zur Erkennung der Notwendigkeit der im Zuluftstrom nach dem Kondensator befindlichen E-Patrone (EP) mit einer Heizleistung von 1,5 kW für die Nachheizung diese in der Simulation einmal weggeschaltet (LL-WP) und einmal dazugeschaltet (LL-WP_EP). Ein zentrales Gasheizungssystem wurde nicht simuliert, da sein Verhalten identisch dem des Pelletssystems ist.

Als Wärmeabgabesysteme kommen Radiatoren (Pellets), eine Fußbodenheizung (SOL-WP) und Luft (LL-WP_EP) zum Einsatz.

Vor dem Auskühlvorgang wird die Raumtemperatur von allen Systemen konstant gehalten. In dieser Phase ist für das dezentrale Luft/Luft/Wasser-System (LL-WP) ist kein Unterschied zwischen dem Betrieb mit und ohne E-Patrone zu erkennen, d.h. die E-Patrone wird zu diesem Zeitpunkt nicht verwendet. Bei diesem System ergibt sich in unterschiedlichen Zeitabständen ein kurzzeitiges Absinken der Raumtemperatur. Dies ist auf Abtauvorgänge am Verdampfer der Wärmepumpe, während denen die Wärmepumpe keine Heizleistung liefert. Die Reglereinstellung erlaubt eine Temperaturschwankung zwischen 22 und 23°C.

Auch das zentrale Sole-Wasser-Wärmepumpensystem (SOL-WP) zeigt Raumtemperaturschwankungen. Der Regelbereich ist gleich wie beim LL-WP System eingestellt. Bei Erreichen der oberen Temperatur schaltet sich das System ab und es dauert aufgrund der Speichermasse im Estrich einige Zeit bis die Raumtemperatur die untere Regelgrenze erreicht hat. Beim Wiederanfahren der Heizung kann es zu einer leichten Unterschreitung der geforderten 22°C kommen, da es einige Zeit dauert, bis die Speichermasse Estrich (Fußbodenheizung) auf die Wärmezufuhr mit einer Wärmeabgabe an den Raum reagiert.

Das Radiatorsystem mit dem zentralen Pelletssystem hält die Raumtemperatur über die Thermostatventile in den Radiatoren und die außentemperaturgeführte Vorlauf-temperaturregelung sehr genau.

Auskühlphase In der **Auskühlphase** ist der Einfluss der Speichermassen ebenfalls deutlich zu erkennen. Das Luftheizungssystem reagiert am schnellsten auf die Fensteröffnung. Nach den vier Stunden der Abkühlung ist die Raumtemperatur auf 14°C und die operative Temperatur (aufgrund der langsamer auskühlenden Wände) auf 16°C abgesunken. Am langsamsten kühlt das zentrale Sole-Wasser Wärmepumpensystem aufgrund der Speichermassen des über die Fußbodenheizung direkt beheizten Estrichs aus. Hier liegen die Temperaturen nach vier Stunden bei 16,5 bzw. 17,5°C.

Aufheizen Beim **Aufheizen** hat das Radiator-Pelletssystem nach rund 70 Minuten die untere Raum-Solltemperatur (22°C) erreicht. Die Fußbodenheizung (SOL-WP) erreicht nach 5,2 h diese Temperatur, da hier abermals die Trägheit des Estrichs zum Tragen kommt. Das Luftsystem (LL-WP mit zus. E-Patrone (1,5 kW)) benötigt bereits 16 h und ohne der zusätzlichen E-Patrone dauert es 18,6 h bis die gewünschte Raumsolltemperatur wieder erreicht ist. Hier ist jedoch anzumerken, dass dieses System zwar durch die Sonneneinstrahlung am Tag nach der Fensterlüftung annähernd die Soll-

temperatur erreicht, sich aber eine weitere Woche (kalte und sonnenarme Witterung) nicht vollständig erholt und die geforderte Solltemperatur in dieser Zeit nicht mehr erreicht. Dies liegt an der aufgrund des festgelegten Volumenstroms und der durch die maximale Einblasetemperatur beschränkten Heizleistung.

IV.4.2 Verhalten bei Szenario b)

- Auskühlphase** Die Abbildungen in Fig. 68 zeigen den Verlauf von operativer (T_{op}), Luft- (T_{air}) und Außentemperatur sowie die Globalstrahlung auf die Horizontale für die verschiedenen Heizungskonzepte für das Szenario b) mit 14 Tagen Absenkung der Raumlufttemperatur auf 15°C im Winter, mit anschließendem Wiederaufheizen auf die geforderte Raumlufttemperatur. Das System Sole-Wasser Wärmepumpe (SOL-WP) kühlt auch hier aufgrund der Speichermassen (Estrich) langsamer aus als die anderen beiden Systeme.
- Aufheizen** Beim Wiederaufheizen benötigt das Radiator-Pellets System **23,1 h**, um die geforderten 22°C zu erreichen. Beim System Fußbodenheizung mit Sole-Wasser-Wärmepumpe dauert es **74,7 h**, und das Luftsystem mit der zusätzlichen E-Patrone benötigt **211 h**, um die 22°C zu erreichen. Ohne Verwendung der E-Patrone erreicht das Luftsystem im betrachteten Zeitraum **nicht mehr** den Bereich der Raumsolltemperatur. Auch hier zeigt sich wieder, wie im Szenario a), dass die Heizleistung der Luftsysteme sehr knapp bemessen ist und eine Nachheizung der Zuluft über ein Elektroregister unbedingt notwendig ist. Aus diesem Grund werden häufig kleine Elektroheizgeräte mit einem solchen System gekoppelt, welche allerdings nur für sehr starke Aufheizvorgänge eingesetzt werden müssen.

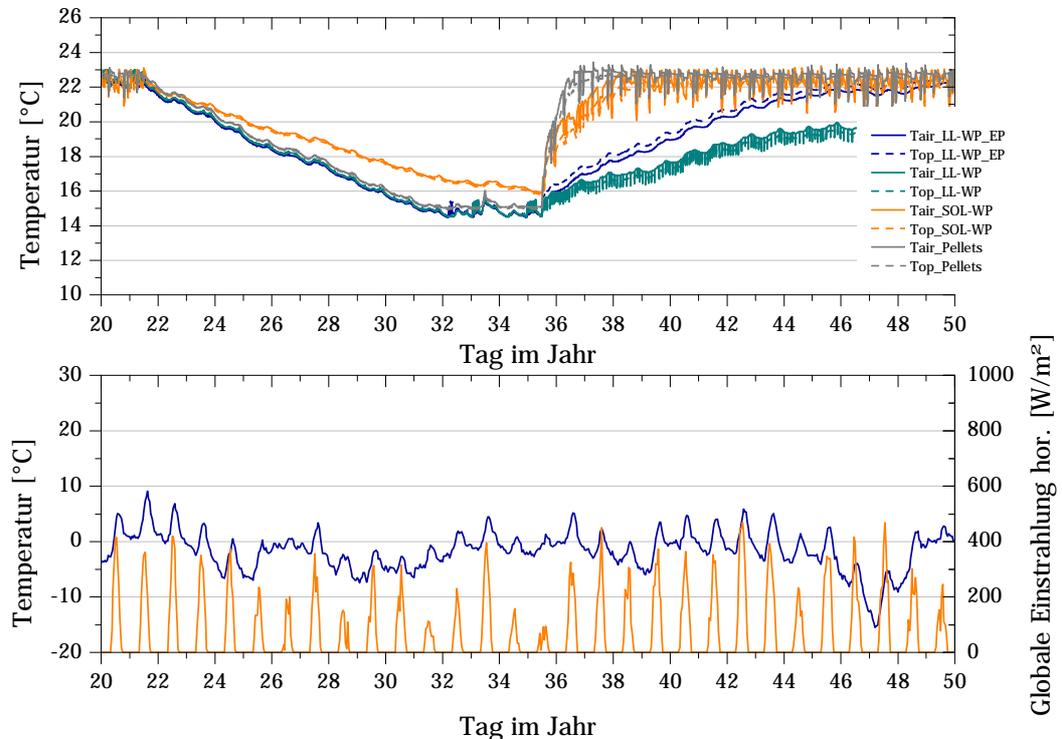


Fig. 68: Verlauf von operativer (T_{op}), Luft- (T_{air}) und Außentemperatur sowie Globalstrahlung auf die Horizontale für die verschiedenen Systeme (Pellets, Sole WP, LL-WP und LLWP_EP), Szenario b): 14 Tage auf 15°C abgesenkte Temperatur [Streicher, W. et al. 2004]

IV.5 Kernaussagen und Literatur zum Thema

Teilsolare Raumheizungsanlagen für Mehrfamilienhäuser sind bereits technisch ausgereift und in der Sanierung als auch dem Neubau einfach zu realisieren. Das Konzept des Zwei-Leiter Netzes hat sich als die effizienteste Variante herausgestellt.

Der Einsatz einer Sole-Wasser Wärmepumpe ist auch im Bereich der Mehrfamilienhäuser möglich, wenn gewisse Rahmenbedingungen eingehalten werden. Unverzichtbar sind dabei eine Fußbodenheizung, ein Ausgleichsspeicher und eine intelligente Regelung des Gesamtsystems.

Ein Heizungskonzept beruhend auf einer Luft-Luft (Wasser) Wärmepumpe (Passivhauskonzept) ist nicht als zentrales System ausführbar. Es bietet sich daher nur für Gebäude mit Reihenhauscharakter an. Vorsicht ist bei einer Fehlbedienung durch den Nutzer geboten. Dabei kann es zur langfristigen Unterschreitung der erforderlichen Raumlufttemperaturen kommen!

Literatur

VDI 4640, 2000: Thermische Nutzung des Untergrundes, Teil I-IV, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf, Deutschland.

Heimrath R., 2004: Simulation, Optimierung und Vergleich solarthermischer Anlagen zur Raumwärmeversorgung für Mehrfamilienhäuser, Dissertation am Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz

Streicher W., Heimrath R., Mach T., Schweyer K., Kouba R., Thür A., Jähni D., Bergmann I., Suschek-Berger J., Rohrer I., Krapmeier H., 2004: Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser, Bericht aus der Programmlinie Haus der Zukunft (15/2004), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.

