

Diplomarbeit

Vergleich verschiedener Heizungssysteme und deren Wirtschaftlichkeit unter Einbeziehung von Solarthermie und Wärmepumpensystemen

Vorgelegt am: 18.08.2008

Von: **Robin Simon**
Heimgarten 71
09127 Chemnitz

Studienrichtung/
Studiengang: Versorgungs- und Umwelttechnik

Seminargruppe: VU 05/2

Matrikelnummer: 4050404

Praxispartner: HEIMA GmbH & Co.
Hausinstallationen KG
Hartensteiner Str. 62
09350 Lichtenstein

Gutachter: Prof. Bernd Dölling (Berufsakademie Glauchau)
Dipl.- Ing. (BA) Michael Hausotte

I. Aufgabenblatt

Die folgende Diplomarbeit befasst sich mit der Auslegung einer Wärmepumpenanlage und der Auslegung der Solaranlage für die Trinkwassererwärmung eines Einfamilienhauses. Die Anlagen wurden nach den einschlägigen Vorschriften und Normen berechnet und geplant. Die Planungen der einzelnen Systemkomponenten erfolgen nach den Vorgaben des Bauherren

II. Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	III
Anhangverzeichnis und Anhang.....	V
Literaturverzeichnis.....	VI
1 Projektbeschreibung.....	1
2 Allgemeines.....	2
2.1 Argumente für den Einsatz alternativer Energien.....	2
2.2 Begriffe.....	7
2.2.1 Rohstoffe.....	7
2.2.2 Reserven.....	7
2.2.3 Ressourcen.....	7
2.2.4 Alternative Energien.....	7
2.2.4.1 Sonnenenergie.....	8
2.2.4.2 Planetenenergie.....	9
2.2.4.3 geothermische Energie.....	9
2.2.5 Fossile Energien.....	9
2.2.6 Treibhauseffekt.....	10
3 Wärmepumpe.....	11
3.1 Begriffe und Theorie.....	11
3.1.1 Begriffe.....	11
3.1.1.1 Leistungszahl.....	11
3.1.1.2 Jahresarbeitszahl.....	11
3.1.1.3 Carnotleistungszahl.....	11
3.1.1.4 Gütegrad.....	11
3.1.1.5 Jahresaufwandszahl.....	12
3.1.1.6 Arbeitsmittel.....	12
3.1.1.7 Wärmequellen.....	12
3.1.1.8 Wärmequellenanlage.....	13
3.1.1.9 Wärmenutzungsanlage.....	13
3.1.1.10 EVU- Sperrzeiten.....	13
3.1.1.11 Betriebsweisen.....	14
3.1.2 Carnot- Prozess.....	15

3.1.3	Kältekreislauf und Prinzip der Wärmepumpe.....	15
3.1.4	Ig- p- h- Diagramm.....	17
3.2	Bauarten und Besonderheiten der Planung.....	19
3.2.1	Wärmepumpenarten.....	19
3.2.1.1	Kompressionswärmepumpe.....	19
3.2.1.2	Absorptionswärmepumpe.....	20
3.2.1.3	Adsorptionswärmepumpe.....	20
3.2.2	Wärmepumpen in der Haustechnik.....	21
3.2.2.1	Luft / Wasser- Wärmepumpe.....	21
3.2.2.2	Sole / Wasser- Wärmepumpe.....	23
3.2.2.3	Wasser / Wasser- Wärmepumpe.....	26
3.3	Anlagenplanung.....	27
3.3.1	Auswahl der Wärmequelle.....	28
3.3.2	Bestimmung des Wärmebedarfes.....	28
3.3.3	EVU- Sperrzeiten und Wahl der Betriebsweise.....	29
3.3.4	Auslegung der Wärmenutzungsanlage.....	29
3.3.5	Auslegung der Wärmepumpenanlage.....	30
4	Solaranlage.....	32
4.1	Definition Solaranlage.....	32
4.2	Begriffe.....	33
4.2.1	Betriebsarten.....	33
4.2.1.1	High- Flow System.....	33
4.2.1.2	Low- Flow System.....	33
4.2.1.3	Matched- Flow System.....	34
4.2.1.4	Drain- Back System.....	34
4.2.2	Apertur- und Absorberfläche.....	35
4.2.3	Solare Deckungsrate.....	36
4.2.4	Systemnutzungsgrad.....	36
4.2.5	Globalstrahlung.....	36
4.2.6	Stagnation.....	37
4.3	Anlagenbestandteile.....	37
4.3.1	Kollektoren.....	37
4.3.1.1	Flachkollektor.....	37
4.3.1.2	Vakuurröhrenkollektor.....	39

4.3.1.3	Verschaltung der Kollektoren.....	41
4.3.2	Solarkreislauf.....	42
4.3.2.1	Wärmeträger.....	42
4.3.2.2	Wärmeübertrager.....	42
4.3.2.3	Regelung.....	43
4.3.2.4	Pumpen.....	43
4.3.2.5	weitere Armaturen.....	44
4.3.3	Wärmespeicher.....	44
4.3.4	Nachheizung.....	46
4.4	Anlagenkonzepte.....	47
4.4.1	Solaranlagen zur Schwimmbadbeheizung.....	47
4.4.2	Solaranlagen für die Trinkwassererwärmung.....	48
4.4.3	Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizung.....	50
4.5	Anlagenplanung am Beispiel eines Einfamilienhauses.....	54
4.5.1	Datenerhebung.....	54
4.5.1.1	Kollektorfläche.....	55
4.5.1.2	Speicherauslegung.....	55
4.5.1.3	Bemessung der Sicherheitseinrichtung.....	56
4.5.2	gewählte Systemkomponenten.....	57
5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	59
5.1	Aufgabenstellung.....	59
5.2	Wirtschaftlichkeitsvergleich von Gasbrennwert- Gerät und Wärmepumpe.....	59
5.2.1	Allgemeines.....	59
5.2.2	Berechnung des Energiebedarfes des Gebäudes.....	60
5.2.3	Berechnung der verbrauchsgebundenen Kosten.....	60
5.2.4	Berechnung der kapitalgebundenen Kosten.....	61
5.2.5	Berechnung der betriebsgebundenen Kosten.....	62
5.2.6	jährliche Gesamtkosten.....	64
5.3	Amortisationszeit einer Solarthermieanlage.....	64
5.4	Auswertung der Ergebnisse.....	64

III. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 2.1.1: CO ₂ - Ausstoß durch Verbrennung fossiler Stoffe.....	2
Abb. 2.1.2: Temperaturanstieg seit 1990 und Prognose bis 2100.....	3
Abb. 2.1.3: Primärenergieverbrauch weltweit und Prognose bis 2030.....	4
Abb. 2.1.4: Preisentwicklung fossiler Rohstoffe der letzten zwei Jahrzehnte.....	5
Abb. 2.1.5: Erdölreserven der Erde Ende 2007.....	6
Abb. 2.1.6: Erdgasreserven der Erde Ende 2007.....	6
Abb. 2.4.1.1.1: Energiewürfel.....	8
Abb. 3.1.3: Prinzip der Wärmepumpe.....	17
Abb. 3.1.4.1: lg- p- h- Diagramm am Beispiel von R134a.....	19
Abb. 3.2.2.1: Aufstellungsmöglichkeiten Luft / Wasser- Wärmepumpe.....	23
Abb. 3.2.2.2.1: Kollektorarten für Sole / Wasser- Wärmepumpe.....	24
Abb. 3.2.2.2.2: Temperaturen des Erdreiches.....	25
Abb. 3.2.2.3: Wasser / Wasser- Wärmepumpe.....	27
Abb. 3.3.5.1: Leistungsdiagramm und Bivalenzpunkt Wärmepumpe.....	30
Abb. 3.3.5.2: Luftleitblech Lichtschacht.....	31
Abb. 4.2.1.4: Drain- Back- System.....	35
Abb. 4.2.2: Flächenbezeichnung von Kollektoren.....	35
Abb. 4.3.1.1: Aufbau eines Flachkollektors.....	39
Abb. 4.3.1.2.1: Direkt durchströmter Absorber.....	40
Abb. 4.3.1.2.2: Wärmerohr.....	40
Abb. 4.4.2.1: 2- Kreissystem mit internem Solarkreiswärmeübertrager.....	48
Abb. 4.4.2.2: 2- Kreissystem, externer Wärmeübertrager u. 2-Speicher-Anlage.....	49
Abb. 4.4.2.3: 3- Kreissystem mit internem Solarkreiswärmeübertragern.....	49
Abb. 4.4.2.4: 3- Kreissystem mit externem Solarkreiswärmeübertrager.....	50
Abb. 4.4.3.1: Solaranlage mit 2- Speichersystem zur Heizungsunterstützung.....	51
Abb. 4.4.3.2.1: Tank- in- Tank- System.....	52
Abb. 4.4.3.2.2: 1- Speichersystem mit internem Verbraucherkreis- und externem Solarkreiswärmeübertrager.....	53
Abb. 4.4.3.2.3: 1-Speichersystem mit Schichtenladespeicher, integriertem Heizkessel und externem Verbraucherkreiswärmeübertrager.....	53
Tab. 5.2.6.1: jährliche Gesamtkosten Brennwertgerät und Wärmepumpe.....	64

1 Projektbeschreibung

Thema dieser Arbeit ist die Auslegung eines Wärmepumpensystems und einer Solaranlage für die Trinkwassererwärmung für ein Einfamilienhaus. Die Arbeit ruht zu Teilen auf den Berechnungen der Studienarbeit des 6. Semesters.

Die Arbeit ist aus 4 Teilen aufgebaut. Der erste Teil befasst sich mit den energiewirtschaftlichen Grundbegriffen und den Argumenten für den Einsatz von alternativen Energieträgern. Im zweiten Teil erfolgen die Beschreibung der Anlagenkonzepte und der Bestandteile einer Wärmepumpenanlage sowie deren Auslegung. Die Solaranlage mit ihren Konzepten und Bauteilen wie auch der Auslegung dieser wird im dritten Teil dieser Arbeit erklärt. Der letzte Abschnitt beschäftigt sich mit einem wirtschaftlichen Vergleich eines Gasbrennwert- Gerätes mit einer Wärmepumpe für das vorliegende Gebäude und der Berechnung der Amortisationszeit der geplanten Solaranlage.

Als Grundlage dienen Grundrisszeichnungen, Schemen und die aus der Studienarbeit resultierenden Ergebnisse der Wärmebedarfsberechnung nach DIN EN 12831 und EnEV 2007.

2 Allgemeines

2.1 Argumente für den Einsatz alternativer Energien

Bei den in naher Zukunft zu regelnden großen Problemen der Menschen ist die Zerstörung und Ausbeutung der Umwelt offensichtlich eines derjenigen, die am dringendsten zu lösen sind, um auch später in einer lebenswerten Umgebung existieren zu können. Die in mehreren Jahrmillionen gewachsenen Energievorräte, welche die Menschheit für ihren Bedarf an Energie nutzt, werden in absehbarer Zeit aufgezehrt sein, wobei die eigentliche Reichweite immer wieder einer gewissen Schwankung unterlegen ist, da sie von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist, die sich dynamisch verändern. Eine Umstellung der heutigen Energieversorgung auf regenerative bzw. erneuerbare Energieträger, die den Energiebedarf mit deutlich weniger Eingriffen in die Natur und Umwelt decken, ist unumgänglich, denn durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe stieg in den letzten Jahrzehnten, wie in Abbildung 2.1.1 deutlich wird, der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid stark an, und dieses Gas gilt unter Forschern als hauptverantwortlich für den Treibhauseffekt.

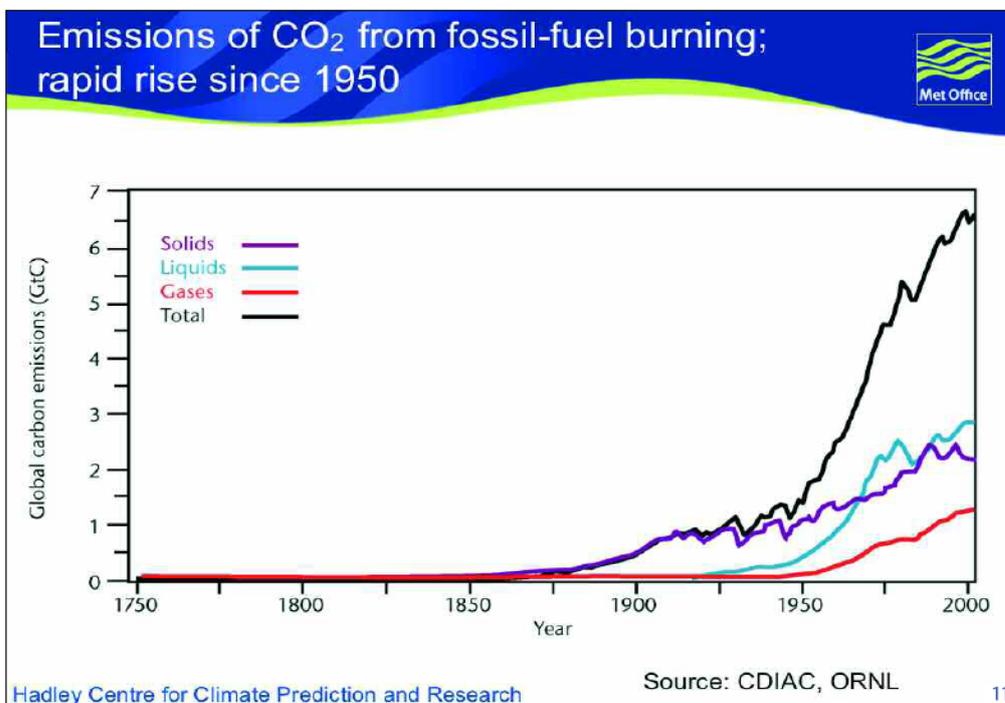


Abbildung 2.1.1: CO₂- Ausstoß durch Verbrennung fossiler Stoffe

Dieser Effekt ermöglicht zwar erst das Leben auf der Erde wie es heute existiert, allerdings nimmt mit steigendem Kohlenstoffdioxidgehalt der Luft auch die Erdtemperatur zu. Die Folge ist laut Klimarat der UN, dem Intergovernmental Panel on Climate Change, kurz IPCC, ein zu erwartender Temperaturanstieg wie in Abbildung 2.1.2 zu sehen von 1,5 °C im günstigsten und bis zu 6°C im ungünstigsten Fall in diesem Jahrhundert, was einen extremen Eingriff in das in Jahrmillionen entstandene empfindliche Klimasystem der Erde mit häufigen Gewittern, Hagel, Starkniederschlägen, Trockenzonen sowie einen Anstieg des Meeresspiegels zur Folge hat.