Weiterführende Literatur

Hausladen G., de Saldanha M., Liedl P. et al. 2005: KlimaDesign, Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können; ISBN-10: 3766716123, Verlag Callwey, München, Deutschland

V. Passive Kühlsysteme



Dr. Hermann Schranzhofer
Dr. Richard Heimrath

Solare Gewinne	<p>Solares und niedrigenergetisches Bauen hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Besonders konzentriert sich die Forschung auf eine effiziente Nutzung solarer Energiegewinne, um den Heizenergiebedarf eines Gebäudes während der Heizperiode weitgehend zu minimieren. Aus diesem Grund werden Gebäude in solarer und niedrigenergetischer Bauweise nach Süden geöffnet, d.h. die Südseite besitzt einen sehr hohen Verglasungsanteil. Zur optimalen Ausnutzung der eintretenden solaren Gewinne befindet sich in dem südlich gelegenen Teil eines Gebäudes der Wohnbereich. Räume, welche von der Nutzung her nicht für einen längeren Aufenthalt von Personen gedacht sind, wie Treppenhäuser, Vorratsräume, Badezimmer, usw. sollen im nach Norden gerichteten Teil eines Gebäudes liegen.</p>
Innere Wärmequellen	<p>Ein manchmal nicht beachteter Aspekt ist das Verhalten eines solchen Gebäudes in den Sommermonaten. Nicht nur zu geringe Temperaturen beeinträchtigen das menschliche Wohlbefinden, sondern auch zu hohe. In Mitteleuropa tritt trotz warmgemäßtem Klima das Phänomen auf, dass vor allem in Bürobauten, durch hohe innere Wärmequellen (Computer, Beleuchtung, ...) und großflächige transparente Fassaden die Überhitzung in den Sommermonaten kritisch ist. Eine Folge einer zu warmen Umgebung ist Müdigkeit und damit lässt die Arbeitsleistung drastisch nach.</p> <p>Im Wohnbau hingegen liegt das Hauptaugenmerk auf der Beheizung. Stellt man die Anzahl der zu heizenden Stunden (ca. 3500 – 4000 h) den zu kühlenden Stunden (ca. 150 h) gegenüber, ist eindeutig, dass der Schwerpunkt trotz Klimawandel weiterhin im Heizfall bleiben wird. Trotzdem treten auch Unzufriedenheiten im Wohnbau wegen zu hoher Raumlufttemperaturen im Sommer auf. Die Gründe dafür sind vielfältig. So sind die Standardansprüche an Raumbedingungen ständig steigend aber auch die Wetterbedingungen sind extremer geworden (Extremsummer 2003). Bei extremen sommerlichen Bedingungen treten dann oft Impulskäufe von Kleinklimageräten auf.</p>
Thermische Speichermasse	<p>Zur Verbesserung der Situation können verschiedenste Maßnahmen getroffen werden, die von sehr einfachen passiven (z.B. Verschattungen) bis hin zu technisch aufwendigen aktiven Maßnahmen (z.B. Kompressions- oder Absorptionsklimaanlagen) reichen. Eine aktive Raumkühlung mit aktiven Kälteanlagen sollte jedoch immer erst als letzte Möglichkeit in Betracht gezogen werden. Neben der Verringerung der internen und externen Lasten (Verschattungsmaßnahmen, Verringerung des Glasflächenanteils, Einsatz von energiesparenden Geräten, guter U-Wert der Außenwand, etc.) sind zum Einen thermische Speichermassen an sich und zum Anderen vor allem Maßnahmen zur thermischen Entladung der Speichermassen dazu geeignet, die Raumlufttemperaturen im Sommer zu verringern und so einer Überhitzungssituation entgegenzuwirken.</p>
Passive Kühlsysteme	<p>Vorteilhaft ist es hier, sogenannte passive oder zumindest hybride Kühlsysteme zu verwenden, da sie im Betrieb keine oder nur wenig Energie im Vergleich zu aktiven Systemen benötigen. Unter passiven und hybriden Kühlsystemen werden Klimatisierungssysteme verstanden, welche ein Gebäude ohne den Einsatz einer Kältemaschine im Sommer auf angenehmen Temperaturen halten können. Hybride Systeme nutzen hierbei Ventilatoren, Pumpen und Regelungen. Sie sollten im Allgemeinen einen wesentlich geringeren End- und Primärenergieeinsatz haben als aktive Systeme.</p>
Natürliche Wärmesenken	<p>Solche Systeme erlauben es, mit sehr einfachen Maßnahmen natürliche Wärmesenken (z.B. kühles Erdreich, kalte Nachtluft oder auch kühle Gewässer) zu verwenden, indem sie gezielt Wärme abführen und Speichereffekte nutzen. Aufgrund der beschränkt nutzbaren Temperaturniveaus der Wärmesenken passiver Kühlsysteme ist es unerlässlich, durch Gebäude- und Ausstattungsoptimierungen die spezifische Kühllast auf einen Richtwert von max. 45 W/m² an zu senken. Zimmermann [Zimmermann,</p>

1999] geht davon aus, dass bei einem täglichen maximalen Kühlenergiebedarf von mehr als $250 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ ein konventionelles oder zumindest ein hybrides Kühlsystem notwendig wird. Die Möglichkeiten die Kühllast zu reduzieren bzw. verschiedene passive Kühlsysteme werden im Folgenden kurz zusammengefasst und in den weiteren Abschnitten näher diskutiert:

- Reduktion der äußeren Lasten und bauliche Maßnahmen
 - Speichermassen
 - feststehende Verschattung
 - flexible Verschattung
 - Fenstergrößen und Orientierung
 - Sonnenschutzverglasung
- Reduktion der inneren Lasten
 - Bürogeräte
 - Beleuchtungssysteme
 - Nutzerverhalten
- Passive Kühlkonzepte
 - Lüftungssysteme (Nachtauskühlung)
 - Erdreichgekoppelte Systeme (Luft oder Wasser)

V.1 Reduktion der äußeren Lasten (bauliche Maßnahmen)

Sommertauglichkeit

Die Sommertauglichkeit von Wohngebäuden wird in Österreich generell durch die Normen über den Wärmeschutz (ÖNORM B 8110-T3: Wärmeschutz im Hochbau; Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse) gewährleistet. Zukünftig wird die Erreichung der in dieser Norm definierten Werte über die EU Gebäuderichtlinie in den Bauordnungen vorgeschrieben werden. Damit soll der Einsatz von aktiver Klimatisierung im Wohnbau vermieden werden, was für mitteleuropäisches Klima leicht erreichbar sein sollte. Für Bürogebäude ist das jedoch aufgrund der Nutzung (hohe interne Wärmequellen) nicht so leicht zu realisieren. Hier schreibt die Richtlinie 6 des OIB Leitfadens einen maximalen Kühlbedarf von $1 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ a})$, bei Annahme von gleichen inneren Lasten wie für Wohngebäude, vor. Gerade für Bürogebäude wäre ein gutes Raumklima wünschenswert, da durch Überhitzung die Arbeitsleistung beeinträchtigt wird und damit wirtschaftliche Einbußen für das betroffene Unternehmen entstehen.

Arbeitsleistung

Ein Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur und Leistungsfähigkeit findet sich in diversen Arbeiten (z.B. [Seppänen et al., 2005]; [Zimmermann, 1999]). Die Bewertung fällt jedoch je nach Studie unterschiedlich aus, da die Messung der Produktivität (vor allem bei geistiger Tätigkeit) ein Problem darstellt. Auch die Verfälschung der Ergebnisse durch andere Aspekte wie z. B. die Motivation der Testpersonen lassen sich nur schwer quantifizieren. Als Beispiel sei hier das Ergebnis einer Studie angegeben [Seppänen et al., 2005], das unter anderem zeigt, dass ab einer Raumlufttemperatur von 25°C je $^\circ\text{C}$ Temperaturerhöhung von einem 2 % -igen Leistungsverlust ausgegangen werden kann.

Rechtliche Probleme

Aber nicht nur durch reduzierte Arbeitsleistung sondern auch rechtlich können Probleme auftreten. Beim vielzitierten „Bielefelder Klimaurteil“ des Bielefelder Landesgerichts vom 16.4.2003 handelt es sich um ein Gerichtsurteil, das den Vermieter verpflichtet, sein Gebäude mit Klimaanlage nachzurüsten, da für deutsche Arbeitnehmer bis zu einer Außenlufttemperatur von 32°C nur eine maximale Raumlufttemperatur von 26°C zumutbar ist. Bei höheren Außenlufttemperaturen muss es im Innen-

raum um mindestens 6°K kühler sein als die Außenlufttemperatur [Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.].

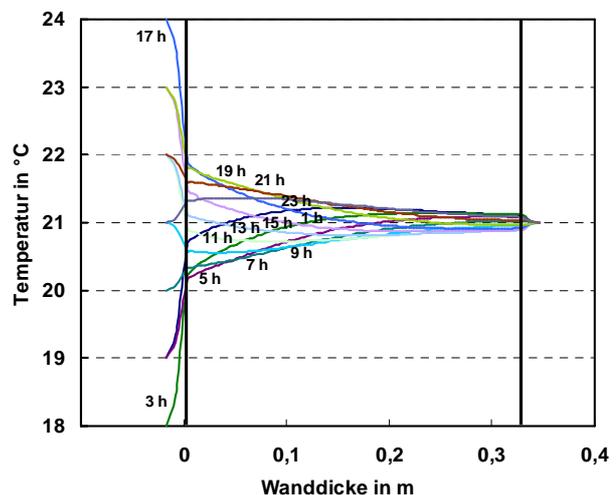
V.1.1 Speichermasse

Die Speichermasse des Gebäudes ist das Stabilisierungselement der Raumlufttemperatur. Grundsätzlich gilt, dass die Raumlufttemperaturen umso gleichmäßiger sind, desto größer die Speichermasse des Gebäudes ist. Große Speichermassen glätten generell die Temperaturschwankungen über 1-2 Tage. Für die Temperaturschwankungen innerhalb eines Tagesverlaufes sind die Oberflächenspeichermassen im Innenraum von ausschlaggebender Bedeutung. Eine weitere wichtige Komponente in Zusammenhang mit der Speichermasse ist der Wärmeeindringkoeffizient. Dieser ist ein Maß für kurzfristige Auswirkungen auf die Raumlufttemperatur und ist oft bei der Effizienz einer Nachtlüftung der ausschlaggebende Faktor. Je höher der Wärmeeindringkoeffizient ist, desto schneller kann die Wärme durch die Speichermasse aufgenommen bzw. abgegeben werden. Die Wärmespitzen am Tag können somit aufgenommen und bei Nacht wieder abgegeben werden. Speichermassen dürfen dabei natürlich nicht thermisch vom Raum entkoppelt sein (z.B. Betondecke über abgehängter Decke oder Betonboden unter aufgeständertem Boden).