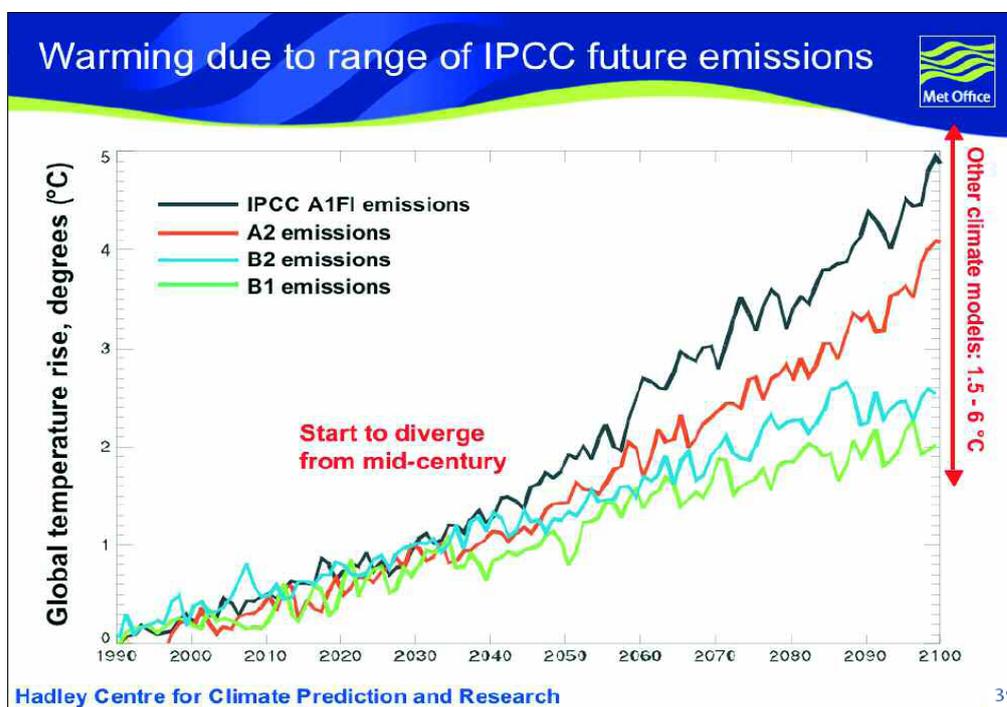


Abbildung 2.1.2: Temperaturanstieg seit 1990 und Prognose bis 2100

Dabei ist nicht nur der Schaden von Flora und Fauna erwähnenswert, auch die extrem steigenden Summen der Versicherungsschäden, der Hurrikan Katrina aus dem Jahr 2005 verursachte einen Schaden von ca. 125 Mio. US\$, und der damit verbundene Einfluss auf die gesamte Finanzwelt muss an dieser Stelle genannt werden.

Um die unausweichlichen Auswirkungen des Klimawandels zu minimieren, trägt die drastische Verringerung des Energieverbrauches und der Einsatz regenerativer Energien in allen Bereichen, vom Eigenheimbesitzer bis zum Großunternehmen, entscheidend zur Reduktion der Treibhausgase bei und die Eingriffe in die Natur, die

für die Gewinnung der heutigen Energieträger nötig sind, können ebenfalls stark verringert werden. Dabei müssen beide Maßnahmen parallel beschritten werden um einen deutlichen Effekt erzielen zu können.

Ein nächstes wichtiges Argument für die Umstellung auf eine Wärmeversorgungsanlage, die mit regenerativen Energien betrieben wird, ist der Kostenfaktor einer solchen Anlage, denn die Entscheidung für ein Heizsystem ist eine Entscheidung für mehrere Jahrzehnte. Die in den kommenden Jahrzehnten weiter stark steigende Nachfrage nach Energie auf dem gesamten Globus, die in der Abbildung 2.1.3 der International Energy Agency zu sehen ist, und die gleichzeitig stagnierenden Fördermengen lassen die Preise für Erdöl und Erdgas in den letzten Monaten, wie in Abbildung 2.1.4 verdeutlicht wird, nach oben schnellen. Die Anlagentechnik für alternative Energien hingegen wird immer effizienter in ihrer Ausbeute und auch ihrer Produktion.

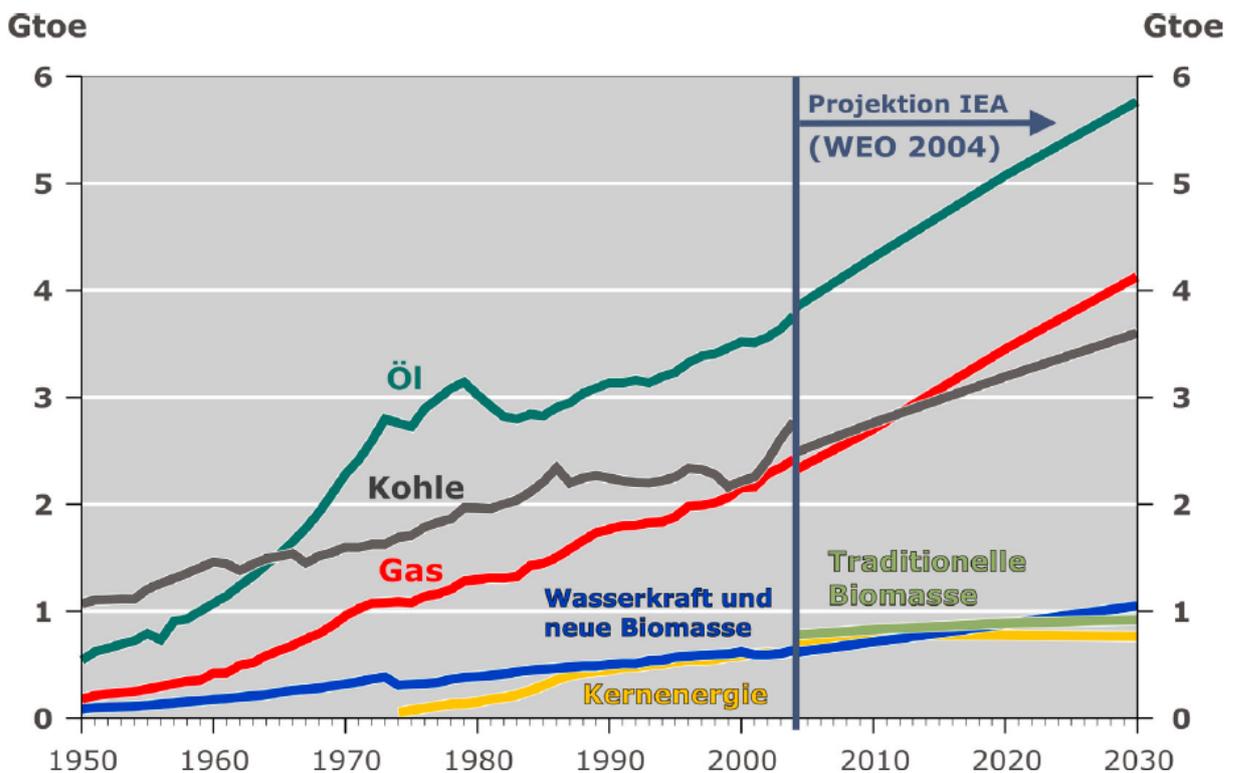


Abbildung 2.1.3: Primärenergieverbrauch weltweit und Prognose bis 2030

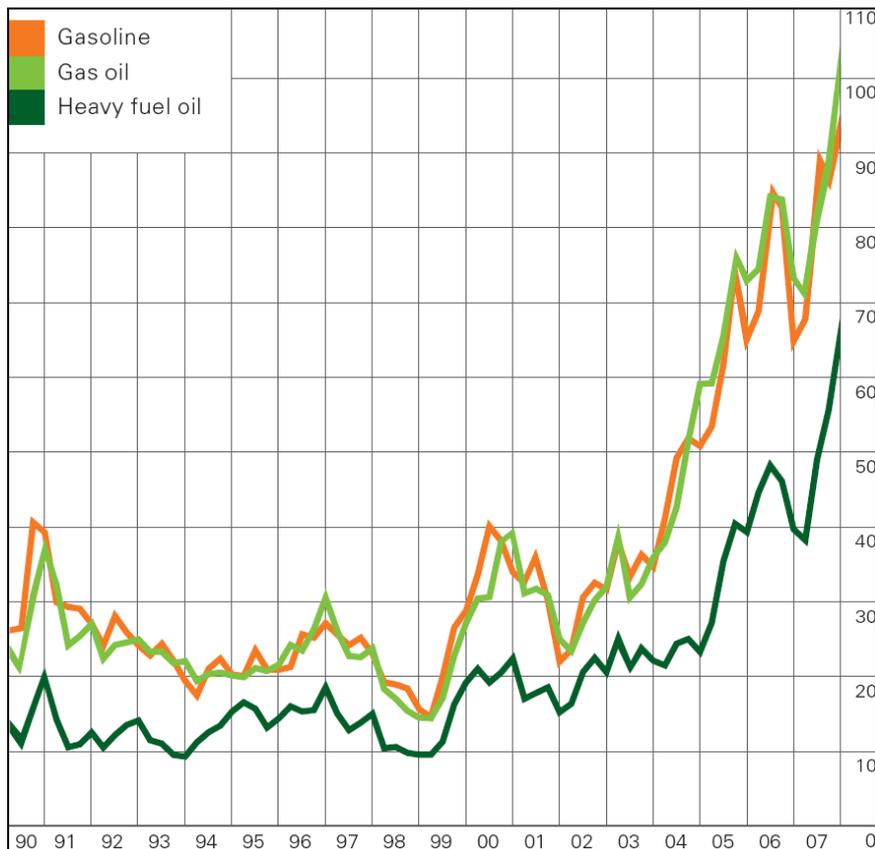


Abbildung 2.1.4: Preisentwicklung fossiler Rohstoffe der letzten zwei Jahrzehnte

Ein weiterer Betrachtungspunkt ist die Verfügbarkeit der fossilen Energieträger. Sie müssen nicht nur teuer und aufwendig aus wenigen anderen Ländern importiert werden, was gleichzeitig zu einer weiteren Belastung der Umwelt führt, sie sind außerdem nicht unbegrenzt verfügbar, die Vorkommen werden in wenigen Jahrzehnten erschöpft oder für eine wirtschaftliche Förderung zu aufwendig sein. Die Abbildungen 2.1.5 und 2.1.6 zeigen die derzeit sicher nachgewiesenen Erdöl- und Erdgasreserven der Erde. Die Energiequellen wie Wind, Wasser, Sonne und andere, für die regenerativ betriebenen Versorgungssysteme jedoch sind überall vorhanden.

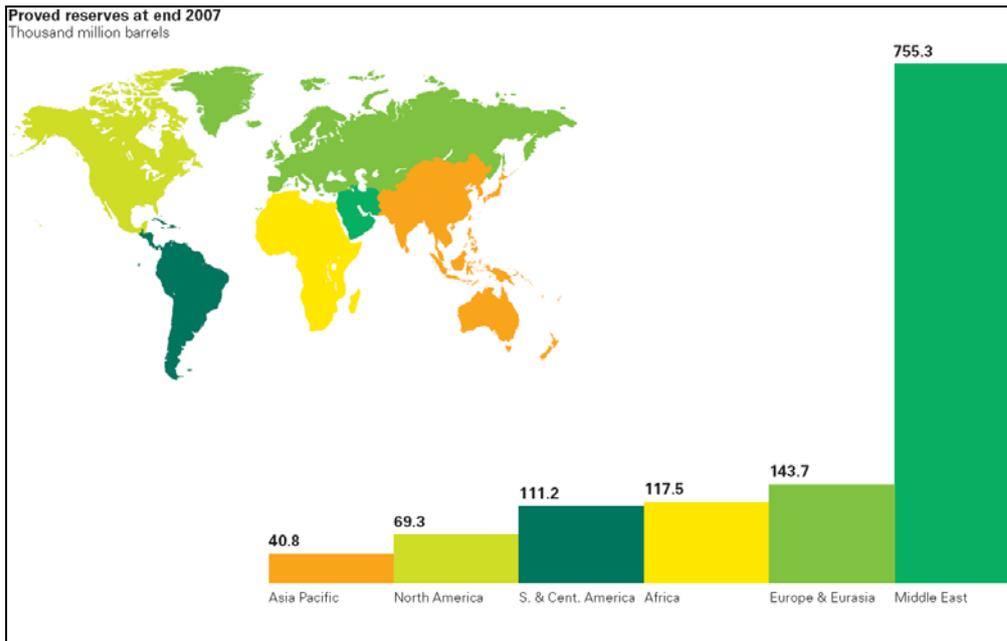


Abbildung 2.1.5: Erdölreserven der Erde Ende 2007

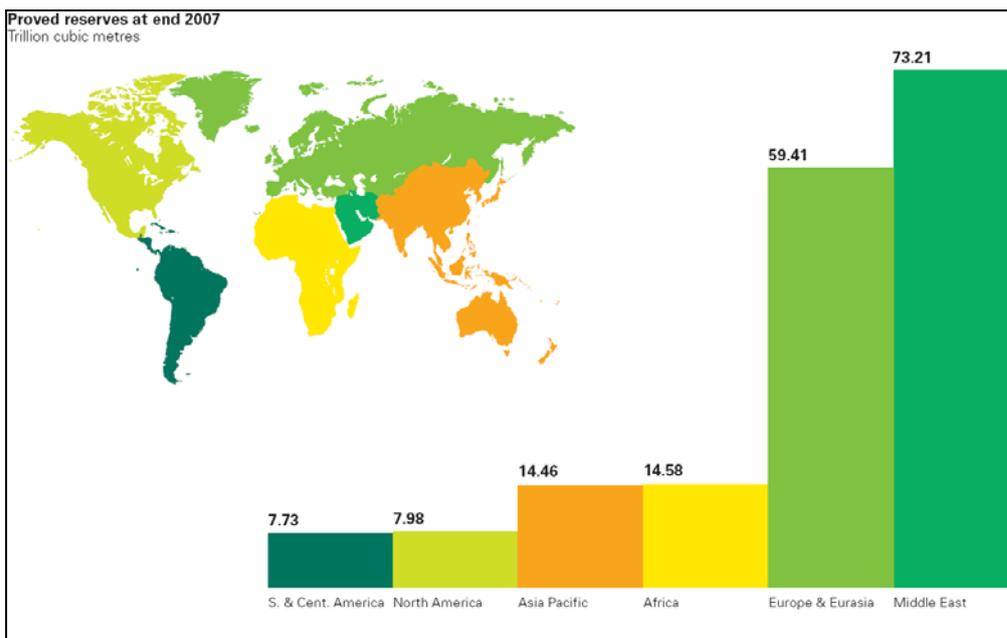


Abbildung 2.1.6: Erdgasreserven der Erde Ende 2007

Regenerative Technologien tragen somit nicht nur wesentlich zur Reduktion des Ausstoßes von klimaschädlichen Stoffen bei, sie verringern auch die zerstörerischen Eingriffe in die Natur durch die Förderung und Gewinnung der fossilen Brennstoffe und bieten zusätzlich auch eine finanzielle Unabhängigkeit von Energieversorgung aus anderen Regionen und Ländern für den Betreiber einer solchen Anlage.

2.2 Begriffe

2.2.1 Rohstoffe

Rohstoffe sind natürliche Ressourcen, die bis auf die Lösung aus ihrer natürlichen Quelle noch keine Bearbeitung erfahren haben. Sie werden aufgrund ihres Gebrauchswertes aus der Natur gewonnen und entweder direkt konsumiert oder als Arbeitsmittel und Ausgangsmaterialien für weitere Verarbeitungsstufen in der Produktion verwendet.

2.2.2 Reserven

Als Reserven werden die Energievorräte bezeichnet, die sowohl sicher nachgewiesen als auch wirtschaftlich gewinnbar sind. Vorkommen von Rohstoffen, die zwar bekannt, aber mit den jetzigen technischen Mitteln nicht fördern bzw. nicht wirtschaftlich fördern lassen, werden nicht in der Kategorie der Reserven aufgelistet.

2.2.3 Ressourcen

Ressourcen hingegen sind die noch theoretisch vorhandenen Energievorräte. Sie werden entsprechend der geologischen Nachweissicherung und der wirtschaftlichen Gewinnbarkeit eingeteilt in bekannte Ressourcen, die nachgewiesen sind oder vermutet werden bzw. als wahrscheinlich gelten, sich jedoch nicht mit der bestehenden Technik wirtschaftlich erschließen lassen, und den unbekanntem Ressourcen, die rein hypothetisch und spekulativ sind.

2.2.4 Alternative Energien

Als alternative Energien werden die Energieträger bezeichnet, deren Energiequellen nach menschlichen Maßstäben unerschöpflich sind. Sie können in die drei Bereiche Sonnenenergie, Planetenenergie und geothermische Energie unterschieden werden.