Bei fehlender oder geringer Speichermasse und kleinem Wärmeeindringkoeffizienten müssen die Wärmelasten sofort durch die Lüftung oder das Kühlsystem abgeführt werden. Bei hohen Außenlufttemperaturen besteht somit keine Möglichkeit Spitzenlasten zu puffern und zeitverzögert abzugeben.

Die nachfolgende Fig. 69 zeigt exemplarisch für eine Wand aus Beton (Speicherwand), wie sich die Wandtemperaturen im Tagesverlauf – während dessen die Raumlufttemperaturen um 6 K auf einer Seite variieren – verändern.

Fig. 69: Temperaturverlauf in einer Wand mit Einstrahlung und wechselnder Temperatur (24 Stunden Schwankung) an einer Seite (links) [Streicher, W. 2005]



Die in dieser Wand im Tagesverlauf unter den zugrunde gelegten Randbedingungen gespeicherte und wieder abgegebene Energiemenge beträgt dabei 0,076 kWh/(m²d). Eine signifikante Änderung der Temperatur ist dabei nur bis in ca. 15 cm Wandtiefe festzustellen. Diese hier betrachtete Wand dicker auszuführen führt demnach zu keiner weiteren Wärmespeicherung, wenn man eine Temperaturschwankung von 24 Stunden betrachtet.

Dynamische Thermische Speicherfähigkeit von Baustoffen (Vergleiche mit dem Kapitel I.3.5)

Materialkenngrößen:

Dichte des Baustoffes einer Bauteilschicht:	ρ [kg/m ³]
Wärmeleitfähigkeit der Bauteilschicht:	λ [W/(mK)]
Spezifische Wärmekapazität:	c_p [kJ/(kgK)]

Abgeleitete Materialkenngrößen:

Temperaturleitfähigkeit:	a [m ² /s]
Wärmeeindringtiefe:	σ [m]
Wärmeeindringkoeffizient:	b [W/(m ² Ks ^{1/2})]

Die Bewertung unterschiedlicher Konstruktionsaufbauten kann durch die folgenden Berechnungsansätze erfolgen. Nach der Näherung einer unendlich dicken Schicht (nach [Keller, 1997]), ermittelt sich der flächenbezogene Wärmespeicherfähigkeit:

$$C_{\infty} = \sqrt{\frac{T}{\pi}} \cdot b$$

Hier ist T die Periodendauer der Temperaturschwankung (z.B. T = 1 Tag = 86400 Sekunden) und b ist der oben erwähnte Wärmeeindringkoeffizient, der sich aus folgender Formel ergibt:

$$b = \sqrt{\rho \cdot c_p \cdot \lambda}$$

In diesem Zusammenhang ist auch die Wärmeeindringtiefe σ von Interesse, die man mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnet:

$$\sigma = \sqrt{\frac{T \cdot a}{\pi}} = \sqrt{\frac{T \cdot \lambda}{\pi \cdot c_p \cdot \rho}}$$

Berücksichtigt man den Schichtaufbau mit endlichen Schichtdicken (nach [Clemens, 2000]) so berechnet sich die Wärmespeicherfähigkeit der thermisch wirksamen Masse (C_{TWM}) eines Schichtaufbaus in kJ/(m²K) nach folgender Formel:

$$C_{TWM} = \sqrt{2} \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \sqrt{\frac{\lambda_i \rho_i c_{p,i}}{\omega}} \left[1 - \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{2a_i}} d_i\right) \right] \cdot \prod_{j=1}^{i-1} \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{2a_j}} d_j\right) \right\}$$

wobei a die Temperaturleitfähigkeit $a = \lambda / (c_p \cdot \rho)$ einer Schicht bezeichnet. Diese Größe gibt die auf die Bauteilfläche bezogene thermische Speicherfähigkeit eines Schichtaufbaus bei Temperaturschwankungen mit einer Kreisfrequenz $\omega = 2\pi/T$ an.

In der nachfolgenden Tabelle (Fig. 70) ist ein Beispiel für einen Wandaufbau einer Außenwand angegeben (C_{TWM} wird jeweils für die Innenseite und Außenseite des Konstruktionsaufbaus angegeben).

Bauteilschicht	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	c_p [kJ/(kg·K)]	R [(m·K)/W]	U [W/(m ² ·K)]	C_{TWM} [Wh/(m ² ·K)]	
							innen	außen
Gips/Kalk Innenputz	0.015	1200	0.600	1.000	0.025	0.276	4.69	0.22
Hochlochziegel	0.250	840	0.272	0.920	0.919		17.12	11.77
EPS Dämmplatte	0.100	17	0.040	1.450	2.500		0.04	0.53
Dünnschichtdeckputz	0.003	1800	0.700	1.000	0.004		0.06	1.48
	0.368						21.91	14.00

Fig. 70: Thermische Eigenschaften eines Außenwandaufbaus mit Hochlochziegel, EPS Dämmung und Gips/Kalk Innenputz [Puschnig, Mach, 2006]

V.1.2 Auswirkung der Wandaufbauten auf die Überwärmung

In einer Studie von [Mach und Kouba, 2002] wurden für ein Wohngebäude die Auswirkungen von 12 unterschiedlichen Wandaufbauten auf den Heizwärmebedarf und die sommerlichen und winterlichen Raumluft- und Wandtemperaturen untersucht. Die Fig. 71 zeigt das untersuchte Gebäude bzw. die im Detail untersuchte Zone des Gebäudes.

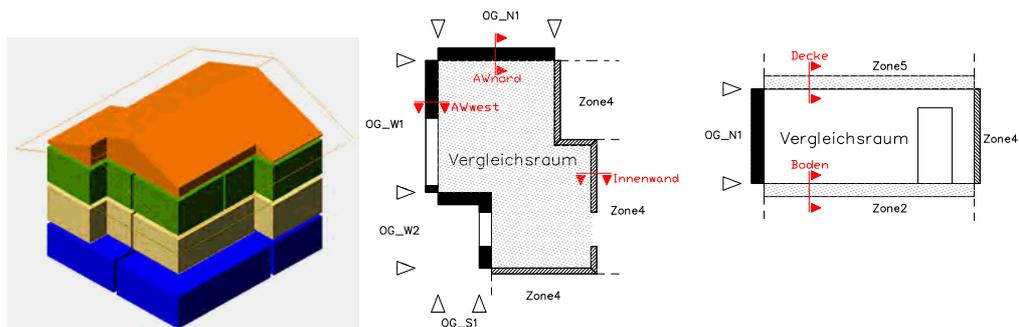
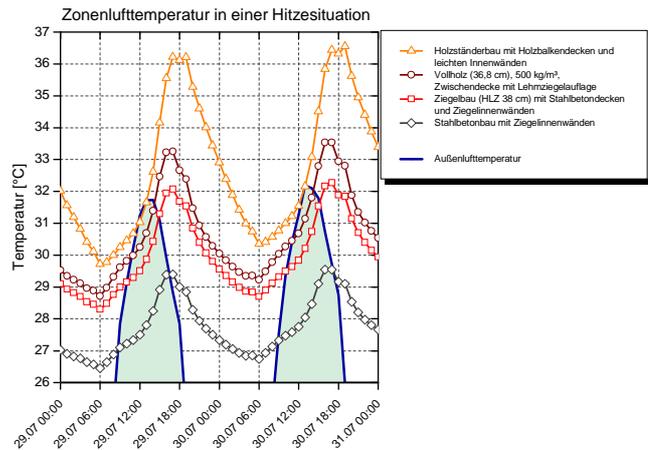


Fig. 71: Gebäudeschema und im Detail analysierte Raumzone im 1. OG [Mach, Kouba, 2002]

Als Beispiel ist in Fig. 72 der Verlauf der Raumlufttemperaturen für eine extreme Hitzeperiode gezeigt. Hierbei ist zu beachten, dass die Vergleichszone und auch das restliche Vergleichsgebäude als unverschattet angenommen wurden. Die auftretenden Temperaturspitzen zeigen deutlich die Überhitzungsgefährdung der leichten Holzständerkonstruktion. Auffällig zeigt sich die Zeitverschiebung zwischen dem Auftreten der Außenlufttemperaturspitzen und der Raumlufttemperaturspitzen. Der Grund dafür liegt in der durch die westlich ausgerichteten Fenster in den Raum einfallenden Solarstrahlung. Durch den Einfluss der Solarstrahlung wird das Tagesmaximum der Raumlufttemperatur erst zu einem Zeitpunkt erreicht zu dem die Außenlufttemperatur schon weit unter das Tagesmaximum gefallen ist.

Die Wandkonstruktion mit den größten wirksamen Speichermassen (Stahlbetonaußenwand mit Ziegelinnenwänden) hat die deutlich geringsten Übertemperaturen. Simuliert wurde der gesamte Jahreszeitraum und nur als Beispiel werden zwei heiße Sommertage gezeigt, um die Problematik der Überhitzung zu dokumentieren und die Unterschiede aufzuzeigen.

Fig. 72: Die Lufttemperaturen des Vergleichsraumes im definierten Einfamilienhaus mit unterschiedlichen Wandaufbauten in einer extremen Hitzeperiode [Mach, Kouba, 2002]



V.1.3 Einfluss der Verschattung

Fixe Verschattung

Eine Abschattung der Direktstrahlen der hoch stehenden Sonne im Sommer kann ohne großen Mehraufwand durch eine geeignete Gebäudeausbildung z. B. durch Balkone oder Vorsprünge erreicht werden. Der Vorteil derartiger feststehender Verschattungseinrichtungen liegt in der Einfachheit und dauerhaften Funktion, da bewegliche Teile fehlen und keine Regelung notwendig ist.

Süden

Sie müssen jedoch bereits in der Entwurfsphase vorgesehen werden und nach Süden ausgerichtet sein. Dann kann im Sommer bei dem dann gegebenen hohen Sonnenstand eine gute Verschattung und im Winter eine ungehinderte Einstrahlung in das Gebäude – infolge der dann tief stehenden Sonne – sichergestellt werden (Fig. 73). Solche feststehenden Verschattungselemente vermindern allerdings die Effizienz der passiven Sonnenenergienutzung, da sie auch in den Übergangszeiten (Frühling und Herbst), in denen noch eine Heizung benötigt wird, zu einer Teilverschattung der transparenten Flächen führen können.