2.2.4.1 Sonnenenergie

Die Sonnenenergie ist nicht nur die größte, sondern auch die am häufigsten genutzte Energiequelle. Die Energiemenge, die jährlich auf der Erde auftritt, entspricht dabei etwa dem 10.000-fachen des gesamten Weltprimärenergiebedarfes, was durch die Abbildung 2.2.4.1 verdeutlicht werden soll.

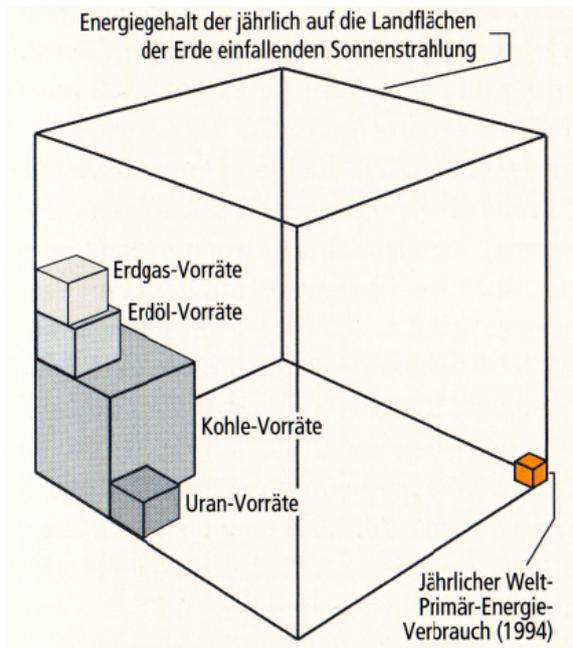


Abbildung 2.2.4.1: Energiewürfel

Bei der Nutzung dieser Energie wird zwischen der direkten und der indirekten Nutzung unterschieden. Bei der direkt genutzten Sonnenenergie wird die eintreffende Solarstrahlung durch technische Anlagen wie solarthermische Kraftwerke, Photovoltaikanlagen, Solarkollektoren zur Wärmeerzeugung u. a. nutzbar gemacht. Bei der indirekt genutzten Sonnenwärme wird die Sonnenenergie durch natürliche Umwandlung in andere Energieformen wie Wind, das Wasser der Niederschläge oder Pflanzenwachstum umgeformt. Diese Formen wiederum können ebenfalls unter Verwendung technischer Anlagen, zum Beispiel durch Wasserkraftwerke, Windkraftwerke oder der Biomasseproduktion für den Menschen nutzbar gemacht werden.

2.2.4.2 Planetenenergie

Durch die wechselseitigen Anziehungskräfte der einzelnen Planeten, bei der Erde insbesondere durch den Mond, die sich an einem jeden Punkt der Erdoberfläche ständig ändert, entstehen enorme Kräfte, die sich am besten an den Meeresküsten bei den Gezeiten beobachten lassen. Dieser Kräfte wird sich vor allem bei den Gezeitenkraftwerken bedient, indem das Wasser bei Flut in einem Rückhaltebecken gesammelt und bei Flut über Turbinen, in denen elektrische Energie erzeugt wird, wieder zurück in das Meer geleitet wird. Nachteilig wirken sich bei diesen Kraftwerken jedoch die großen Eingriffe in der Natur und der Umstand, dass die elektrische Energie nicht kontinuierlich erzeugt werden kann, aus.

2.2.4.3 geothermische Energie

als Geothermie wird die Wärme aus dem Erdinneren bezeichnet, die oberflächennahe Erdwärme, der man sich z. B. bei der Wärmepumpe bedient, zählt allerdings nicht dazu, da diese Wärme von der Sonne ausgeht und durch Niederschläge in das Erdreich eingebracht wird.

Im Erdkern herrschen Temperaturen von bis zu 4600°C, rund 99% der Erde sind heißer als 1000°C. durch den großen Temperaturunterschied zwischen Erdinnerem und der Erdkruste existiert ein ständiger Wärmestrom von innen nach außen, dessen gesamter Energieinhalt in etwa dem Weltprimärenergiebedarf entspricht, da er aber auf eine Fläche von einem Quadratmeter mit 0,063W bis 0,42W relativ gering ausfällt, kann er technisch nicht genutzt werden. Für die Geothermienutzung sind hohe Temperaturen nötig, die durch Tiefenbohrungen angezapft werden können, allerdings ist hierfür ein hoher finanzieller und technischer Aufwand notwendig. Wirtschaftlich interessant wird diese Energiequelle in Regionen mit geothermischen Anomalien, in denen schon in geringen Tiefen hohe Temperaturen vorzufinden sind.

2.2.5 Fossile Energien

Die fossilen Energieträger, auf denen derzeit primär die Versorgung mit Energie steht, basieren auf dem Kohlenstoffkreislauf und ermöglichen damit, die in der

Vergangenheit gespeicherte Sonnenenergie heute zu verwerten. Entstanden sind diese Energieträger vor Jahrmillionen aus den Abbauprodukten von toten Pflanzen und Tieren. Da der Prozess dieser Umwandlung mehrere Millionen Jahre in Anspruch nimmt, gelten diese Energieträger im Gegensatz zu den erneuerbaren Energieträgern als endlich. In einem Zeitraum von geschätzten 40 Jahren für Erdöl bis zu ca. 170 Jahren für Kohle werden die Reserven der fossilen Brennstoffe aufgebraucht oder nicht mehr wirtschaftlich gewinnbar sein.

2.2.6 Treibhauseffekt

Der vorhandene natürliche Treibhauseffekt ermöglicht erst die Existenz von Leben auf der Erde, denn ohne diesen Effekt lägen die Erdtemperaturen im Durchschnitt bei ca. -15°C statt bei derzeit $+15^{\circ}\text{C}$. Durch verschiedene Gase wie Kohlendioxid oder Methan in der Atmosphäre verhindert, dass die eintreffende Sonnenstrahlung, die von der Erdoberfläche wieder reflektiert wurde, wieder in den Weltraum entweichen kann. Über mehrere Jahrtausende hinweg hat sich bei diesen Gasen in der Atmosphäre ein Gleichgewicht eingestellt, welches zwar aus verschiedenen Ursachen immer wieder schwankte, diese Schwankungen jedoch über einen sehr langen Zeitraum erfolgten. Durch die derzeitige anthropogen, also vom Menschen verursachte Zunahme der Treibhausgase wird dieses empfindliche Gleichgewicht stark gestört. Die genauen Auswirkungen dieser künstlichen Zunahme sind unter Forschern noch relativ umstritten, als sicher gelten jedoch der Anstieg des Meeresspiegels, wobei Zahlen von mehreren Zentimetern bis zu einigen Metern genannt werden, und großklimatische Veränderungen, die sich in Dürreperioden, starken Unwettern und anderen Anomalien auswirken werden.

3 Wärmepumpe

3.1 Begriffe und Theorie

3.1.1 Begriffe

3.1.1.1 Leistungszahl

Leistungszahl: Diese ergibt sich im Gegensatz zur Carnot- Leistungszahl nicht aus den Temperaturdifferenzen der Anlage, sondern aus dem Quotienten der abgegebenen Wärmeleistung und der aufgenommenen elektrischen Leistung und ist nur ein Momentanwert. Sie wird unter genormten Bedingungen im Labor nach DIN EN 255 bzw. DIN EN 14511 ermittelt.

3.1.1.2 Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl der Anlage ergibt sich aus dem Quotienten der von der Wärmepumpenanlage abgegebenen Wärmeenergie in einem Jahr und der im gleichen Zeitraum zugeführten elektrischen Arbeit. Sie bezieht sich immer nur auf eine bestimmte Anlage unter Berücksichtigung der Auslegung der Heizungsanlage und deren Temperaturniveau und –Differenz.

3.1.1.3 Carnotleistungszahl

Der Ansatz für diese Leistungszahl ist der reine Temperaturunterschied zwischen der warmen Seite und der kalten Seite der Anlage und basiert auf dem Carnot- Prozess, dem idealen Wärme- Arbeitsprozess.

3.1.1.4 Gütegrad

Der Gütegrad einer Anlage berechnet sich aus dem Verhältnis von idealer Leistungszahl des Carnot- Prozesses und der realen Leistungszahl der Wärmepumpe. Sie beschreibt die Effizienz der Anlage im Vergleich zum Idealprozess.

3.1.1.5 Jahresaufwandszahl

Diese Größe entspricht dem Kehrwert der Jahresarbeitszahl und gibt an, welcher Aufwand nötig ist, um einen bestimmten Nutzen zu erzielen und beinhaltet dabei auch die Hilfsenergie, die nötig ist, um die Wärmepumpe zu betreiben.

3.1.1.6 Arbeitsmittel

Als Arbeits- oder auch Kältemittel werden Stoffe verwendet, die bei niedrigen Temperaturen verdampfen und gleichzeitig eine hohe innere Wärme besitzen, das heißt, dass das Kältemittel durch den Einsatz technischer Geräte auf ein hohes Temperaturniveau gebracht werden kann. Heute sind nur noch Arbeitsmittel zugelassen, die chlorfrei sind und damit keinerlei Ozon schädigende Wirkung besitzen. Diese Bedingung erfüllen zum Beispiel die Mittel R134a, R407C oder Propan, wobei in der Haustechnik meist R134a, R407C oder auch andere Kältemittelgemische, sogenannte Blends, verwendet werden. Diese Arbeitsmittel sind unbrennbar und ungiftig, und das damit verwendete Ester- Öl ist biologisch abbaubar. Eine Aufstellung innerhalb des Gebäudes ist somit problemlos realisierbar. Zurzeit befinden sich Anlagen mit CO₂ als Kältemittel in der Erprobung, sind aber aufgrund der hohen Systemdrücke der Anlage noch nicht in der Serienproduktion.

3.1.1.7 Wärmequellen

Wärmequellen sind die Energielieferanten für die Wärmepumpe, ihnen wird die Wärme entzogen, um danach auf ein höheres Temperaturniveau gehoben zu werden. Die drei existierenden Quellen sind die Luft, das Erdreich und das Wasser, wobei alle direkt von der Sonneneinstrahlung abhängig sind. Eine Ausnahme bilden dabei Geothermieanlagen und Wärmepumpen, die Prozessabwärme nutzen können.

3.1.1.8 Wärmequellenanlage

Die Wärmequellenanlage ist der Bauteil der Gesamtanlage, welcher der Wärmequelle die Wärme entzieht und diese mittels eines Wärmeträgers zur Wärmepumpe transportiert. Zur Wärmequellenanlage zählen dabei auch alle für diesen Prozess notwendigen Bauteile.

3.1.1.9 Wärmenutzungsanlage

Als Wärmenutzungsanlage wird allgemein der Teil der gesamten Anlage bezeichnet, der für den Transport der Wärme von der warmen Seite der Wärmepumpe zu den Verbrauchern zuständig ist. Die Wärmenutzungsanlage besteht somit aus dem Rohrleitungsnetz für die Wärmeverteilung, der Fußbodenheizung bzw. den Heizkörpern einschließlich der dazugehörigen Bauteile, allen Einrichtungen für die Warmwassernutzung, sowie aller anderen nötigen Bauteile.

3.1.1.10 EVU- Sperrzeiten

Bei der Nutzung von Wärmepumpen- Sondertarifen der Energieversorger ist auf eine eventuell unterbrochene Betriebsweise aufgrund von Sperrzeiten zu achten. Dabei wird die Stromversorgung der Wärmepumpe während Lastspitzenzeiten eingestellt und die Anlage steht somit nicht zur Beheizung und unter Umständen der Warmwassererzeugung des Gebäudes zur Verfügung. Die Versorgung mit elektrischer Energie kann dabei vom Anbieter für maximal 3 x 2 Stunden innerhalb von 24 Stunden ausgesetzt werden, wobei zwischen zwei Sperrzeiten eine Freigabezeit liegen muss, die mindestens genauso lang ist wie die vorangegangene Sperrzeit. Die Zeiten selbst variieren von Versorger zu Versorger, möglicherweise sind vertraglich auch keine Sperrzeiten vereinbart. In diesen Fällen kann ein Zuschlag auf den Wärmebedarf entfallen, anderenfalls sind folgende Zuschlagsfaktoren zu verwenden:

Sperrzeit 1 x 2 Stunden → Zuschlagsfaktor = 1,1

Sperrzeit 2 x 2 Stunden → Zuschlagsfaktor = 1,2

Sperrzeit 3 x 2 Stunden → Zuschlagsfaktor = 1,33

Der Gesamtwärmebedarf ist somit mit dem Zuschlagsfaktor zu multiplizieren. Werden vom Versorgungsunternehmen jedoch andere Sperrzeiten angegeben, so kann der Wärmebedarf auch über die folgende Formel berechnet werden:

$$Q_{H,ges} = Q_H * \frac{24h}{24h - Sperrdauer}$$

Da der Wärmebedarf eines Gebäudes allerdings mit der niedrigsten Außentemperatur des Ortes berechnet wird, diese jedoch sehr selten erreicht wird, hat sich in der Praxis gezeigt, dass eine Wärmepumpe, deren Leistungswerte ca. 10% bis 15% höher ist als der berechnete Wärmebedarf, für die Versorgung des Hauses mit Wärme ausreichend ist.

3.1.1.11 Betriebsweisen

Monovalenter Betrieb: Hierbei deckt die Wärmepumpe den Wärmebedarf des Gebäudes zu 100% allein. Dieser Betriebsweise sollte der Vorzug gegeben werden, da in diesem Fall die Abhängigkeit von anderen Wärmeerzeugern und die Betriebskosten am geringsten gehalten werden können. Üblicherweise werden Sole / Wasser – Wärmepumpen und Wasser / Wasser – Wärmepumpen monovalent betrieben.

Monoenergetischer Betrieb: Bei dieser Betriebsweise wird nur ein Energieträger – im Fall der Wärmepumpe ist dies Elektrizität – eingesetzt. Die Anlage deckt dabei einen Großteil des benötigten Wärmebedarfes eines Gebäudes ab und nur an wenigen Tagen, wenn die Außentemperaturen sehr tief sind, ergänzt ein elektrischer Heizstab die Wärmepumpe. Der Zuschaltzeitpunkt für den Heizstab wird bei Luft / Wasser – Wärmepumpen in der Regel auf eine Grenztemperatur oder auch Bivalenzpunkt von -5°C festgelegt.

Bivalent – paralleler Betrieb: Bei dieser Betriebsweise arbeiten zwei Wärmeerzeuger mit unterschiedlichen Energieträgern zusammen. Die Wärmepumpe deckt dabei bis zur Grenztemperatur den gesamten Wärmebedarf des Hauses. Bei Unterschreitung der Grenztemperatur schaltet sich automatisch ein zweiter Erzeuger dazu, der mit der Wärmepumpe jetzt parallel den benötigten Bedarf deckt.

Bivalent – regenerativer Betrieb: Hier wird die Einbindung regenerativer Wärmeerzeuger wie Holz oder Solarthermie ermöglicht. Dabei wird die Wärmepumpe

ausgeschaltet, sobald genügend Energie aus den erneuerbaren Energien zur Verfügung steht, und über diese die Wärmeanforderungen gedeckt.

3.1.2 Carnot- Prozess

Dieser Prozess beschreibt den thermodynamischen Kreislauf eines Fluides unter Vernachlässigung von Verlusten durch Reibung oder ungewollter Wärmeabgabe, er ist die Grundlage aller Wärmeprozesse. Dabei steht das Fluid wechselweise mit einem Wärmereservoir von konstant hoher Temperatur und einem Wärmereservoir mit konstant niedriger Temperatur in Kontakt, wobei es abwechselnd durch Aufbringen mechanischer Arbeit verdichtet wird und unter Abgabe von mechanischer Arbeit wieder expandiert. Das Fluid erreicht nach vollständigem Durchlauf des Prozesses wieder den Ausgangszustand, das heißt dass alle Zustandsgrößen wieder so groß sind wie zu Beginn des Prozesses.

3.1.3 Kältekreislauf und Prinzip der Wärmepumpe

Die Wärmepumpe wandelt Wärme von niedriger Temperatur in Wärme von hoher Temperatur in einem geschlossenen Kreisprozess, bei dem sich innerhalb der Anlage der Aggregatzustand des Kältemittels ständig ändert, um. Die Wärme mit dem geringen Temperaturniveau für diese Umwandlung bezieht die Anlage dabei aus einer der drei Wärmequellen Luft, Erde und Wasser und gibt diese Wärme, nach Zuführung von Antriebsenergie und Anhebung auf ein hohes Temperaturniveau, an den Heizkreis ab. Dabei wird ein Verhältnis von zugeführter Antriebsenergie und der aus der Umwelt entnommenen Wärmeenergie von mindestens 1 / 3 angestrebt, um eine wirtschaftliches betreiben der Anlage gewährleisten zu können. Dieses Verhältnis wird auch als Leistungszahl bezeichnet.

Die Hauptbestandteile einer jeden Wärmepumpe sind dabei der Verdampfer, der Verdichter, der Verflüssiger und das Expansionsventil. Im Verdampfer wird dabei das flüssige Arbeitsmedium über einen Wärmeübertrager durch die Umweltwärme bei niedrigen Temperaturen und Drücken verdampft. Anschließend wird das nun gasförmige Kältemittel im Verdichter auf ein höheres Druckniveau gebracht, wodurch auch die Temperatur des Mediums deutlich ansteigt. In einem zweiten Wärmeübertrager, dem Verflüssiger, wird die Wärme mit dem hohen

Temperaturniveau auf das Heizmedium übertragen, wodurch sich das Kältemittel wieder verflüssigt. In dem letzten Bauteil, dem Expansionsventil, wird der Verflüssigungsdruck auf den der Verdampfungstemperatur des nachgeschalteten Verdampfers entsprechenden Verdampfungsdruck abgesenkt. Nach diesem Arbeitsschritt kann der Prozess von neuem beginnen.

Bei komplexeren Anlagen, mit denen im Sommer mit der Wärmepumpe zusätzlich auch gekühlt werden kann oder die bivalent betrieben werden können, sind noch weitere Bauteile von Nöten – diese Beschreibung des Aufbaus bezieht sich nur auf die Hauptkomponenten der Wärmepumpe.

Die vier Hauptbestandteile, die in einer jeden Wärmepumpe existieren, sind der Verdampfer, der Verdichter, der Verflüssiger und das Expansionsventil. Bei komplexeren Anlagen, mit denen zum Beispiel im Sommer zusätzlich gekühlt werden soll oder bei bivalent betriebenen Anlagen, sind ferner noch weitere Bauteile notwendig, Diese Beschreibung des Aufbaus und der einzelnen Bauteile beinhaltet nur die Hauptkomponenten der Wärmepumpe.

Im Verdampfer wird der Wärmequelle über einen Wärmeübertrager durch Verdampfen eines Arbeitsmediums, dem Kältemittel, bei niedrigen Drücken und Temperaturen ein Wärmestrom entzogen.

Der Verdichter befindet sich zwischen Verdampfer und Verflüssiger und fördert und verdichtet das gasförmige Arbeitsmedium, wobei durch die Kompression die Temperatur und der Druck des Kältemittels erheblich ansteigen.

Der Verflüssiger oder auch Kondensator ist ein weiterer Wärmeübertrager, in dem ein Wärmestrom durch die Verflüssigung des Arbeitsmediums an den Heizmittelstrom abgegeben wird, der Druck des Kältemittels bleibt hierbei konstant.

Das Expansionsventil befindet sich zwischen Verflüssiger und Verdampfer und dient der Absenkung des Verflüssigungsdruckes auf den der Verdampfungstemperatur entsprechenden Verdampfungsdruck. Es regelt ferner die Einspritzmenge des Kältemittels in Abhängigkeit der Verdampferbelastung.

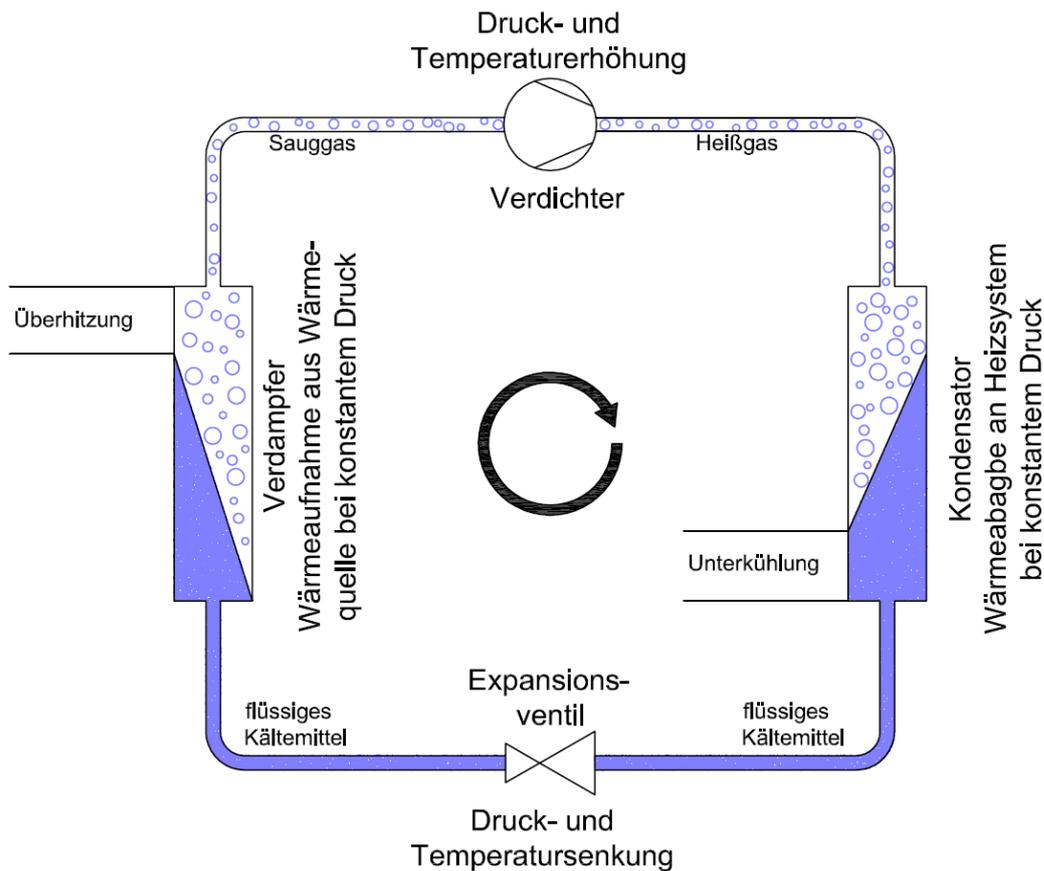


Abbildung 3.1.3: Prinzip der Wärmepumpe

Das Prinzip der Wärmepumpe im Allgemeinen wie in Abbildung 3.1.3 abgebildet beruht auf der Umwandlung von Wärme niedriger Temperatur in Wärme hoher Temperatur in einem geschlossenen Kreisprozess, bei dem sich innerhalb der Anlage der Aggregatzustand des Arbeitsmediums ständig ändert. Die Wärme für diese Umwandlung bezieht die Wärmepumpe aus den Wärmequellen Luft, Erde und Wasser und gibt diese Wärme unter Zuführung von Antriebsenergie an den Heizkreis wieder ab, wobei das Verhältnis zwischen zugeführter Antriebsenergie und der aus der Umwelt entnommenen Wärmeenergie mindestens 1 zu 3 betragen sollte, um ein wirtschaftliches betreiben der Anlage zu garantieren.

3.1.4 Ig- p- h- Diagramm

Dieses Diagramm beinhaltet eine graphische Darstellung der thermodynamischen Eigenschaften des Arbeitsmediums in der Wärmepumpe und lässt einen Rückschluss auf die einzelnen Fluidzustände während des jeweiligen

Arbeitsprozesses und die umgesetzten Energiemengen zu. Die Enthalpie h gibt dabei den in einem Stoff enthaltenen „Energieinhalt“ an, der Druck p wird logarithmisch angegeben, um ein besseres arbeiten mit dem Diagramm zu ermöglichen. Die linke Grenzkurve stellt im Diagramm die Trennung zwischen flüssiger Phase und dem Nassdampfgebiet dar, die rechte Grenzkurve beschreibt die Grenze zwischen dem Nassdampfgebiet und der gasförmigen Phase des Arbeitsmediums. Die in den nachfolgenden Erläuterungen angegebenen Prozesspunkte beziehen sich allesamt auf die Abbildung 3.1.4.1 am Ende des Punktes 3.1.4.

Die Darstellung des idealen Kreisprozesses, bei dem sich das Arbeitsmedium wie ein ideales Gas verhält und alle Bauteile ohne Verluste arbeiten, erfolgt dabei entlang des Kurvenzuges $1 - 2' - 2 - 3 - 4$. Die Linie $1 - 2'$ beschreibt dabei den Verdichtungsprozess, die Linie $2' - 2 - 3$ den Verflüssigungsprozess, die Linie $3 - 4$ steht für den Vorgang im Expansionsventil und die Linie $4 - 1$ steht für den Verdichterprozess.

Bei einem realen Kreisprozess jedoch muss das Arbeitsmedium zuerst auf den Punkt 1^* überhitzt werden um ein vollständiges Verdampfen vor dem Verdichter sicherstellen zu können. Aufgrund von Verlusten verläuft die anschließende Verdichtungslinie $1^* - 2^*$ flacher als beim idealen Prozess. Die nachfolgende Wärmeabgabe geschieht über die linke Grenzkurve hinaus auf den Punkt 3^* , um somit einen konstanten Durchsatz durch das Expansionsventil sicherstellen zu können, sonst besteht die Gefahr der Schwingung des Systems.

Die sich ergebenden Enthalpiedifferenzen des Diagramms beschreiben die wähen des Kreisprozesses umgesetzten Energiemengen, außerdem lässt sich damit die Leistungszahl der Wärmepumpe schnell ermitteln.

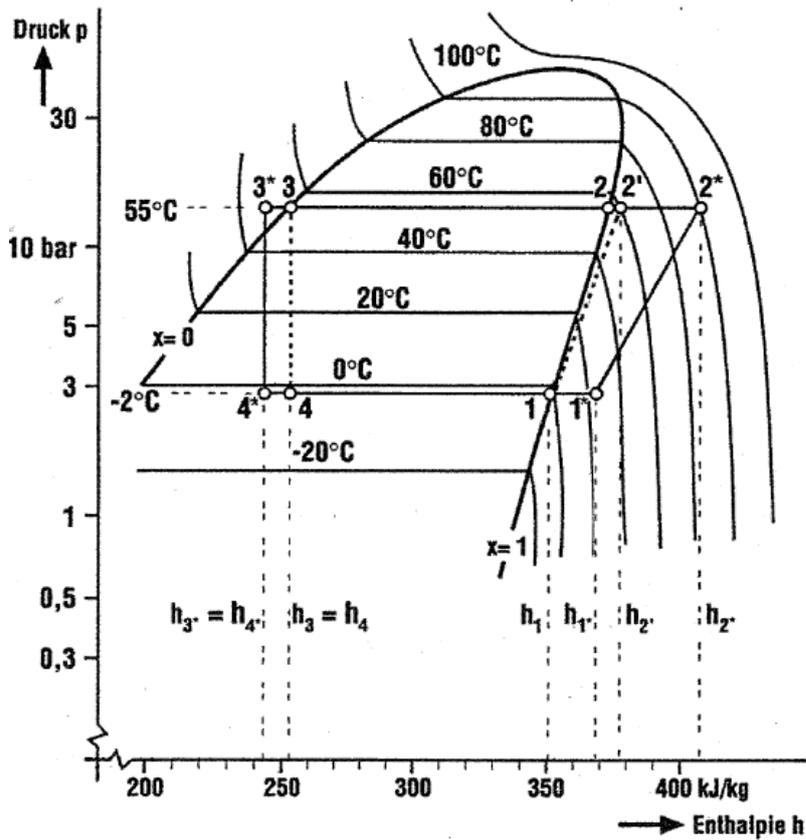


Abbildung 3.1.4.1: lg- p- h- Diagramm am Beispiel von R134a

Leistungszahlen:

- idealer (Carnot-) Prozess: $\varepsilon_C = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$
- realer Prozess mit Sauggasüberhitzung und Flüssigkeitsunterkühlung:

$$\varepsilon_C = \frac{h_{2^*} - h_{3^*}}{h_{2^*} - h_{1^*}}$$

3.2 Bauarten und Besonderheiten der Planung

3.2.1 Wärmepumpenarten

3.2.1.1 Kompressionswärmepumpe

Diese Anlagenart entspricht dem bereits in Punkt 3.1.3 beschriebenen Prinzip der Wärmepumpe und soll deshalb an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden.

Aufgrund der geringen Investitionskosten und der kompakten Bauarten im Vergleich zu den anderen Anlagentypen die am weitesten verbreiteten in der Haustechnik.

3.2.1.2 Absorptionswärmepumpe

Bei diesem Typ wird der mechanische Verdichter der Kompressionswärmepumpe durch einen thermischen Verdichter ersetzt, indem der Vorgang der Sorption, also der Aufnahme eines Gases oder einer Flüssigkeit durch eine andere Flüssigkeit wie Ammoniak, ausgenutzt wird. Im Verdampfer wird das Ammoniak bei niedrigen Drücken und Temperaturen mit Hilfe von Niedertemperaturwärme verdampft. Im Absorber wird anschließend der Kältemitteldampf von Wasser, welches in diesem Fall als Lösungsmittel dient, absorbiert. Die dabei entstehenden hohen Temperaturen lassen sich über einen Wärmeübertrager als Nutzwärme abführen. Über eine Pumpe wird das Lösungsmittel, jetzt bestehend aus Kältemittel und Wasser, zum thermischen Verdichter gefördert. Im Austreiber wird durch die Zufuhr von Wärme mit hohem Temperaturniveau Wasser und Ammoniak aufgrund ihrer unterschiedlichen Siedepunkte wieder voneinander getrennt. Die dafür benötigte Wärme kann durch Solarthermie, Biogas oder auch Prozessabwärme u. a. erzeugt werden. Im Kondensator verflüssigt sich das Kältemittel bei hohem Druck und hohen Temperaturen wieder, die Kondensationswärme kann hierbei ebenfalls noch genutzt werden. Über jeweils ein Expansionsventil gelangt das flüssige Kältemittel wieder in den Verdampfer und das Lösungsmittel in den Absorber.

Absorptionswärmepumpen werden häufig bei sehr großen Anlagenleistungen oder auch bei der Gebäudeklimatisierung eingesetzt.

3.2.1.3 Adsorptionswärmepumpe

Bei diesem Prinzip wird sich der Eigenschaften der Bindung von Wasserdampf an Feststoffe wie Aktivkohle oder Silikagel zunutze gemacht. Bei diesem Vorgang, also der Bindung des Wasserdampfes an den Feststoff, entsteht eine starke exotherme Reaktion mit Temperaturen von bis zu 300°C. Um jedoch auch Niedertemperaturwärme nutzen zu können, muss im System ein starker Unterdruck erzeugt werden, damit das eingesetzte Wasser auch bei niedrigen Temperaturen verdampfen kann. Die Anlage wird dabei in zwei unterschiedlichen Phasen

betrieben. In der ersten Phase wird ein mit einem Feststoff beschichteter Wärmeübertrager, in welchem Wasser gebunden ist, stark erwärmt und auf diese Weise das Wasser aus dem Feststoff ausgetrieben. Der entstandene Wasserdampf kondensiert an einem zweiten Wärmeübertrager und die dabei entstehende Kondensationswärme wird der Wärmenutzungsanlage zugeführt. Im Anschluss daran, wenn nahezu das gesamte Wasser aus dem ersten Wärmeübertrager ausgetrieben worden und der Wasserdampf im zweiten Übertrager kondensiert ist, wird die Wärmezufuhr zum ersten Übertrager gestoppt und in dem anderen ein Vakuum erzeugt, um diesen im Anschluss mit Niedertemperaturwärme beaufschlagen zu können. Der Prozess kann nun in umgekehrter Richtung von neuem beginnen.