Osten / Westen

Bei einer Ausrichtung von Verglasungen nach Osten oder Westen dringt demgegenüber auch im Sommer die Strahlung der tiefer stehenden Sonne weit ins Gebäude ein und im Winter kommt aus diesen Himmelsrichtungen nur eine geringe Einstrahlung.

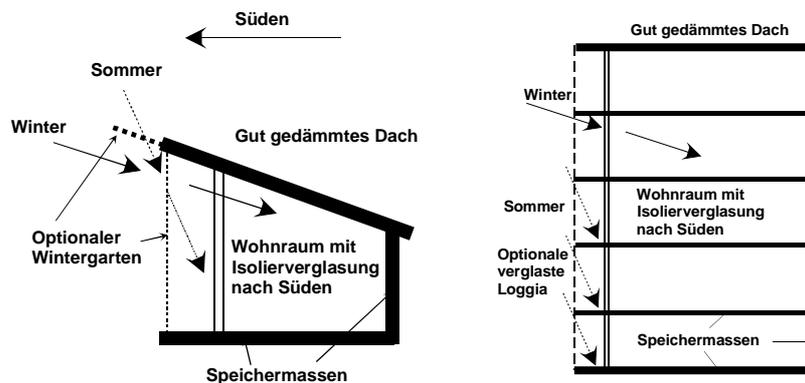


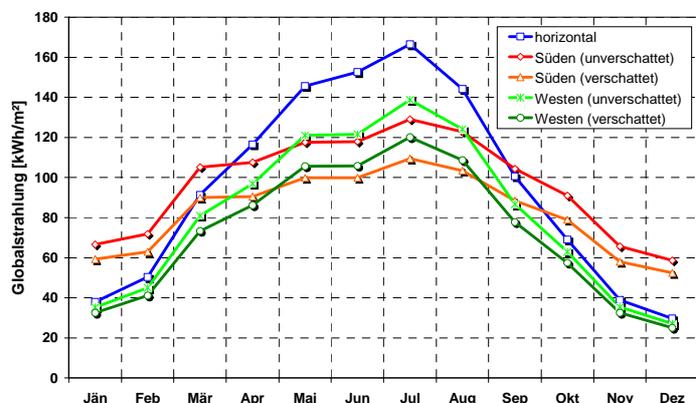
Fig. 73: Abschattung von transparenten Gebäudeflächen durch Dachüberstände (Einfamilienhaus links; Mehrfamilienhaus rechts) [Streicher 2005]

Die Verschattung von Gebäuden ist damit von folgenden Parametern bzw. Einflussfaktoren abhängig:

- Verschattung durch den Horizont; sie kann zum Beispiel mit Hilfe des Sonnenweg-Diagramms ermittelt werden
- Verschattung durch herausragende Elemente; hier wird unterschieden zwischen Verschattungen durch Überhänge und durch seitliche Überstände

In der folgenden Abbildung (Fig. 74) sieht man, dass für eine südgerichtete Fläche (3 m Höhe und 1 m Breite) die auftreffende Globalstrahlung (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung) in den Sommermonaten alleine schon aufgrund der hochstehenden Sonne geringer ist, als auf die Horizontale. Die Werte werden durch einen feststehenden Überhang von 1,5 m und 1 m Breite direkt über der Empfängerfläche noch weiter reduziert. Dabei ergibt sich jedoch auch in den Wintermonaten eine etwas geringere Einstrahlung.

Fig. 74: Monatssummenwerte der Globalstrahlung auf die Horizontale und auf eine nach Süden bzw. Westen gerichtete vertikalen Fläche (3 m Höhe und 1 m Breite) unverschattet und mit einem 1,5 m auskragenden Überhang (1 m Breite) für den Standort Damaskus (Syrien)

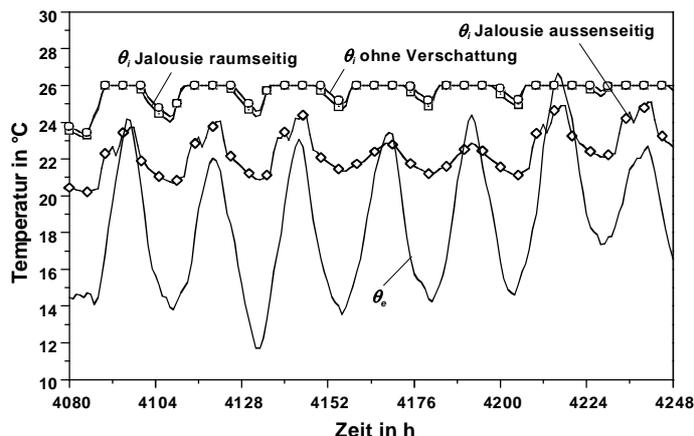


Variable Verschattung

Außer durch derartige feststehende Verschattungseinrichtungen können passive Solareinträge auch durch verstellbare Verschattungseinrichtungen geregelt werden. Übersteigt beispielsweise der solare Wärmegewinn die notwendige, durch das solare System zu deckende, Wärmenachfrage im passiv solar beheizten Raum oder Gebäude, kann zur Verhinderung einer Raumüberwärmung die solare Eintragsfläche abgeschattet werden. Außen liegende Verschattungen wie Jalousien und Rollläden geben dabei die absorbierte Strahlungswärme wieder an die Umgebungsluft ab und sind daher effizienter als innen liegende Verschattungseinrichtungen. Dagegen sind innen liegende Systeme (z. B. Folienrollläden, Plisseestores) nicht der Witterung ausgesetzt und daher konstruktiv einfacher und günstiger zu gestalten.

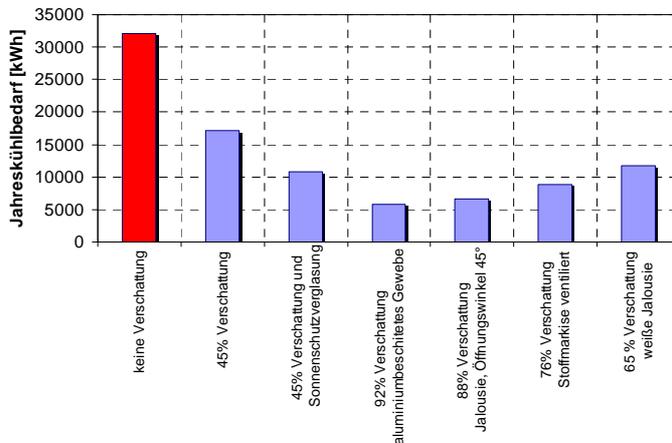
Fig. 75 zeigt exemplarisch die mittels dynamischer Gebäudesimulation berechnete Raumlufttemperatur eines Gebäudes ohne und mit zwei verschiedenen Verschattungseinrichtungen im Verlauf einer Sommerwoche mit Außenlufttemperaturen θ_e zwischen 12 und 27°C unter Berücksichtigung der passiven solaren Gewinne. Dabei wird bei diesem Beispiel über 26°C Raumlufttemperatur eine aktive Kühlung des Gebäudes angenommen; deshalb steigen die Raumlufttemperaturen θ_i nicht über diesen Wert. Deutlich wird aus dieser Darstellung u.a., dass raumseitig angebrachte Jalousien die Raumlufttemperaturen nur geringfügig senken können. Mit außen liegenden Jalousien kann die Temperatur im Gebäudeinneren demgegenüber um einige Kelvin gesenkt werden. Im vorliegenden Fall ist bei Verwendung von Außenjalousien keine zusätzliche Kühlung mehr erforderlich.

Fig. 75: Einfluss der Verschattung durch innen liegende und außen liegende Jalousien (θ_e Außenlufttemperatur, θ_i Raumlufttemperatur) [Heimrath, 2000]



Die Fig. 76 zeigt beispielhaft den Einfluss von Verschattungselementen auf den Kühlenergiebedarf für ein Bürogebäude. Im Vergleich zur unverschatteten Variante lässt sich der Jahreskühlbedarf mit einer einfachen Verschattung von 45 % schon auf die Hälfte reduzieren. Bei Verwendung einer hocheffizienten Verschattung in Form eines aluminiumbeschichteten Gewebes kann sogar eine Reduktion auf etwa 1/5 erreicht werden. Es zeigt sich also, dass die Verschattung von transparenten Flächen eines Gebäudes einen sehr deutlichen Einfluss auf den Jahreskühlbedarf für das Gebäude hat.

Fig. 76: Änderung des Jahreskühlbedarfs bei unterschiedlichen, außen liegenden Verschattungsvarianten bei schwerer Bauweise, mittleren Lasten und Klimadaten von Graz 1998 (nach [Fink et al., 2002])



V.1.4 Orientierung, Größe und Art der Fenster

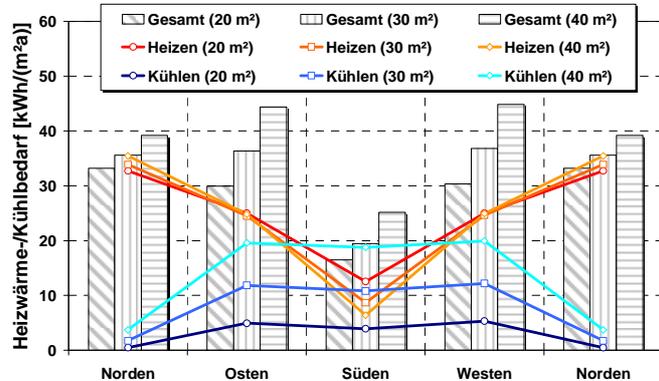
Wesentlich sind auch Orientierung und Größe der Fenster. Um diesen Einfluss zu zeigen, sei hier eine Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs für ein Gebäudemodell eines Einfamilienhauses angeführt (Referenzgebäudemodell IEA – SHC Task 32 [Heimrath, Haller, 2007], in Massivbauweise; Nutzfläche: 140 m²; Klimadaten: Graz; vorgegebenes Lastprofil der internen Lasten; geregelte Ventilation, Heizung und Kühlung; Verschattung wurde keine angenommen). Um den Effekt deutlich zu machen, wurde in nur einer Fassade ein Fenster (3-Scheiben Verglasung; U-Wert: 0,52 W/(m²K); g-Wert: 0,585) angenommen.