Das Austreiben des Wassers kann dabei durch regenerativ erzeugte Wärme wie Solarthermie oder auch Geothermie erfolgen. Aufgrund der aufwendigen Vakuumtechnik ist dieser Anlagentyp jedoch selten im Einsatz.

3.2.2 Wärmepumpen in der Haustechnik

3.2.2.1 Luft / Wasser- Wärmepumpe

Die Luft / Wasser- Wärmepumpe nutzt die Umweltenergie der Luft, welche durch einen Ventilator angesaugt wird. Die Energie der Luft wird im Verdampfer auf das flüssige Kältemittel übertragen, welches bei gleichbleibendem Druck verdampft. Anschließend erfolgt eine starke Erhöhung des Druckes und der Temperatur durch den nachgeschalteten Verdichter. Im weiteren Verlauf strömt das Kältemittel zum Verflüssiger, in welchem die Wärme auf das Heizmittel übertragen wird. Dabei kühlt sich das Arbeitsmittel ab und verflüssigt sich bei konstantem Druck wieder. Im letzten Schritt erfolgt durch das Expansionsventil eine Druck- und damit verbunden auch eine Temperaturabsenkung, so dass der Prozess von neuem beginnen kann das Kältemittel wieder Wärme aus der Luft aufnehmen kann.

Die Wärmequelle Luft ist die bevorzugte Variante bei Sanierungen von bereits bestehenden Anlagen, wird aber ebenso auch bei Neubauten eingesetzt. Die Vorteile bei der Nutzung von Außenluft liegen dabei bei den geringsten Investitionskosten im Vergleich zu den anderen Wärmepumpenarten, denn Luft ist nicht nur überall unbegrenzt und kostenlos verfügbar, auch müssen nicht erst aufwendige Erdarbeiten

durchgeführt werden. Die Wärmepumpe selbst kann hierbei sowohl im Freien aufgestellt werden, wenn dies allerdings nicht möglich ist, ist eine Aufstellung innerhalb des Gebäudes jedoch genauso möglich.

Bei der Aufstellung im Freien ist darauf zu achten, dass ein Mindestabstand von 5m zum nächsten Wohngebäude eingehalten wird, um eine unnötige Belästigung durch Schallemissionen vermieden wird.

Bei einer Innenaufstellung der Wärmepumpe werden zusätzliche Anforderungen an die Anlage gestellt. So muss die Luftzu- und abfuhr der Wärmepumpe über Lüftungskanäle realisiert werden, die möglichst strömungsgünstig ausgeführt werden sollten, um dadurch unnötige Luftwiderstände durch Umlenkungen zu vermeiden. Des Weiteren sollte der Aufstellungsraum nach Möglichkeit mit Außenluft belüftet werden, um die relative Luftfeuchtigkeit niedrig zu halten und eine Kondensatbildung an den eventuell sehr kalten Kanälen und auch an den Mauerdurchbrüchen zu vermeiden, die längerfristig zu Bauschäden führen können. Deshalb sollten diese Bauteile mit einer Wärmedämmung verkleidet werden, um die Auskühlung bzw. Durchfeuchtung des Mauerwerkes zu verhindern. Liegt der Aufstellungsraum unterhalb der Erdgleiche, so wird die benötigte Luft über Lichtschächte angesaugt und ausgeblasen. Diese sollten mit einer schallabsorbierenden, wetterbeständigen Auskleidung versehen werden um die Schallemissionen zu reduzieren. Bei der Aufstellung der Anlage ist auch darauf zu achten, dass es zu keinem thermischen Kurzschluss kommen kann, d. h., dass die abgeführte Luft nicht wieder angesaugt werden kann.

Die Betriebsweise der Luft / Wasser- Wärmepumpe ist in den häufigsten Fällen ausschließlich bivalent- parallel bzw. bivalent- alternativ oder monoenergetisch, da bei sehr tiefen Außentemperaturen die Leistungszahl der Anlage stark sinkt und die komplette Wärmeversorgung des Gebäudes nicht mehr gewährleistet werden kann. Die Auslegung erfolgt dabei auf den Bivalenzpunkt, der bei Altbauten zwischen +3°C und -5°C und bei Neubauten zwischen -2°C und -7°C liegen kann. Die Wärmepumpe kann hierbei bis 98% des jährlichen Wärmebedarfes abdecken.

Abbildung 3.2.2.1 zeigt die beiden Aufstellvarianten einer Luft / Wasser- Wärmepumpe.

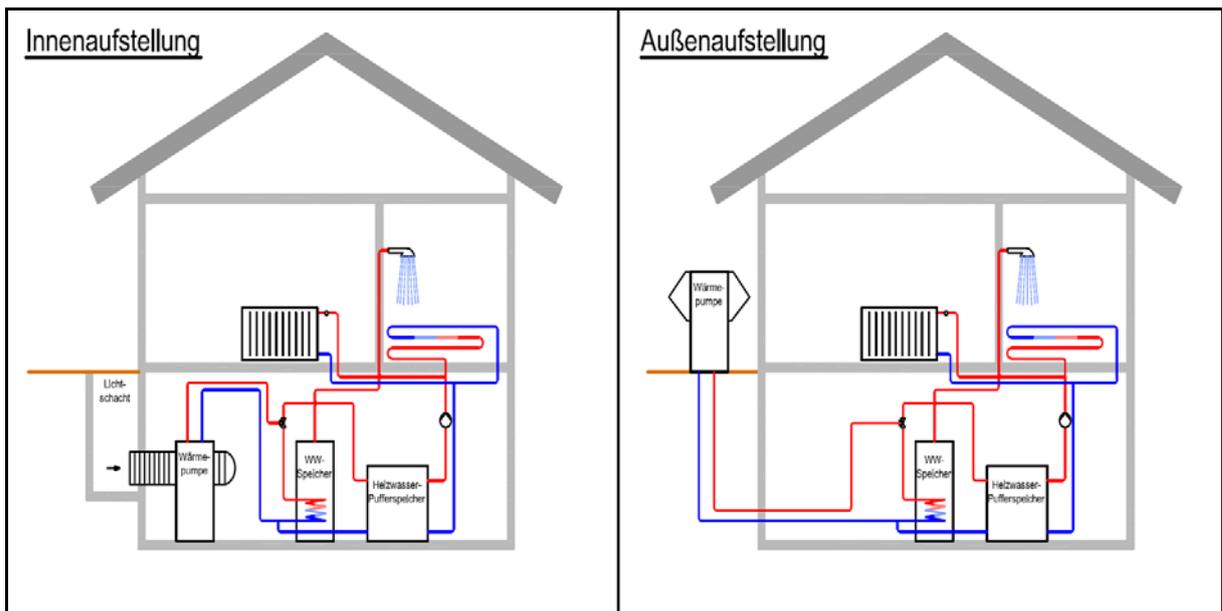


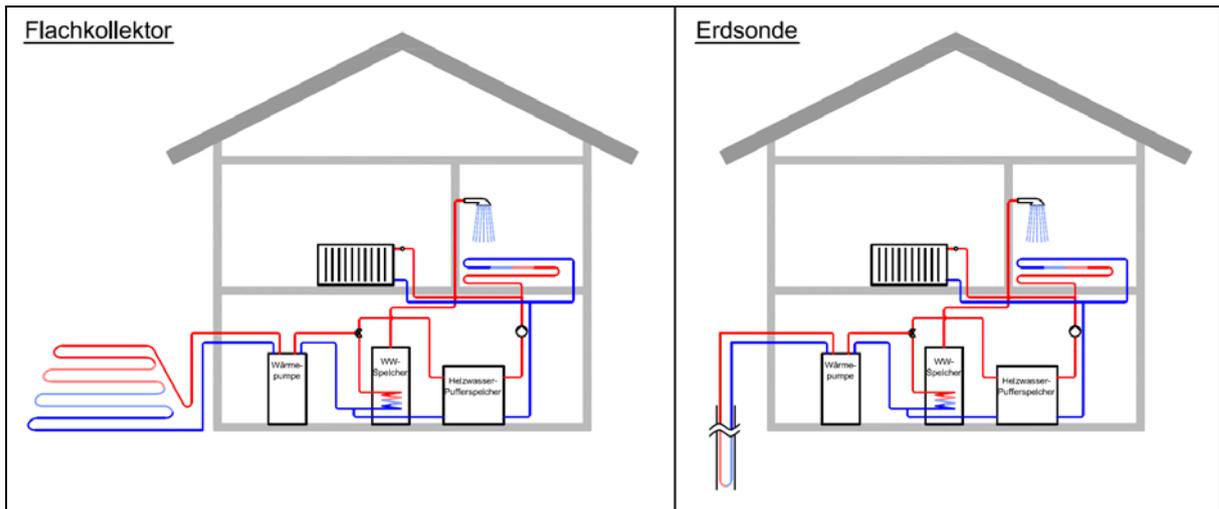
Abbildung 3.2.2.1: Aufstellungsmöglichkeiten Luft / Wasser- Wärmepumpe

3.2.2.2 Sole / Wasser- Wärmepumpe

Die Sole / Wasser- Wärmepumpe macht sich die im Erdreich gespeicherte Sonnenenergie zu Nutze. Die Wärme wird dabei von einer Sole, einem Gemisch aus Wasser und einem Frostschutzmittel, aufgenommen, welches in flexiblen PE- Röhren zirkuliert, die wiederum im Erdreich verlegt worden sind. Die Wärmepumpe wandelt diese Energie in Heizenergie um, indem in einem Wärmeübertrager, dem Verdampfer, die Wärme aus der Sole auf das Kältemittel übertragen wird. Wie bei der Luft / Wasser- Wärmepumpe erfolgt danach eine Kompression und Druck- sowie Temperaturerhöhung, die Wärme wird über den zweiten Wärmeübertrager auf das Heizmedium übertragen und im letzten Schritt wird das Kältemittel im Expansionsventil ebenfalls wieder entspannt und die Temperatur gesenkt.

Bei der Wärmequelle Erdreich wird vorrangig die im Erdreich durch den Regen eingebrachte und gespeicherte Sonnenenergie und nur zu sehr geringen Teilen die Geothermie genutzt, aus diesem Grund dürfen die Kollektoren zur Aufnahme der Wärme nicht unter versiegelten Flächen liegen.

Die beiden am häufigsten eingesetzten Kollektorarten sind die in Abbildung 3.2.2.1 abgebildeten Flachkollektoren und die Erdsonden.



Abbildungen 3.2.2.2.1: Kollektorarten für Sole / Wasser- Wärmepumpe

Die Verlegetiefe bei Flachkollektoren beträgt zwischen 1m und 1,5m, sie sollte jedoch auf jeden Fall mindestens 0,2m unterhalb der maximalen Frostgrenze liegen. Der Verlegeabstand der einzelnen Rohre variiert je nach Bodenart und dem gewählten Rohrdurchmesser und sollte zwischen 0,5m und 0,8m gewählt werden. Die benötigte Fläche für den Kollektor richtet sich nach dem Verlegeabstand, der spezifischen Entzugsleistung, der vorhandenen Bodenart und dem Wärmebedarf, sie sollte jedoch mindestens anderthalb bis doppelt so groß ausgelegt werden wie die zu beheizende Grundfläche des Hauses. Es ist weiterhin darauf zu achten, dass die Länge eines einzelnen Kollektorrohres 100m nicht überschreitet, da anderenfalls die Druckverluste innerhalb des Rohres zu groß werden. Wird eine größere Entzugsleistung benötigt als mit diesen 100m Rohr zu erreichen ist, werden mehrere gleich lange Kollektorkreise parallel geschaltet. Innerhalb der Leitungen zirkuliert eine Soleflüssigkeit, ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel auf Glykolbasis, welches die Wärme aufnimmt und mittels einer Solepumpe wird diese zum Verdampfer der Wärmepumpe transportiert.

Steht nicht ausreichend unbebaute Fläche für die Flachkollektoren zur Verfügung, kommen Erdsonden zum Einsatz. Der Vorteil dieser Kollektorart besteht in der, wie in Abbildung 3.2.2.2 zu erkennen ist, relativ konstanten Temperatur des Erdreiches ab einer Tiefe von ca. 15m.

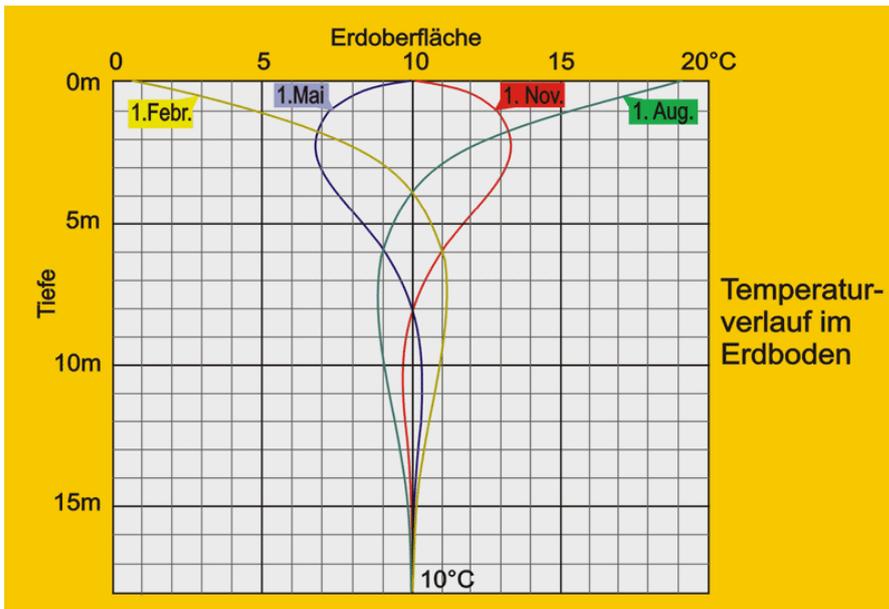


Abbildung 3.2.2.2: Temperaturen des Erdreiches

Um diese Temperaturen nutzen zu können, werden Tiefenbohrungen von 20m bis zu maximal 100m vorgenommen, diese sind jedoch genehmigungspflichtig und kostenintensiv, da sie nur von qualifizierten Bohrunternehmen durchgeführt werden dürfen. Die Bohrtiefe und die Anzahl der Sonden richten sich hier ebenfalls nach der spezifischen Entzugsleistung, der Bodenart und dem Wärmebedarf. Der Sondenabstand selbst sollte mindestens 5m betragen um eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Erdsonden zu vermeiden. Alternativ zu den Tiefenbohrungen werden auch andere Bauarten angeboten, wie zum Beispiel Erdwärmekörbe, Künettenkollektoren, Flachkünetten und andere.

Um die Regeneration der Wärmequelle nach der Heizperiode zu beschleunigen und eine eventuelle Beeinträchtigung der Tier- und Pflanzenwelt aufgrund der kälteren Bodentemperaturen zu vermeiden, so kann in den warmen Sommermonaten die Wärmepumpe auch reversibel, also für die Kühlung des Objektes genutzt werden. Dafür wird in der Anlage ein 4- Wege- Ventil benötigt, welches je nach entsprechender Anforderung umschaltet. Auch eine Versorgung mit Trinkwarmwasser ist in dieser Betriebsweise ohne den Einsatz zusätzlicher Systeme möglich.

Bei dieser Wärmepumpenart wird auch das Prinzip der Direktverdampfung angewendet. Dabei zirkuliert das Kältemittel nicht nur innerhalb der Wärmepumpe, sondern ersetzt die Soleflüssigkeit im Kollektor und verdampft in diesem, wodurch

bei diesem Prinzip die Übertragungsverluste durch den Wärmeübertrager zwischen Kollektorkreislauf und Kältemittelkreislauf entfallen. Zusätzlich muss dann allerdings in den Sole- / Kältemittelkreislauf ein Kondensatabscheider installiert werden, um zu vermeiden, dass flüssiges Kältemittel in den Verdichter gelangen und diesen beschädigen kann, wenn das Arbeitsmedium im Kollektor nicht vollständig verdampfen konnte. Neben den geringeren Übertragungsverlusten liegt ein weiterer Vorteil in der geringeren Anzahl an nötigen Bauteilen, nachteilig hingegen ist der größere Bedarf an Kältemittel und der höheren elektrische Leistung des Verdichters.

3.2.2.3 Wasser / Wasser- Wärmepumpe

Die Wasser / Wasser- Wärmepumpe basiert auf dem gleichen allgemeinen Prinzip der anderen beiden Anlagentypen für Anwendungen in der Haustechnik, nutzt jedoch den Wärmeinhalt des Grundwassers oder einer anderen möglichen Wasserquelle um das Kältemittel im Kältekreislauf der Anlage zu verdampfen. Dieser Wärmepumpentyp besitzt die besten Leistungszahlen aller drei Anlagen.

Diese Variante der Wärmepumpe erreicht aufgrund der ganzjährig konstanten Temperaturen des Grundwassers von 7°C bis 12°C die höchsten Leistungszahlen im Vergleich zu den anderen Wärmepumpentypen. Zum Wärmeentzug aus dem Grundwasser muss allerdings in jedem Fall die Zustimmung der zuständigen Wasserbehörde vorliegen, die zusätzlich an bestimmte Bedingungen wie einer maximalen Entnahmemenge oder eventuell auch einer Wasseranalyse gebunden ist. Weiterhin müssen sowohl in Vorlauf als auch in den Rücklauf der Wärmequellenanlage ein Wasserzähler eingebracht werden, um so eine anderweitige Nutzung des Grundwassers verhindern zu können. Auch dürfen im Grundwasser keine absetzbaren Stoffe enthalten sein und die Eisen- und Mangan-Grenzwerte müssen eingehalten werden, um eine Verockerung der Wärmequellenanlage oder Schäden an der Pumpe zu verhindern.

Um die Wärmequelle auch nutzen zu können, sollte das Grundwasser in einer Tiefe von maximal 15m vorhanden und nicht kälter als 8°C sein, da sonst der Aufwand für die Förderung zu groß wird und bei zu tiefen Temperaturen der Kältekreislauf der Wärmepumpe nicht korrekt arbeitet. Des weiteren müssen zwei Brunnen, der Förderbrunnen und, in einem Abstand von 10m bis 15m in Fließrichtung des Grundwassers, der Schluckbrunnen, gebohrt werden, dies darf jedoch wie bei der

Tiefenbohrung der Sole / Wasser- Wärmepumpe nur ein qualifiziertes Bohr-
unternehmen durchführen. Die Entnahmemenge aus dem Förderbrunnen richtet sich
nach dem Wärmebedarf des Gebäudes, die Größe der Tauchpumpe richtet sich
wiederum nach der Fördermenge, wobei überschlägig ein Volumenstrom von 160 l/h
je kW Heizleistung angenommen werden kann. Um diese Menge auch gewährleisten
zu können, sollte vor der Installation der Anlage ein mindestens 3- tägiger Dauertest
durchgeführt werden.

Der Einsatz von Grundwasser bei der Wasser / Wasser- Wärmepumpe ist jedoch
nicht zwingend notwendig. Steht zum Beispiel Kühlwasser aus einem
Produktionsprozess zur Verfügung, kann auch die Abwärme dieses Wassers genutzt
werden, wenn es in ausreichender Menge und Qualität vorhanden ist. Ist die
Wasserqualität für die Anforderungen der Wärmepumpe nicht ausreichend bzw.
schwankt diese, muss ein Zwischenkreis und ein zusätzlicher Wärmeübertrager zum
Einsatz kommen, um die Wärmepumpenanlage vor Zusetzung oder Verockerung zu
schützen.

Abbildung 3.2.2.3 zeigt eine Wasser / Wasser- Wärmepumpe mit der Wärmequelle
Grundwasser.

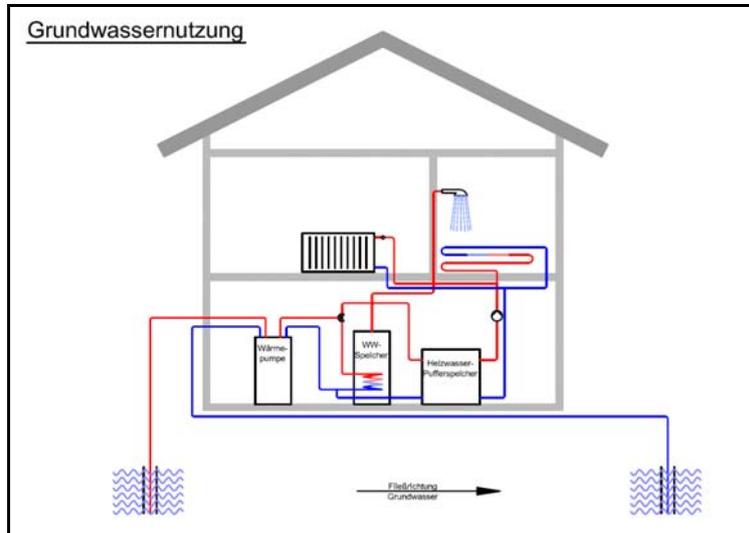


Abbildung 3.2.2.3: Wasser / Wasser- Wärmepumpe

3.3 Anlagenplanung

Bei der Planung der Anlage ist vor allem auf das Verhältnis zwischen Investitions-
und Betriebskosten unter Berücksichtigung der Wünsche des Bauherren und der

örtlichen Gegebenheiten zu achten. Die Aufgabe des Planers besteht somit in der Erarbeitung des optimalen Verhältnisses aus Kosten und Leistung der Anlage.

3.3.1 Auswahl der Wärmequelle

Vor der Auslegung der eigentlichen Wärmepumpe und der dazugehörigen Komponenten steht die Auswahl einer geeigneten Wärmequelle unter Beachtung der dabei entstehenden Investitionskosten und eines möglichst hohen Temperaturniveaus der Wärmequelle.

Die Nutzung des Grundwassers als Wärmequelle für eine Wasser / Wasser-Wärmepumpe wurde von der zuständigen unteren Wasserbehörde nicht genehmigt und schied somit bei der Planung der Anlage aus. Der Einsatz von Flachkollektoren für die Verwendung der Wärmequelle musste aufgrund der zu geringen vorhandenen Gartenfläche von ca. 260m² ebenfalls von der Planung ausgeschlossen werden, nötig wäre bei einer beheizten Grundfläche von 206m² eine Fläche von mindestens 310m² gewesen. Die Einbringung von Erdsonden wurde hingegen von den Bauherren selbst wegen der hohen Investitionskosten nicht gewünscht. Damit kann nur noch die Wärmequelle Luft und der Einsatz einer Luft / Wasser- Wärmepumpe für die Erzeugung der Wärme herangezogen werden. Die Anlage soll dabei auf Wunsch des Auftraggebers innerhalb des Gebäudes im Technikraum aufgestellt werden.

3.3.2 Bestimmung des Wärmebedarfes

Eine genaue Ermittlung der Heizlast ist für die Auslegung der Wärmepumpe von entscheidender Bedeutung, da eine überdimensionierte Anlage zu hohe Kosten verursacht. Im vorliegenden Projekt soll neben der Versorgung des Heizungssystems mit Wärme auch die Erwärmung des Trinkwassers mit Hilfe der Wärmepumpe realisiert werden, d. h., dass die Vorlauftemperatur des Systems 50°C betragen sollte. Bei einem normalen Warmwasserbedarf von 50 l/(d * Pers) wird bei vier Personen ein Heizlastzuschlag von 1kW veranschlagt. Die Kalkulation der Gebäudeheizlast erfolgte bereits in der Studienarbeit und liegt als Berechnung im Anhang A1 vor.

Es ergibt sich damit nach dem Zuschlag für die Warmwasserbereitstellung eine Gesamtheizlast von 11,1kW. Dieser Zuschlag erfolgt auch bei einer Anlagenvariante mit solarer Trinkwassererwärmung, damit die Versorgung mit Brauchwasser auch bei einer geringen solaren Einstrahlung gesichert werden kann

3.3.3 EVU- Sperrzeiten und Wahl der Betriebsweise

Wie bereits unter Punkt 3.1.1.10 beschrieben werden die Sperrzeiten des Stromanbieters benötigt, um die tatsächlich benötigte Leistung der Wärmepumpe bestimmen zu können. Das gewählte Versorgungsunternehmen gibt hierbei eine Sperrzeit von 2 x 1 Stunde vor, wodurch sich der Gesamtwärmebedarf um den Faktor 1,1 auf 12,2kW erhöht.

Die Betriebsweise der Anlage wird monoenergetisch erfolgen, es kommt somit ein Elektroheizstab als zweiter Wärmeerzeuger zum Einsatz. Eine monovalente Betriebsweise wurde abgelehnt, da bei sehr tiefen Außentemperaturen die Versorgung mit Warmwasser über die Wärmepumpe nicht gewährleistet werden kann. Wird zusätzlich zur Wärmepumpe eine solarthermische Anlage installiert, wird eine bivalent- parallele Betriebsweise gewählt, wobei auch bei diesem Prinzip ein Elektroheizstab zum Einsatz kommen wird, um die Versorgung mit Trinkwarmwasser bei tiefen Temperaturen und geringer solarer Einstrahlung sicher zu stellen.

3.3.4 Auslegung der Wärmenutzungsanlage

Die Wärmenutzungsanlage besteht in beiden betrachteten Fällen aus der Anlage für die Raumheizung und der Anlage für die Warmwasserbereitung. Die Auslegung der Fußbodenheizung erfolgte wie die Bestimmung des Wärmebedarfes bereits in der Studienarbeit. Die Berechnung befindet sich ebenfalls im Anhang A1 dieser Arbeit. Die Berechnung der Wärmeleistung für die Warmwasserbereitung erfolgt nach VDI 2067 in Abstimmung mit dem Bauherren und ergab sich zu 1kW.

3.3.5 Auslegung der Wärmepumpenanlage

Nach den genannten Kriterien wurde eine Wärmepumpe mit den folgenden Parametern ausgewählt: die Nenn- Wärmeleistung beträgt $Q_{\text{Nenn}} = 12,2\text{kW}$, die Kälteleistung ergibt sich zu $Q_{\text{K}} = 12,6\text{kW}$ und die elektrische Leistungsaufnahme wird mit $P_{\text{el}} = 3,81\text{kW}$ angegeben. Damit ergibt sich eine Leistungszahl von $\varepsilon = 3,2$. Es ist jedoch darauf zu achten, dass diese Werte nur bei einer Außenlufttemperatur von 2°C und einer Heizwasser- Vorlauftemperatur von 35°C erreicht werden. Die Leistungszahl der Wärmepumpenanlage verschlechtert sich, wenn die Außenlufttemperatur sinkt und / oder die Heizwasser- Vorlauftemperatur angehoben wird.

Der Bivalenzpunkt des Systems liegt wie in Abbildung 3.3.5.1 zu sehen bei $-9,5^\circ\text{C}$, der Heizstab muss somit eine Leistung von mindestens $3,4\text{kW}$ besitzen. Aus den Herstellerunterlagen wurde ein Heizstab mit einer Leistung von 6kW gewählt.

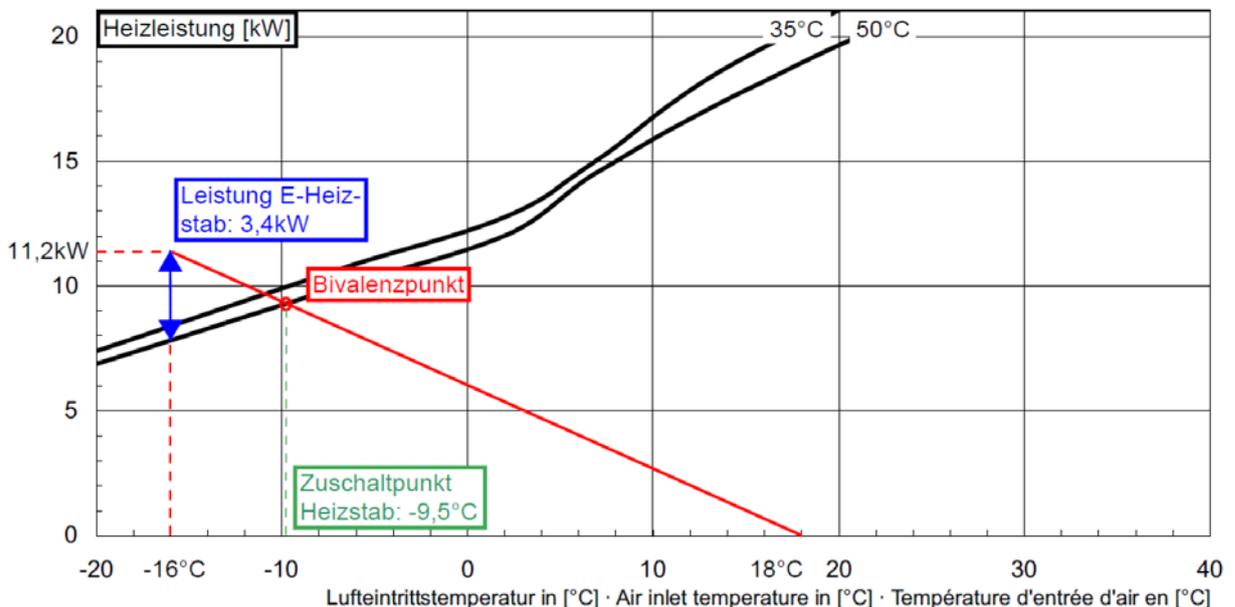


Abbildung 3.3.5.1: Leistungsdiagramm und Bivalenzpunkt Wärmepumpe

Da die Anlage innerhalb des Gebäudes aufgestellt werden soll, ist die Installation von Luftkanälen unumgänglich. Die Wanddurchführungen der Kanäle und der Anschluss an das Gerät erfolgen körperschallgedämmt, um so die Belästigung durch

Schallemissionen zu reduzieren, außerdem wird ein Wetterschutzgitter gegen Eindringen von Regenwasser und Kondensat sowie als Kleintierschutz installiert. Zu- und Abluftöffnung werden über Eck unter Berücksichtigung der Hauptwindrichtung angeordnet, so dass es nicht zu einem Luftkurzschluss kommen kann. Der Aufstellraum befindet sich unterhalb der Erdgleichen, so dass die Luft über Lichtschächte angesaugt und ausgeblasen wird. Diese müssen schallgedämmt und mit einem Ablauf für Regenwasser und Kondensat versehen werden, außerdem erfolgt wie in Abbildung 3.3.5.2 dargestellt der Einbau eines Luftleitbleches, um den Druckverlust so gering wie möglich zu halten.