Orientierung

Das Gebäudemodell wurde anschließend so orientiert, das die Fassade mit dem Fenster jeweils in die vier Himmelsrichtungen zeigt. Es ergeben sich für die unterschiedlichen Fenstergrößen und Ausrichtungen die in folgender Abbildung (Fig. 77) darge-

stellten Verhältnisse. Man beachte, dass für das südgerichtete Fenster weniger Kühlbedarf errechnet wird, als für das nach Osten oder Westen gerichtete.

Fig. 77: Änderung des Heizwärme- und Kühlbedarfs für verschiedene Orientierungen und Größen einer Fensterfläche in nur einer Fassade eines Gebäudes (vergleiche mit Kap. I.2.3)



Für die Heizung ergibt sich dafür natürlich für die Südorientierung ein deutlich geringerer Energiebedarf als für die anderen Orientierungen. Der Einfluss der Fenstergröße auf den Kühlbedarf ist deutlich größer, als auf den Heizwärmebedarf.

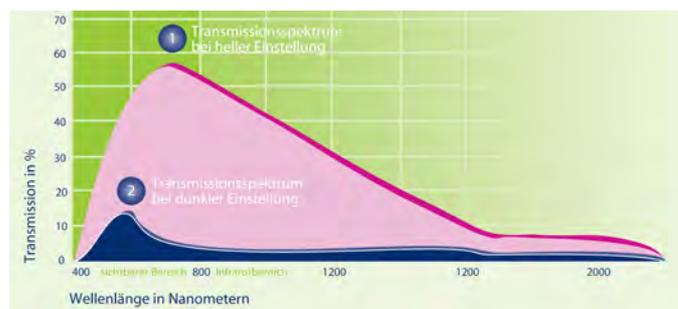
U-Wert / g-Wert

Abschließend sei noch angesprochen, dass sich bei verbessertem U-Wert der Verglasung auch der Energiedurchlassgrad (g-Wert) verringert. Die g-Werte werden von den Fensterherstellern angegeben und alleine durch die Auswahl der Fensterart lässt sich der solare Energieeintrag durch dieselben beeinflussen. Zusätzlich kann auch Sonnenschutzverglasung verwendet werden. Hierbei handelt es sich um metallbedampfte Scheiben, die eine deutlich geringere Transmission im kurzwelligen Bereich des Strahlungsspektrums aufweisen, was zu einem kleineren Solareintrag durch die Verglasung führt. Zu beachten ist jedoch, dass dabei natürlich auch in den Wintermonaten nur ein reduzierter solarer Energieeintrag zu erwarten ist.

Schaltbare Gläser

Um dieses Problem zu umgehen, können sogenannte schaltbare Verglasungen eingesetzt werden, die jedoch noch keine ausreichende Langzeitstabilität aufweisen [Treiberspurg et al., 2007]. Drei unterschiedliche Möglichkeiten sollen hier nur kurz erwähnt werden. Bei der thermotropen Verglasung lagern sich die Moleküle einer integrierten Gelschicht bei einer bestimmten Außenlufttemperatur zusammen und die Scheibe wird lichtundurchlässig. Elektrochrome Verglasungen (Transmissionsverhalten siehe Fig. 78 besitzen eine Beschichtung, die bei Anlegen einer kleinen Spannung das Transmissionsverhalten ändert. Eine dritte Möglichkeit ist die Verwendung von holografischen Folien auf der Verglasung, die steil einfallende Solarstrahlung (hoch stehende Sonne; Sommer) reflektieren und flach einfallende (tief stehende Sonne; Winter) hindurch lassen.

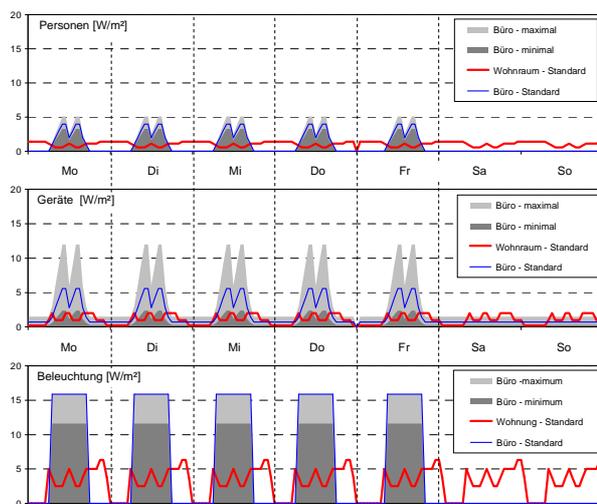
Fig. 78: Transmissionseigenschaften einer elektrochromen Scheibe [Inno, 2002]



V.2 Reduktion der inneren Lasten

Bürogeräte Für die internen Lasten von Bürogebäuden sind vor allem Bürogeräte wie Computer, Monitore, Kopierer, Faxgeräte und Scanner, Beleuchtungseinrichtungen und die Abwärme der anwesenden Personen zu nennen. Hierbei stellen die Bürogeräte in der Regel die bedeutendste interne Last dar. Die Leistungsaufnahmen der meisten Bürogeräte haben sich in den letzten Jahren durch den technologischen Fortschritt deutlich reduziert. Zum Beispiel liegt der Jahresverbrauch eines alten PCs (ohne Monitor) bei etwa 172 kWh/a während neue Geräte nur in etwa 36 kWh/a verbrauchen. Werte für die Wärmelasten von Bürogeräten finden sich in diversen Richtlinien (z.B. ÖNORM B 8110-T5; BFE, 1997; VDI 2078, 1996; VORNORM DIN V 18599-10, 2005; SIA-Merkblatt 2024, 2006). Als Beispiel für interne Wärmeeinträge von Belegung, Beleuchtung und Geräten ist in der folgenden Abbildung (Fig. 79) ein Wochenschema angeführt in dem die minimalen und maximalen Werte für ein Büro mit den Standardwerten für ein Büro und eine Wohnung verglichen werden. In diesem Fall sind die Werte dem SIA-Merkblatt 2024, 2006 entnommen. Die konstant hohen Werte für die Beleuchtung in einem Büro ergeben sich aus dem Umstand, dass das Licht während der gesamten Bürozeit eingeschaltet ist. Für Einschaltzeiten gibt das Merkblatt keine Richtwerte an, da diese über die Beleuchtungsstärke (die von der Solarstrahlung abhängig ist) bestimmt werden müssen.

Fig. 79: Wochenschema des Wärmeeintrags durch innere Wärmen für Büro und Wohnung aus dem SIA- Merkblatt 2024, 2006



Beleuchtung Trotz reduzierter Leistungsaufnahme neuer Geräte steigen die internen Lasten für diesen Bereich, da die Gerätedichte und die tägliche Betriebsdauer zunehmen (z.B. Ganztagsbetrieb von Serversystemen). Auch das Beleuchtungssystem kann bei ineffizienten Produkten und entsprechend hohen Betriebsstunden zu großen Wärmelasten führen. Moderne Beleuchtungssysteme sind mit 5 – 10 W/m² bei einer Beleuchtungsstärke von 300 – 500 Lux realisierbar [Fink et al., 2002]. Welche Beleuchtungsstärke notwendig ist hängt von der Art der Tätigkeit im betreffenden Raum ab. Richtwerte dazu findet man wieder in den bereits erwähnten Richtlinien.

Personen Auch die Abwärme von Personen darf in dieser Betrachtung nicht vernachlässigt werden. Bei typischen Büroarbeiten gibt eine Person etwa 120 W Wärmeleistung bei 23°C Raumlufttemperatur ab [VDI 2078, 1996]. Für typische Belegungsdichten ergeben sich damit 5 - 7 W/m² während der Betriebsstunden [Zimmermann, 1999].

Um die internen Lasten zu reduzieren, ist also darauf zu achten neuwertige und damit energiesparende Geräte einzusetzen. Zusätzlich sollten Geräte nur im Bedarfsfall in Betrieb sein. Viele moderne Geräte bieten einen Standby-Modus an, der deutlich weniger Energie benötigt. Für Serversysteme bietet sich ein getrennter Serverraum an, der extra klimatisiert werden kann und damit nicht die Büroräume belastet (wobei hier natürlich immer überprüft werden muss, ob man mit verteilten Lasten, also ohne extra Serverraum, nicht einen niedrigeren Gesamtenergieverbrauch erreichen kann). Auch die künstliche Beleuchtung sollte bedarfsabhängig ein- und ausgeschaltet werden. Dazu greift die moderne Lichtregelung auf Präsenzmelder und Tageslichtsensoren zurück.

V.3 Passive Kühlsysteme

V.3.1 Nachtlüftung

Das mitteleuropäische Klima bietet gute Voraussetzungen für die passive Kühlung mit natürlicher und mechanischer Lüftung, da auch während der heißesten Sommertage die Nächte zumeist auf unter 20°C abkühlen. Diese Temperaturen können bei der Einhaltung definierter Rahmenbedingungen ausreichen, um die Wärmelasten des Tages abzuführen.

Die wesentlichen Rahmenbedingungen für das Konzept der Nachtlüftung sind:

- Begrenzung der Wärmelasten (Summe aus internen und externen Lasten)
- Speichermasse im Gebäudeinneren
- auf die Nachtlüftung abgestimmtes Lüftungskonzept

Das generelle Problem einer Kühlung über Luft liegt in der geringen Wärmemenge, welche über die Luft transportiert werden kann (nur 1/3300 im Vergleich zu Wasser bei gleichem Volumenstrom und gleicher Temperaturdifferenz).

Für die Einsatzmöglichkeit gibt [Zimmermann, 1999] an, dass bei einem erforderlichen Kühlbedarf unter 150 Wh/(m²d) die Lasten mit einem geeigneten Lüftungskonzept bewältigt werden können wenn die Außenlufttemperatur mindestens 6 h unter 21°C liegt (was im mitteleuropäischen Klima fast immer gewährleistet ist). Es sollte zumindest eine mittelschwere Bauweise mit speicherwirksamer Masse über 300 kg/m² Nettogeschoßfläche für den betrachteten Raum angestrebt werden.