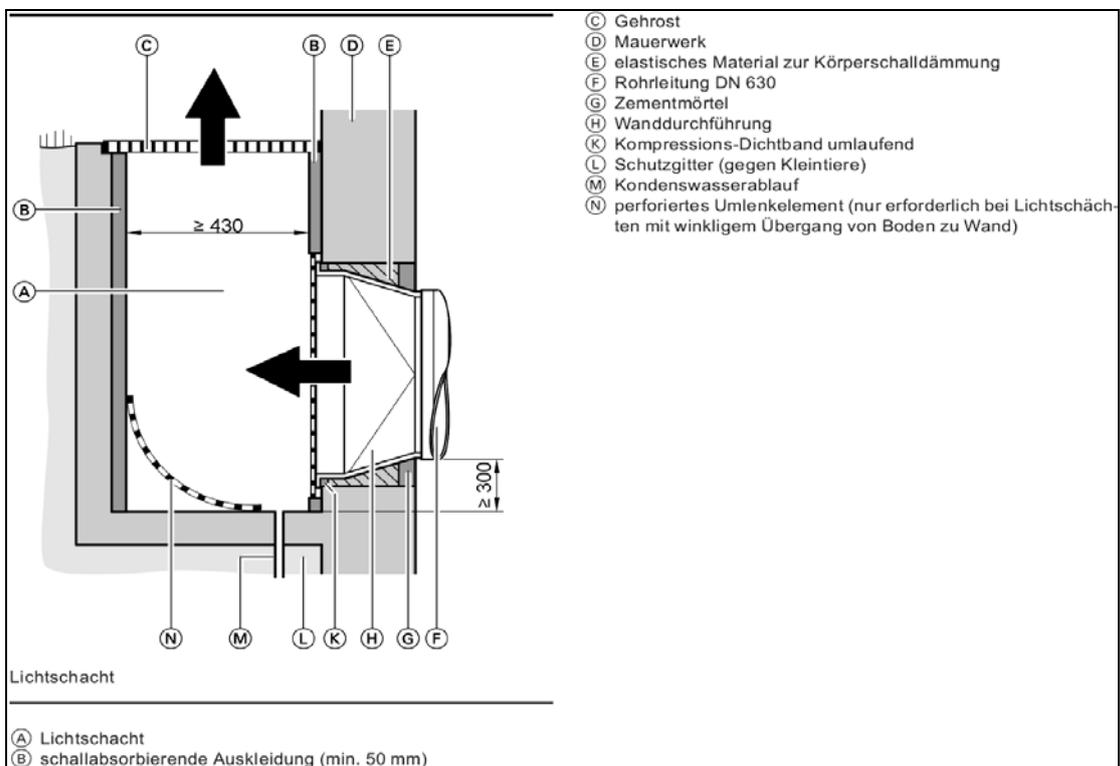


Abbildung 3.3.5.2: Luftleitblech Lichtschacht

Das Volumen des Speicher- Wassererwärmers wurde mit 296l ermittelt, aus den Herstellerunterlagen wird ein Speicher mit einem Inhalt von 300l gewählt. Für die Kombination mit einer Solaranlage wird ein vom Hersteller speziell für diese Zwecke vorgeschlagener Speicher mit einem Inhalt von 390l ausgesucht.

4 Solaranlage

4.1 Definition Solaranlage

Als Solaranlage wird im Allgemeinen eine technische Anlage zur Nutzung der Sonnenenergie bezeichnet, es findet jedoch keine Unterscheidung nach der Art der gewonnenen Energieform statt. Um eine genaue Zuordnung ermöglichen zu können, wird in solarthermische Anlagen und Photovoltaikanlagen unterschieden.

Thermisch Solaranlagen wandeln dabei die von der Sonne gewonnene Energie in Wärme um und machen sie für andere Anwendungen wie zum Beispiel der Warmwasserbereitung nutzbar, indem sie die Wärme auf ein Wärmeträgermedium übertragen. Der genaue Aufbau und die Funktionsweise einer solchen Anlage soll in späteren Kapiteln erläutert werden.

Photovoltaikanlagen hingegen wandeln die von der Sonne zur Verfügung gestellte Energie in elektrischen Strom um, indem sie den photoelektrischen Effekt nutzen. Für diese Umwandlung werden so genannte Halbleiter, meist aus Silizium, verwendet, welches durch aufwendige chemische Bearbeitungsprozesse aus Quarzsand gewonnen wird. Die produzierten Siliziumscheiben werden anschließend mit Fremdatomen wie Bor oder Phosphor dotiert, also gezielt verunreinigt, um den so genannten p- n- Übergang zu erhalten. Im weiteren Prozess werden die dotierten Halbleiter mit Kontakten versehen und danach zu Modulen zusammengeschaltet, um auf diese Weise die elektrische Leistung zu erhöhen. Eingesetzt werden die Photovoltaikanlagen entweder im Netzbetrieb, das heißt, die erzeugte elektrische Energie wird in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist und dient nicht der Selbstversorgung. Die zweite Einsatzmöglichkeit ist der „Inselbetrieb“, in dem die erzeugte elektrische Energie direkt vor Ort wieder verbraucht oder für eine spätere Nutzung für kurze Zeit gespeichert wird. Diese Möglichkeit der Nutzung findet hauptsächlich bei kleinen Anlagen mit geringer elektrischer Leistung Anwendung. Da in dem vorliegenden Projekt der Einsatz solcher Photoelektrischen Anlagen jedoch nicht geplant ist, soll hierauf nicht weiter eingegangen werden.

4.2 Begriffe

4.2.1 Betriebsarten

Bei dieser Einteilung einer solaren Anlage ist das entscheidende Unterscheidungsmerkmal der spezifische Wärmeträgerdurchfluss pro Quadratmeter Kollektorfläche.

4.2.1.1 High- Flow System

Bei einem High- Flow- System strömt der Wärmeträger mit einem Durchfluss zwischen 30 und 70 Litern pro Stunde und Quadratmeter Kollektorfläche durch die Anlage. Dabei kann die Temperatur des Mediums in einem Durchlauf im Schnitt um 10K angehoben werden und der Kollektor wird mit einem guten Wirkungsgrad betrieben, das heißt, der Energieertrag der Kollektoren ist hoch. Jedoch muss der Wärmeträger häufig umgewälzt werden, was zur Folge hat, dass der Speicher über einen längeren Zeitraum aufgeheizt werden muss. Bei dieser Betriebsweise werden die Kollektoren in der Regel parallel geschaltet. Diese Systeme finden schon mehrere Jahrzehnte Verwendung und sind dementsprechend erprobt.

4.2.1.2 Low- Flow System

Das Low- Flow- System arbeitet hingegen mit Durchflüssen von 8 bis 15 Litern pro Stunde und Quadratmeter Kollektorfläche, wodurch Temperaturerhöhungen von bis zu 50K realisiert werden können. Der Vorteil liegt in der sehr schnellen Bereitstellung von Nutzwärme für den Verbraucher, außerdem können kleinere Nennweiten für die Rohrleitungen gewählt werden, was die Wärmeverluste über die Rohre minimiert und die Investitionskosten senkt. Die Kollektoren werden dabei in der Regel in Reihe geschaltet um eine noch größere Temperaturerhöhung zu erzielen. Es muss aber darauf geachtet werden, dass hierbei alle Systemkomponenten möglichst optimal aufeinander abgestimmt werden, da sonst der Wirkungsgrad der Kollektoren sinkt. In der Regel wird dieses System ab einer Kollektorfläche von mehr als 15m² eingesetzt.

4.2.1.3 Matched- Flow- System

Eine noch relativ neue Betriebsweise ist das Matched- Flow- Konzept, bei dem die Vorteile von High- Flow und Low- Flow vereint werden sollen, das heißt, der Wärmeträgerdurchsatz ist abhängig von der vorhandenen Einstrahlung. Da allerdings unterschiedliche Systembauteile für die jeweiligen Betriebsweisen benötigt werden, ist eine aufwendige Regelungstechnik notwendig.

4.2.1.4 Drain- Back- System

Abbildung 4.2.1.4 zeigt das Drain- Back- System, welches einen zusätzlichen Behälter beinhaltet, in den bei Stillstand der Solaranlage das Trägermedium zurückfließen kann. Der Behälter kann auch gleichzeitig als Speicher oder Wärmeübertrager genutzt werden, in dem sich eine gewisse Menge Luft befindet. Die Vorteile des Systems liegen im Entfall der üblichen Stagnationsprobleme der anderen Anlagen und dem Wegfall von bestimmten Bauteilen, wie Entlüftungsventilen, dem Sicherheitsventil und dem Ausdehnungsgefäß. Bei der Montage muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Rohrleitungen mit Gefälle verlegt werden um ein leerlaufen der Anlage sicherstellen zu können. Dazu sind auch gut leerlaufende Absorber von Vorteil. Weiterhin sollten Pumpen Verwendung finden, die mit einem Gemisch aus Luft / Wasser problemlos arbeiten können.

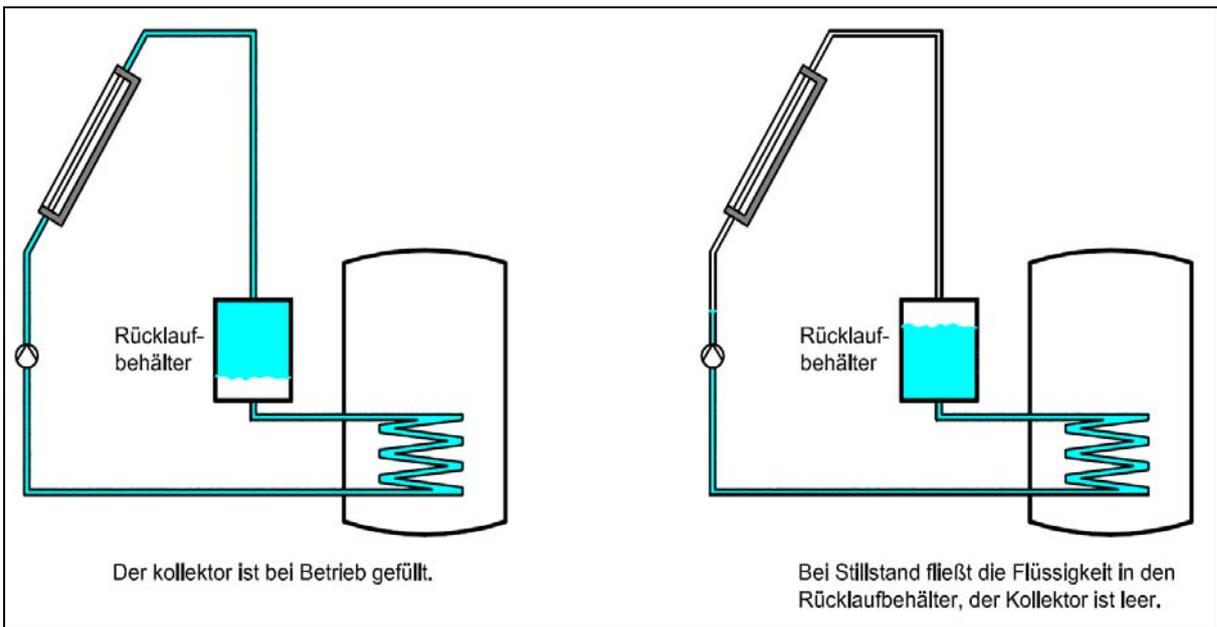


Abbildung 4.2.1.4: Drain- Back- System

4.2.2 Apertur- und Absorberfläche

Die Aperturfläche eines Kollektors entspricht der Fläche der transparenten Abdeckung der Anlage. Sie gibt somit die sinnwirksame Fläche an und ist die Bezugsfläche für die Auslegung der gesamten Anlage.

Die Absorberfläche steht für die reine Fläche für den Absorber, die für die Berechnung allerdings nicht verwendet werden kann, da ein Teil dieser Fläche von dem Rahmen des Kollektors, wie in Abbildung 4.2.2 zu sehen ist, verdeckt wird.

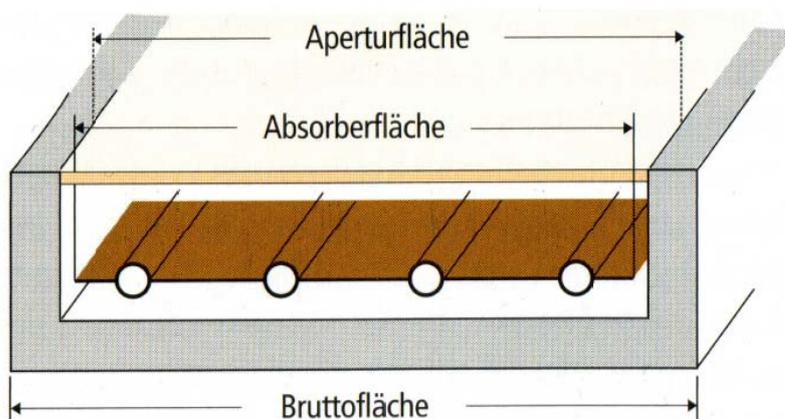


Abbildung 4.2.2: Flächenbezeichnung von Kollektoren

4.2.3 Solar Deckungsrate

Die solare Deckungsrate, sie wird auch als solarer Deckungsgrad bezeichnet, ist das Verhältnis aus dem solaren Nettoertrag zu der verbrauchten Nutzenergie. Es beschreibt, wie viel des Energieverbrauches von der Solaranlage gedeckt werden kann. Diese Größe ist entscheidend für die Auslegung der Anlage, da sie direkt die Größe und Anzahl der Kollektoren bestimmt. So kann mit einer Deckungsrate von 100% das gesamte Jahr über der Wärmebedarf des Objektes gedeckt werden, allerdings wird dann die benötigte Kollektorfläche sehr groß.

4.2.4 Systemnutzungsgrad

Der Nutzungsgrad der gesamten Solaranlage ergibt sich aus dem Verhältnis des solaren Nettoertrages, also der für den Betreiber tatsächlich nutzbaren Wärmeenergie, zu der gesamten solaren Einstrahlung auf den Kollektor. Er wird von vielen Einflussfaktoren wie den Windverhältnissen, der Länge der Rohrleitungen, der Dämmung und anderen bestimmt. Der Systemnutzungsgrad sollte zwischen 25% und 40% liegen.

4.2.5 Globalstrahlung

Die Globalstrahlung setzt sich zusammen aus der diffusen und der direkten Strahlung. Die direkte Strahlung ist der Anteil an der gesamten Strahlung, welcher die Erdoberfläche ohne Richtungsänderung erreicht. Sie kann zum Beispiel durch Spiegel oder auch Linsen gebündelt und für industrielle Prozesswärme oder solarthermische Kraftwerke genutzt werden. Durch die Streuung der direkten Strahlung an Wolken und an Partikeln, die sich in der Atmosphäre befinden, entsteht die diffuse Strahlung, die aus allen Himmelsrichtungen auf die Erdoberfläche trifft. Diese Strahlung kann jedoch nicht wie die direkte Strahlung gebündelt werden. Im Jahresmittel liegt der Anteil der diffusen Strahlung in Deutschland bei ca. 60%, daher sollten hier Techniken eingesetzt werden, welche den diffusen Anteil gut nutzen können.

4.2.6 Stagnation

Als Stagnation wird der Zustand der Anlage bezeichnet, wenn die produzierte Wärme nicht mehr durch den Wärmeträger abgeführt werden kann, z. B. bei einem Ausfall der Umwälzpumpe oder auch wenn keine Abnahme durch den Betreiber erfolgt. Dadurch heizt sich der Absorber so weit auf, bis die Wärmeverluste des Kollektors genauso groß sind wie die Wärmegewinne aus der solaren Einstrahlung, wodurch bei guten Kollektoren Stillstandstemperaturen von 250°C bis zu über 300°C auftreten können. Diesen hohen Temperaturen müssen die eingesetzten Materialien dauerhaft standhalten können.