Den mechanischen Lüftungssystemen sind bezüglich Luftwechselraten Grenzen gesetzt. Luftwechselraten von 2 - 4 h⁻¹ sind jedoch noch vertretbar, werden höhere Luftwechselraten gefahren steigt der Strombedarf für die Ventilation überproportional. Eine Nachtkühlung mit einem zentralen System im Vergleich zu anderen passiven Systemen ist eher als ineffizient einzustufen [Fink et al., 2002]. Nachtkühlung mit einer mechanischen Lüftungsanlage sollte also mit besonderer Sorgfalt geplant werden. Die Vorteile zur Fensterlüftung sind die Kontrollierbarkeit, die Möglichkeit zur Installation von Filtern für die Verbesserung der Luftqualität bei ungenügender Außenluftqualität und die Reduktion der Lärmbelastung im Innenraum bei starkem Außenlärm.

Beispiel Mit dem folgenden Zusammenhang lässt sich die mit Luft erreichbare spezifische Kühlleistung berechnen:

$$\dot{q}_{\text{Luft}} = \rho_{\text{Luft}} \cdot c_{p\text{Luft}} \cdot \dot{V}_{\text{Luft}} \cdot (T_{\text{Luft,in}} - T_{\text{Luft,aus}}) = 0,34 \cdot \dot{V}_{\text{Luft}} \cdot (T_{\text{Luft,in}} - T_{\text{Luft,aus}})$$

Mit:

\dot{q}_{Luft} Wärmeleistung [W]

ρ_{Luft} Dichte der Luft: 1,205 kg/m³

$c_{p\text{Luft}}$ spez. Wärmekapazität der Luft : 1005 J/(kgK)

$\rho_{\text{Luft}} \cdot c_{p\text{Luft}} = 1211 \text{ J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) = 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$

\dot{V}_{Luft} Volumenstrom der Luft m³/s

$(T_{\text{Luft,in}} - T_{\text{Luft,aus}})$ Temperaturdifferenz Lufteintritt – Luftaustritt in °C

Unter den Annahmen:

$T_{\text{Luft,in,min}}$ 18°C minimalen Einblasetemperatur ohne Einbußen der Behaglichkeit (außerdem Außenlufttemperatur in warmen Sommernächten)

$T_{\text{Raum}} = T_{\text{Luft,aus}}$ 26°C maximale Raumlufttemperatur (Behaglichkeitsgrenze)

h_{Raum} 2,5 m Raumhöhe

n 0,5 h⁻¹ Luftwechselrate

ergibt sich eine spezifische, maximale Kühlleistung von:

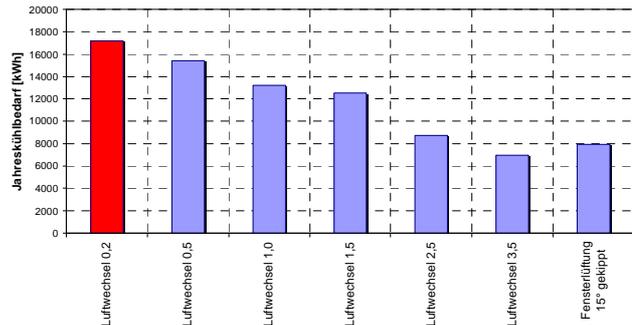
$$\dot{q}_{\text{Luft,spez}} = 0,34 \cdot n \cdot h_{\text{Raum}} \cdot (T_{\text{Luft,in}} - T_{\text{Luft,aus}}) = 0,34 \cdot 0,5 \cdot 2,5 \cdot 8 = 3,4 \text{ W} / \text{m}^2$$

Diese geringe Leistung (siehe Beispiel) kann entweder durch die Erhöhung der Luftwechselrate (Erhöhung der Geschwindigkeit oder Vergrößerung des Querschnittes) oder durch eine (unbehagliche und daher problematische) Verringerung der Einblasetemperatur erhöht werden.

Aufgrund der klimatischen Bedingungen in Mitteleuropa (auch während der Sommermonate stehen zumeist Nachtaußenlufttemperaturen unter 20°C zur Verfügung) sind für die passive Kühlung mittels Nachtlüftung verhältnismäßig gute Voraussetzungen geschaffen. Natürliche Lüftung braucht hohe Luftwechselraten (siehe oben) und damit entsprechende Lüftungsöffnungen und Druckdifferenzen, wobei die Lage der Lüftungsöffnungen eine wesentliche Rolle spielt. Auch die Ausnutzung der Thermik über mehrere Geschoße – über Atrien oder Treppenhäuser – kann interessant sein. Allerdings funktioniert der thermische Auftrieb nur, wenn die Raumluft wärmer ist als die Außenluft. Der Grund dafür liegt in der Druckdifferenz, die durch Temperaturunterschiede und Wind entsteht. Der Luftwechsel erhöht sich mit zunehmender Differenz zwischen Außen- und Raumlufttemperatur. Bei der natürlichen Lüftung können dabei über offene Fenster große Luftbewegungen (Luftwechselraten über 10 h⁻¹ sind möglich) erreicht werden [Zimmermann, 1999]. Die nächtliche Fensterlüftung hat den Vorteil, dass sie bei guter Effizienz grundsätzlich sehr einfach (basierend auf Temperatur- und somit Druckunterschieden zwischen Raumluft und Außenluft) und somit kostengünstig (geringe Investitionskosten, keine Kosten im Betrieb) umzusetzen ist. Nachteilig kann sich jedoch bei unkontrollierter Lüftung ein unerwünschter Wärmeeintrag am Tag auswirken, wenn die Fenster nicht geschlossen werden. Außerdem erfordern natürliche Nachtentwärmungskonzepte ein entsprechendes Benutzerverhalten sowie einen Witterungs- und Einbruchschutz, die bei der Gestaltung des Gebäudes berücksichtigt werden müssen.

Die Nutzung der im Sommer verhältnismäßig kühlen Nachtluft zur Raumkühlung wurde in der Arbeit von [Fink et al. 2002] mit Hilfe einer Gebäudesimulation für ein Bürogebäude mit drei Geschossen (schwere Bauweise, mittlere innere und äußere Lasten; Klimadaten von Graz 1998; genaue Definitionen der Randbedingungen finden sich in [Fink et al. 2002]) untersucht. Die Ergebnisse zeigen bei natürlicher Fensterlüftung gute Ergebnisse, die eine Reduktion des Kühlenergiebedarfs um über 50 % versprechen (siehe Fig. 80).

Fig. 80: Änderung des Kühlenergiebedarfs bei unterschiedlichen nächtlichen Luftwechsellraten bei schwerer Bauweise, mittleren Lasten und Klimadaten von Graz 1998 (nach [Fink et al., 2002])



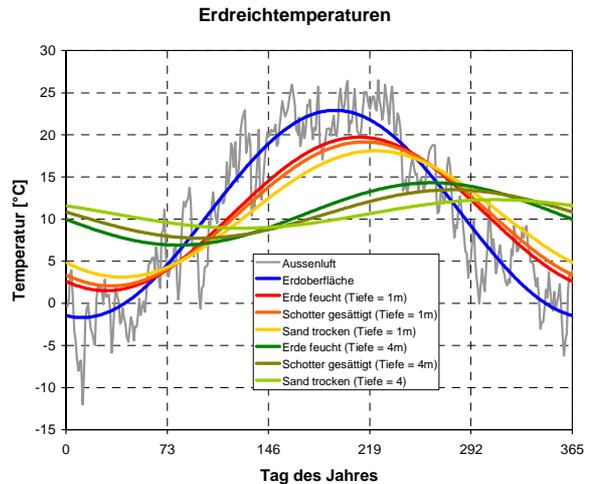
V.3.2 Erdreichgekoppelte Systeme (Luft oder Wasser)

Im Sinne einer Ressourcenschonenden Energieversorgung eines Gebäudes ist die Frage nach der Art der Rückkühlung von Bedeutung. Neben der Möglichkeit die Außenluft über Nachtauskühlung oder (Nass-)Kühltürme während der Nachtstunden als Wärmesenke zu verwenden bieten sich auch andere natürliche Kältequellen für den Rückkühlvorgang an. Eine davon ist das Erdreich, das in diesem Zusammenhang in seiner Eigenschaft als Langzeitspeicher für Umweltenergie betrachtet wird. Für den eigentlichen Energieaustausch zwischen dem Wärmeträger (Luft oder Wasser) und dem Erdreich können verschiedenste Systeme zum Einsatz kommen. Die Belegung von erdberührenden Gebäudeteilen mit Absorberleitungen (Pfahlwände, Schlitzwände, Fundamentplatten, etc.) ist ebenso möglich wie die freie Verlegung von Rohrregistern im Erdreich.

Das Prinzip, auf welchem der Einsatz von Erdreichwärmetauschern basiert, ist grundsätzlich ein sehr einfaches. Im Allgemeinen nutzen sie die saisonale thermische Speicherfähigkeit des Erdreichs, die sich in einer zeitlichen Verzögerung und Dämpfung des Temperaturverlaufs im Erdreich gegenüber dem Temperaturverlauf der Umgebungsluft zeigt. Die Fig. 81 zeigt die sich durch die Speicherfähigkeit des Erdreichs einstellende Dämpfung sowie die Phasenverschiebung im Jahresverlauf von Erdtemperaturen in unterschiedlicher Tiefe. Phasenverschiebung und Dämpfung bewirken in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Erdreichtemperatur somit eine Kühlung im Sommer bzw. eine Erwärmung der durchströmenden Luft im Winter.

Fig. 81: Jahrestemperaturverlauf der Außenluft, Erdoberfläche und dem Erdreich in verschiedenen Tiefen und Bodentypen, berechnet mit den Klimadaten Graz 2003

Bildquelle: [Schranzhofer]



Prinzipiell sind erdreichgekoppelte Systeme sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendbar. Da die Erdreichtemperatur immer unter der Raumlufttemperatur liegt, können die Systeme bei geringen Kühllasten und ausreichend vorhandenen Flächen direkt verwendet werden. Bei größeren Kühllasten wird eine reversible Wärmepumpe, mit der sowohl geheizt als auch gekühlt werden kann, eingesetzt, um das Erdreich auf höhere Temperaturen als die Raumluft aufheizen zu können. Im Heizfall muss somit jedenfalls eine Wärmepumpe eingesetzt werden, da das Temperaturniveau des Erdreichs im Winter zu niedrig ist, um direkt für die Heizung verwendbar zu sein. Werden die Systeme sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen eingesetzt, wird die Wärmespeicherfähigkeit des Erdreichs durch die Aufheizung im Sommer und Abkühlung im Winter besser genützt. Bei kleineren Systemen wird dabei immer ein großer Teil der Wärme vom Sommer im Herbst an das umgebende Erdreich abgeführt und umgekehrt das im Winter für die Heizung abgekühlte Erdreich im Frühling bereits wieder durch Wärme aus dem umgebenden Erdreich erwärmt. So können die hohen Temperaturen des Sommers im Winter und umgekehrt nicht genutzt werden.

Die einbringbare Kälte(Heiz)leistung ist abhängig von

- den thermischen Eigenschaften des Wärmeträgers (Luft oder Wasser)
- der Geometrie der Rohrleitungen in der Erde bzw. in den Gebäudeteilen
- der Geometrie und Lage der Gebäudeteile in der Erde
- der Beschaffenheit des Erdreichs (Dichte, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und ev. vorhandener Grundwasserstrom welcher die Wärme/Kälte abführt)
- den Betriebszeiten

Bei der zeitlichen Analyse (wie lange kann welche Leistung eingebracht bzw. im Heizfall entzogen werden) sind die letzten beiden Punkte von Bedeutung, da sie festlegen, wie schnell und wie viel Wärme das Erdreich bei welchen Temperaturänderungen aufnehmen bzw. abgeben kann. Bei Dauerbetrieb verringert sich die aufnehmbare Leistung mit einer exponentiellen Funktion gemäß des Speicherhaltens der Erde (außer bei Grundwassermassenstrom und somit kontinuierlicher Wärmeabfuhr).

V.3.2.1 Luft-Erdreichwärmetauscher (L-EWT) zur Vorkühlung der Zuluft bei kontrollierter Wohnraumlüftung

L-EWT sind grundsätzlich vielseitig einsetzbar. Am besten eignet sich der Einsatz von L-EWT in Systemen, wo ohnedies Luft als Wärmeträger verwendet wird. Da die nutzbare Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Erdreichtemperatur – und somit die erzielbare Leistung – begrenzt ist, soll der L-EWT so eingesetzt werden, dass er hinsichtlich hoher Erträge auch möglichst lange Laufzeiten erreichen kann. Effekte, wie beispielsweise Ermüdungserscheinungen des Erdreichs (zunehmende Erwärmung des Erdreichs), müssen hierbei aber berücksichtigt werden.

L-EWT können sinnvoll eingesetzt werden, wenn der erforderliche Luftvolumenstrom in der Größenordnung des hygienisch erforderlichen Luftwechsels liegt. Ansonsten steigen – ähnlich der mechanischen Nachtlüftung – sowohl Antriebsenergiebedarf als auch Kosten für Rohr- und Kanalnetz erheblich an. Damit kann der L-EWT nur zur Komfortkühlung ohne garantierte Raumlufttemperaturen eingesetzt werden. Der grobe Richtwert für die Leistungsfähigkeit eines L-EWT liegt bei etwa 300 Wh/m²d [Fink et al., 2002].

V.3.2.2 Wasser-Erdreichwärmetauscher (W-EWT) in Verbindung mit Betonkernaktivierung (BKA)

Im Prinzip funktioniert der Wasser-Erdreichwärmetauscher gleich wie der L-EWT. Durch die um den Faktor 4 höhere spezifische Wärmekapazität und um den Faktor 800 größere Dichte von Wasser sind jedoch wesentlich geringere Volumenströme notwendig, was wesentlich weniger Transportenergie benötigt. Das Hydraulikkonzept eines W-EWT stellt grundsätzlich einen geschlossenen Kreislauf zwischen Gebäude und Erdreich dar. Es kann somit, im Vergleich zum L-EWT, wesentlich einfacher auf die Anforderungen des Gebäudes durch Zu- oder Abschalten oder Ändern des Massenstromes durch den W-EWT reagiert werden. Die sich dadurch ergebenden Unterschiede zum L-EWT sind einerseits geänderte Temperaturniveaus am W-EWT Eintritt und andererseits die Möglichkeit, an der Kälteabgabeseite Speichermassen gezielt zu aktivieren (Betonkernaktivierung).

Im Folgenden wird eine Untersuchung zum zeitlichen Verhalten des Erdreichs über einen Sommermonat gezeigt [Kouba, Heimrath, 2002].

Die Kenndaten für das Rohrregister sind in Fig. 82 zusammengestellt. Die Außenlufttemperaturwerte (Stundenwerte) sind dem Klimadatensatz Graz 1998 entnommen. Der Untersuchungszeitraum beträgt einen Monat, beginnend um 0 Uhr am 1. Juni. Die entsprechende Starttemperatur in der Verlegeebene des Registers beträgt 11°C. In der Grundvariante wird das W-EWT Register im Dauerbetrieb genutzt. Als Vorlauftemperatur wird T = 20°C angenommen. Der in der Simulation berücksichtigte Erdreichkoffer hat eine vertikale und horizontale Ausdehnung von 10 m bzw. 0,125 m.

Fig. 82: Kenndaten für den wassergeführten Erdreichkollektor [Kouba, Heimrath, 2002]

Rohrlänge [m]	Außendurchmesser [m]	Wandstärke [m]	Rohrabstand [m]
100	0.032	0.003	0.250
Verlegetiefe [m]	Wärmeleitfähigkeit des Rohres [m]	Strömungsgeschwindigkeit [m/s]	Massenstrom [kg/s]
2	0.032	0.500	0.265

Die Zeitfunktion der Kühlleistung bezogen auf 1 m² Register Verlegefläche in feuchter Erde wird durch die oberste Kurve in Fig. 83 dargestellt. Deutlich sichtbar ist der starke Leistungsabfall bereits in der ersten Woche des Betriebes (bis zur Stunde

168 h). Während am ersten Tag Leistungen bis weit über 65 W/m^2 möglich sind, ist das entsprechende Potential am Ende der ersten Woche auf etwa 25 W/m^2 gesunken. Danach sinkt dieses weiter ab und erreicht nach vier Wochen den Wert 10 W/m^2 . Es ist klar ersichtlich, dass trotz des großen ‚Kältepotentials‘ des Erdreichs (die Temperatur des gesamten 8 m dicken Erdreichkoffers unterhalb des Rohrregisters liegt zu Beginn der Simulation bei $10 - 11^\circ\text{C}$ gegenüber der Fluidtemperatur von 20°C) die Einspeicherung der vom Fluid transportierten Wärme nicht besonders effizient funktioniert. Dies ist nicht auf einen ineffektiven Wärmeübergang zwischen Fluid und Erdreich zurückzuführen, sondern auf die Trägheit des Wärme(ab)transports innerhalb des Speichermediums Erdreich. Dies ist so zu verstehen, dass es in der unmittelbaren Umgebung des Rohres zu einem Wärmestau kommt, der aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens nur sehr langsam zu den weiter entfernten kühlen Erdmassen abfließen kann.

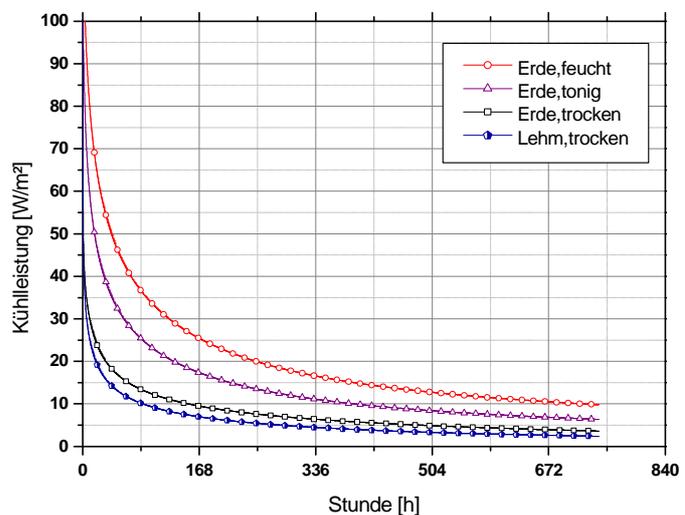


Fig. 83: Kühlleistung des wassergeführten Rohrregister-Erdkollektors im Dauerbetrieb über vier Wochen (744 h) [Kouba, Heimrath, 2002]

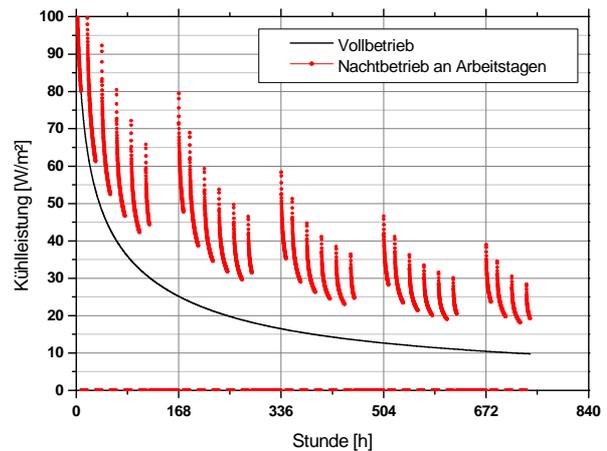
Das Kühlleistungspotential ist außerdem stark von den Stoffwerten des Erdreichs abhängig, wie in Fig. 83 illustriert wird. Die Stoffwerte der einzelnen Erdreichtypen sind in Fig. 84 zusammengestellt.

Bodenart	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]	c_p [kJ/(kg·K)]
Erde, trocken	1500	0.35	0.840
Erde, feucht	1800	2.50	1.260
Erde, tonig	1500	1.50	1.080
Lehm, trocken	1000	0.40	0.752

Fig. 84: Stoffdaten der Erdreichtypen [Kouba, Heimrath, 2002]

Um der Ermüdung des Erdreichs entgegen zu wirken, bietet sich die Möglichkeit, den Erdreichkollektor nur im Teilzeitbetrieb einzusetzen. Dies ist in Fig. 85 dargestellt, wobei der Erdreichkollektor ausschließlich von Montag bis Freitag jeweils von 0 - 8 Uhr und von 18 - 24 Uhr in Betrieb genommen wird. Diese Erholungsphasen führen dazu, dass am Ende der vierten Woche das Kühlleistungspotential im Tagesmittel mehr als doppelt so hoch ist wie bei der Basisvariante (durchgezogene Linie) und nun bei ca. 25 W/m^2 liegt. Die Stillstandszeiten sind allerdings zu kurz, um eine vollständige Regeneration im Wochenzyklus zu erreichen.

Fig. 85: Auswirkung von Stillstandsphasen eines wassergeführten Rohrregister-Erdkollektors auf die Kühlleistung (Erde feucht) [Kouba, Heimrath, 2002]



Im Vergleich zu den L-EWT Systemen zeigen W-EWT in Kombination mit Betonkernaktivierungen vor allem bei monovalenten Kühlsystemen größerer Leistung Vorteile, da durch die Aktivierung der Gebäudemasse die Leistung der Wärmesenke erheblich reduziert werden kann.

Die Ergebnisse der umfassenden energetischen und ökonomischen Betrachtung aus [Fink et al. 2002] von acht unterschiedlichen aktiven und passiven Kühlsystemen für ein Referenz Bürogebäude zeigen, dass bei durchschnittlichen Erdreichzusammensetzungen mindestens ein Flächenverhältnis von 3:1 (zwischen W-EWT und Betonkernaktivierung) für die Kühlung erforderlich ist. Bei Böden mit Grundwassereinflüssen (sollte im Dimensionierungsfall durch ein geologisches Gutachten belegt werden) kann dieses Verhältnis auch 2:1 sein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein W-EWT bei entsprechender Dimensionierung in Kombination mit dem Prinzip der Betonkernaktivierung monovalent betrieben werden kann und somit ein durchwegs konkurrenzfähiges passives Kühlsystem darstellen. Der Richtwert zur Leistungsfähigkeit von W-EWT und BKA liegt bei etwa 480 Wh/m²d.

V.4 Zusammenfassung - Passive Kühlung

Äußere / Interne Lasten

Um eine sommerliche Überhitzung von Innenräumen zu vermeiden, sollte als erste Maßnahme eine Reduktion der äußeren und inneren Lasten in Betracht gezogen werden. Bereits in der Planungsphase für ein Gebäude ist dabei auf viele verschiedene Aspekte zu achten.

Speichermasse

Wesentlich ist für den späteren Betrieb das Vorhandensein von Speichermassen in den Innenräumen, da diese bei genügender Aktivierung für eine Dämpfung von Spitzentemperaturen sorgen. Die relevanten Eigenschaften (Wärmeeindringtiefe, thermische Speicherfähigkeit) lassen sich aus den Materialkenngrößen der verwendeten Bauteile abschätzen.

Solare Erträge

Die solaren Einträge durch transparente Flächen in den Sommermonaten sind besonders kritisch zu betrachten. Unterschiedliche Verschattungen, Fenstergrößen und Fensterorientierungen, verschiedene Verglasungstypen (z.B. Sonnenschutzverglasung) haben einen wesentlichen Einfluss auf den Kühlbedarf. Jedoch ist hier darauf zu achten, dass diese Maßnahmen natürlich auch den Heizwärmebedarf für die Wintermonate maßgeblich beeinflussen können. Auch sei darauf hingewiesen, dass ein zu geringer Fensteranteil oder eine zu starke Verschattung zu längeren Betriebszeiten der künstlichen Beleuchtung und damit zu einer Erhöhung des Energiebedarfs führen kann.



Interne Lasten Richtwerte für interne Lasten finden sich in diversen Richtlinien. Zur Reduktion dieser Wärmeeinträge sind vor allem neuwertige Geräte zu verwenden, da sie geringere Leistungswerte aufweisen. Zusätzlich sollten alle Systeme (vor allem die Beleuchtung) nur im Bedarfsfall in Betrieb sein (automatische oder manuelle Regelung, Standby-Modus).

Wahl des passiven Kühlsystems Für die Wahl eines passenden Kühlsystems gibt [Zimmermann 1999] einen Entscheidungsbaum an, der eine gute Abschätzung der vorhandenen Potentiale ermöglicht und Grenzwerte für den Einsatzbereich der einzelnen Systeme (Fensterlüftung, mechanische Lüftung, Erdgebundene Systeme) anführt.

Trotzdem erfordert das Bestreben, konventionelle Kühlkonzepte von Gebäuden durch Methoden der passiven Kühlung zu ergänzen oder zu ersetzen ein fundiertes Wissen über den dynamischen Verlauf von Raumluft- und Speichermassentemperaturen sowie Kühllasten im betrachteten Gebäudekomplex. Bei der expliziten Ausnutzung von Umweltenergie in der Systemkonzeption ist es weiters notwendig, das Kühlleistungspotential der natürlichen Wärmesenke als Zeitfunktion zu analysieren. Für beide Aufgaben bietet der Einsatz von modernen Simulationswerkzeugen, die eine detaillierte mathematische Abbildung der zugrunde liegenden physikalischen Vorgänge beinhalten, eine wichtige Entscheidungsgrundlage [Mach, Kouba, 2002] und [Kouba, Heimrath, 2002]. Überschlägige Ergebnisse für den Einfluss von Speichermassen und internen und solaren Gewinnen bietet die prEN ISO/DIS 13790.

Wie die Arbeit von [Fink et al. 2002] zeigt, können intelligent ausgelegte und betriebene passive Kühlsysteme neben energetischen auch ökonomische Vorteile aufweisen. Damit können solche Systeme einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcen schonenden und umweltfreundlichen Klimatisierung von Bürogebäuden leisten.

V.5 Kernaussagen und Literatur zum Thema

Die Vorarbeiten für ein funktionierendes passives Kühlsystem beginnen in der Planungsphase des Gebäudes. Optimierte Glasflächenanteile, hohe interne Speichermassen, geringe interne Lasten und über eine effektive externe Verschattung minimierbare äußere Lasten sind die besten Voraussetzungen.

Verschattungen können bereits baulich vorgesehen werden und sind effektiv für die Südorientierten Flächen verwendbar. Externe Verschattungen sind effektiv, besonders interne Verschattungen sind ineffektiv und dienen nur als Blendschutz.

Die Speichermasse ist entscheidend für einen im Tagesverlauf gemäßigten Raumlufttemperaturverlauf. Die Speichermasse muss für die Raumluft frei zugänglich sein (keine abgehängten Elemente).

Zu den internen Lasten zählen die verwendeten elektronischen Geräte, die anwesenden Personen und die Beleuchtung. Eine Minimierung der internen Lasten kann im Einsatz möglichst energieeffizienter Bürogeräte bestehen.

Die Nachtlüftung stellt eine – in unseren Breitengraden – effiziente Möglichkeit dar, Gebäude mit geringer Kühllast und hoher Speichermasse energiesparend zu kühlen.

Erdreichgekoppelte Systeme können mit der Nachtlüftung kombiniert werden. Die Effizienz solcher Systeme ist höher als die der Nachtlüftung, funktioniert aber nur dann langfristig, wenn die Kältequelle Erdreich die richtigen Stoffwerte aufweist und die Anlage entsprechend dimensioniert wurde.

Literatur

BFE – Merkblatt, 1997: Arbeitshilfe zum Bedarfsnachweis Kühlung und Befeuchtung, Bundesamt für Energie, EDMZ, 3000 Bern, Schweiz

Clemens J., 2000 : Entwicklung eines einfachen Modells zur Abschätzung der sommerlichen Überwärmung in Gebäuden, Universität - Gesamthochschule Siegen

Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.: Vereinbarungsbedarf zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer über die Bemessung Raumlufttechnischer Anlagen, Folgen des Bielefelder Klimaurteils und der Veränderung der Wetterdaten, Informationsschrift, Fach-



institut Gebäude-Klima e.V., 74321 Bietigheim- Bissingen,
http://www.downloads.fgk.de/95_Vereinbarungsbedarf.pdf

Fink C., Blümel E., Kouba R., Heimrath R., 2002: Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels luft- bzw. wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

Heimrath R., 2000: Dokumentation – Dynamische Simulation Betonkernkühlung mit Hilfe eines Erdwärmetauschers, Technische Universität - Graz, Institut für Wärmetechnik

Heimrath R., Haller M., 2007: Project Report A2 of Subtask A: The Reference Heating System, the Template Solar System; A Report of IEA SHC - TASK 32;
<http://www.iea-shc.org/task32/>

Huber A., 2001: WKM_Version 2.0 – PC Programm für Luft-Erdregister; Benutzerhandbuch. Huber Energietechnik, Zürich; <http://www.hetag.ch/>

Incropera F. P., DeWitt D. P., 1996: Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Inno 2002: Innovative Technik – Anwendungen aus Nordrhein – Westfalen, Haus- und Gebäudetechnik, Das intelligente Haus: Spielraum für Mikrostrukturen, Mikrokomponenten und Mikrosysteme; www.ivamnrv.com

Keller B., 1997: Klimagerechtes Bauen, Grundlagen – Dimensionierung – Beispiele, B.G. Teubner Stuttgart

Kouba R., Heimrath R., 2002: Möglichkeiten der Simulation von passiven Kühlsystemen in Wechselwirkung mit dem zu kühlenden Gebäude, Workshop: „Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude“, WIFI Graz

Mach T., 2007: Die thermische Simulation als Planungsinstrument des Hochbaus, Dissertation, Technische Universität - Graz, Institut für Wärmetechnik

Puschnig P., Mach T., 2006: Interner Simulationsbericht, Technische Universität - Graz, Institut für Wärmetechnik

Mach T., Kouba R., 2002: Interner Simulationsbericht, Technische Universität - Graz, Institut für Wärmetechnik

Seppänen O., Fisk W., Faulkner D., 2005: Cost Benefit Analysis of the Night-Time Ventilate Cooling In Office Building, Helsinki University of Technology, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA

SIA- Merkblatt 2024, 2006: Standard Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 1. Auflage

Streicher W., 2005: Sonnenenergienutzung, Skriptenreihe der Technische Universität - Graz, Institut für Wärmetechnik

Treiberspurg M., Streicher W., Reim T., Hofbauer W., 2007: Sommertauglichkeit im Wohnbau, Teil 1 Optimierte Fenster und Verschattungen, Wien



VDI 2078, 1996: Kühllastregeln, hrsg. vom Verein Deutscher Ingenieure. VDI-Verlag, Düsseldorf

VORNORM DIN V 18599-10, 2005: 4. Entwurf 9.3.05, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End-, und Primärenergiebedarfs für Beheizung, Kühlung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

Zimmermann M., 1999: Handbuch der passiven Kühlung, ISBN 3-905594-06-4, EMPA ZEN, CH- Dübendorf.