4.3 Anlagenbestandteile

4.3.1 Kollektoren

Als Sonnenkollektoren oder auch einfach Kollektoren werden solche technischen Systeme bezeichnet, welche die Sonnenenergie „sammeln“, in Wärme umwandeln. Dieser Anlagenteil sollte je nach baulicher Gegebenheit immer so aufgestellt werden, dass möglichst viel Sonnenstrahlung aufgenommen werden kann.

Bei Kollektoren für die Solarthermie wird der Effekt der direkten Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärme ausgenutzt, indem in einem schwarzen Behälter ein flüssiges Medium strömt. Die einfachste Art dieser Behälter sind Schwimmbadkollektoren und bestehen in der Regel aus wasserdurchströmten, nebeneinander liegenden schwarzen Kunststoffröhren bzw. -matten. In der Haustechnik werden zwei Arten von Kollektoren eingesetzt, der Flachkollektor und der Vakuumröhrenkollektor.

4.3.1.1 Flachkollektor

Diese Kollektorart hat sich auf dem Markt für die Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung gegen andere Bauformen durchsetzen können. Sie setzen sich aus einem Metallabsorber, einem sehr gut Wärme gedämmten Gehäuse und

einer transparenten Abdeckung auf der Sonnen beschienen Seite zusammen. Die dabei verwendeten Materialien sollten Stagnationstemperaturen von bis zu 250°C standhalten können.

Aufbau

Das Absorbermaterial besteht aufgrund der guten Wärmeleitfähigkeit und den auftretenden hohen Stagnationstemperaturen aus Metallen wie Kupfer, Aluminium und selten auch aus Edelstahl. Um einen möglichst hohen Absorptionsgrad und damit verbunden eine große Leistungsfähigkeit des Kollektors zu erreichen, wird auf diese Metallplatten eine dünne Metalloxidschicht aufgebracht, die einen hohen Absorptions- und geringen Emissionsfaktor sowie eine hohe thermische Beständigkeit aufweisen. Es existieren heute zwei Arten von Beschichtungen, die galvanische oder auch „schwarze“ Schichte, die einen Emissionsfaktor von 10% bis 15% aufweisen, und die „blaue“ Schicht, deren Emissionsfaktor bei ca. 5% liegt. An die Absorberplatte selbst werden Rohre, in denen das Wärmeträgermedium fließt, geschweißt bzw. gelötet, wobei auf eine großflächige und ununterbrochene Verbindung zu achten ist. Die Rohre können jedoch auch direkt in die Platten hineingepresst bzw. gewalzt werden. Eine dritte Möglichkeit besteht in dem direkt durchströmten Absorber, bei dem zwei Metallplatten aufeinander gelegt und durch Punktschweißen zusammengefügt werden. Im Zwischenraum strömt dann das Wärmeträgermedium.

Das Gehäuse muss nach außen gut abgeschlossen und abgedichtet werden, damit das Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit und der Verlust von Wärme nach außen verhindert wird und die Leistung des Kollektors beeinträchtigt. Das Gehäuse besteht zumeist aus Aluminiumprofilen, die auf der Rückseite mit einem Blech abgeschlossen wird, aber auch andere Werkstoffe wie glasfaserverstärkter Kunststoff oder Holz finden Verwendung. Die Wärmedämmung des Gehäuses nach unten und zu den Seiten muss ausreichend dick bemessen werden temperaturbeständig sein. Des Weiteren darf die eingesetzte Dämmung bei hohen keine Stoffe ausgasen, denn diese können sich an der Innenseite der transparenten Abdeckung absetzen und beeinträchtigen ebenfalls die Leistungsfähigkeit des Kollektors. Die Abdichtung ist wie bereits beschrieben von entscheidender Bedeutung für die Leistung der Anlage. Das eingesetzte Material muss daher Temperatur- und UV- beständig sein, so dass während des Betriebes keine Fugen entstehen können.

Die Abdeckung muss mehrere Anforderungen erfüllen. Sie muss nicht nur möglichst lichtdurchlässig sein, sie soll gleichzeitig den Verlust von Wärme durch Strahlung und Konvektion auf ein Minimum reduzieren. Weitere Aspekte sind die Wärme-, Witterungs- und UV- Beständigkeit. Daher hat sich heute das eisenarme, thermisch behandelte Sicherheitsglas oder auch „Solarglas“ durchgesetzt, welches immer häufiger mit einer Antireflexbeschichtung versehen wird, um eine höhere Transmission der Strahlung zu erzielen.

Abbildung 4.3.1.1 zeigt den Schnitt durch eine mögliche Bauform eines Flachkollektors.

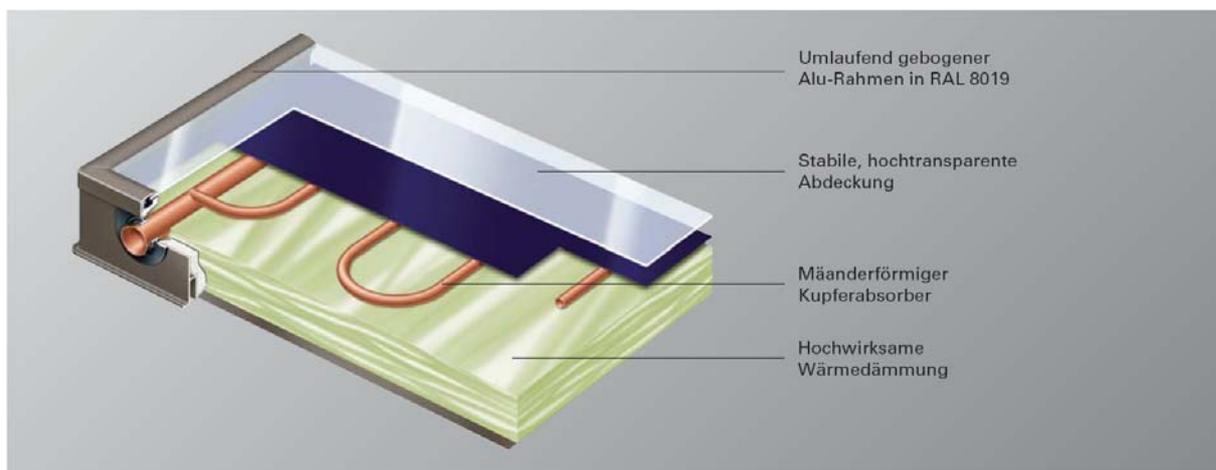


Abbildung 4.3.1.1: Aufbau eines Flachkollektors

4.3.1.2 Vakuumröhrenkollektor

Der Nachteil des Flachkollektors ist sein Wärmeverlust über Konvektion und Wärmeleitung an die Umgebung. Diese Verluste sind bei einem Vakuumröhrenkollektor wesentlich geringer, da die Luft innerhalb des Kollektors nahezu vollständig entfernt wird. Dies hat einen geringeren U- Wert und damit einen höheren Wirkungsgrad, besonders bei hohen Temperaturen, zur Folge. Aufgrund der großen Druckunterschiede zwischen Außenluft und dem Inneren des Kollektors besitzen die Kollektoren immer eine Röhrenform. Mehrere dieser Röhren werden auf ein Gestell montiert und über einen Sammelkasten miteinander verbunden.

Der eigentliche Absorber, also das einzelne Rohr, wird in zwei Ausführungen angeboten. Bei der ersten Variante, der direkt durchströmten Röhre, befindet sich innerhalb des evakuierten Absorbers ein Koaxialrohr, ein Rohr- in- Rohr- System.

Der Wärmeträger strömt durch das innere Rohr ein und durch das äußere wieder aus. Eine Darstellung dieses Aufbaus zeigt die Abbildung 4.3.1.2.1

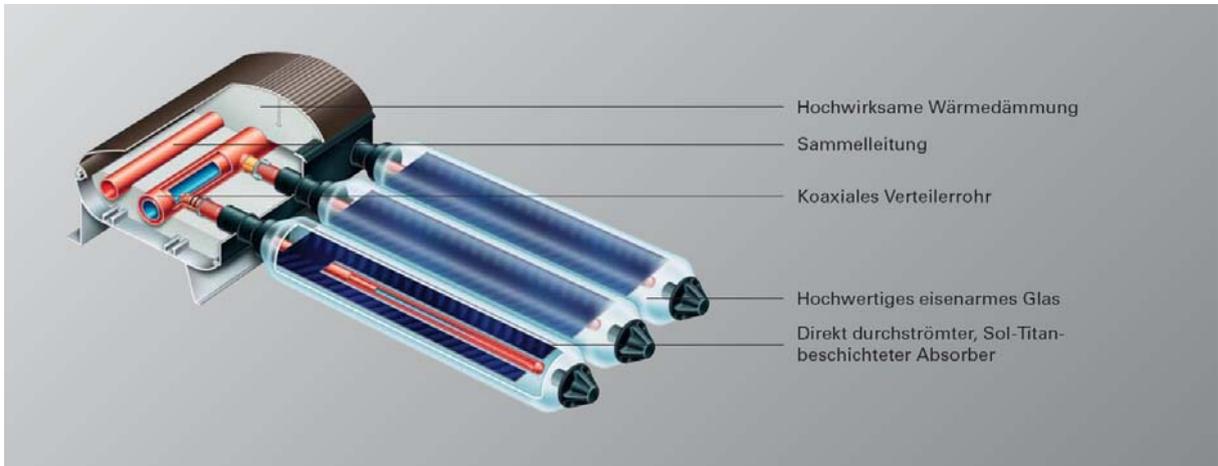


Abbildung 4.3.1.2.1: Direkt durchströmter Absorber

Die zweite Variante ist das in Abbildung 4.3.1.2.2 gezeigte, so genannte Wärmerohr. Innerhalb der Glasröhre befindet sich ein weiteres Rohr, das wiederum mit einer leicht verdampfenden Flüssigkeit gefüllt ist. Der bei Erwärmung entstehende Dampf steigt durch das Rohr nach oben und gelangt am oberen Ende des Absorbers an einen Wärmeübertrager, der entweder direkt von dem Wärmeträgermedium durchflossen wird, dies wird als „nasse“ Anbindung bezeichnet, oder in Kontakt mit einem vom Wärmeträger durchflossenen Sammelrohr steht, der so genannten „trockenen“ Anbindung. Der Dampf kondensiert anschließend wieder durch die Kühlung des Wärmeträgers und fließt an der Wand des Rohres nach unten zurück.

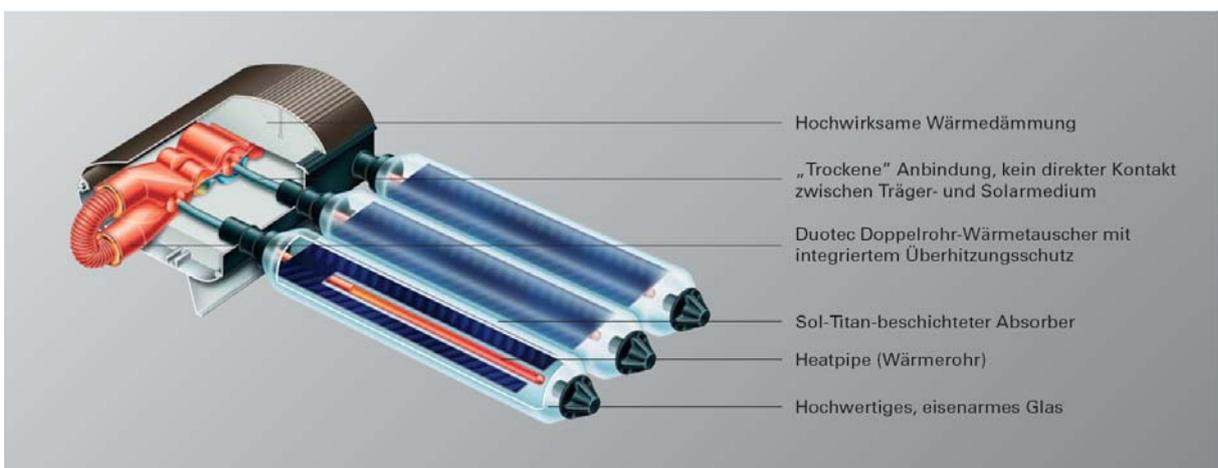


Abbildung 4.3.1.2.2: Wärmerohr

Für das Gehäuse werden die gleichen Materialien verwendet wie für den Flachkollektor, jedoch kein Holz. Es wird allerdings kein Kasten ausgebildet, sondern besteht nur aus der Halterung für die einzelnen Röhren und den Sammlerkasten, in dem das Wärmeträgermedium strömt.

Bei diesen Kollektoren wird statt dem Solarglas ein Borsilikatglas für die Abdeckung verwendet, welches den höheren Druck- und Temperaturbelastungen standhält. Auch dieses Glas wird immer häufiger mit der Antireflexbeschichtung versehen.

Bei den Vakuumröhrenkollektoren ist die Auswahl der verwendeten Materialien sehr wichtig, da neben den großen Druckunterschieden auch sehr hohe Stagnationstemperaturen von über 300°C bei den direkt durchströmten und 250°C bei den Wärmeröhren erreicht werden können.

4.3.1.3 Verschaltung der Kollektoren

Die Kollektoren einer Solaranlage können in Reihe, parallel oder als Kombination dieser beiden Varianten Reihen- parallel geschaltet werden. Die Verschaltung der Kollektoren in Reihe hat den Vorteil, dass alle Kollektoren gleichmäßig vom Wärmeträger durchströmt werden. Allerdings summieren sich die Einzelwiderstände, womit der Gesamtströmungswiderstand der Anlage ebenfalls steigt und die Pumpe ein Mehr an Leistung benötigt. Ein weiterer Nachteil ist der Anstieg der Wärmeträgertemperatur von Kollektor zu Kollektor. Die höheren Temperaturen haben ein sinken des Wirkungsgrades zur Folge.

Bei der Parallelschaltung werden alle Absorber an eine obere und untere Sammelleitung im Tichelmannprinzip angeschlossen, womit die Strömungswiderstände des Systems klein gehalten werden. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass bei einer größeren Anzahl parallel verschalteten Kollektoren die Durchströmung nicht mehr gleichmäßig erfolgt.

Die Reihen- Parallelschaltung vereinigt die Vorteile der beiden Prinzipien und wird hauptsächlich bei großen Anlagen eingesetzt. Dabei sollen eine gleichmäßige Durchströmung und ein vertretbarer Strömungswiderstand erreicht werden.

4.3.2 Solarkreislauf

Der Kreislauf ist dafür zuständig, dass die im Kollektor produzierte Wärme zum Speicher oder auch gleich direkt zum Verbraucher transportiert wird, indem das Wärmeträgermedium umgewälzt wird. Zu dieser Anlagenkomponente gehören neben dem Trägermedium auch Rohrleitungen, Ventile, Sicherheitseinrichtungen, eine Pumpe, die Steuerung, Wärmeübertrager und andere Komponenten.

4.3.2.1 Wärmeträger

Das Medium besteht in den mitteleuropäischen Regionen zumeist aus einem Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel auf Glykolbasis, um so auch bei niedrigen Außentemperaturen ein Funktionieren der Anlage gewährleisten zu können. Außerdem wird in der Regel ein Korrosionsschutzmittel hinzugegeben, da das Gemisch auf die Anlagenkomponenten aggressiv wirkt. Es ist bei der Auslegung einer Solaranlage jedoch darauf zu achten, dass der spezifische Durchfluss des Wärmeträgers im Kollektorkreislauf erhöht wird, da die spezifische Wärmekapazität eines Wasser- Glykolgemisches geringer ist als die reinen Wassers und somit auch nur eine kleinere Wärmemengen gewonnen werden kann. Der Wärmeträger hat die Aufgabe, die Wärme vom Kollektor zum Speicher zu transportieren, wo es diese an das Heizmedium abgeben kann.

4.3.2.2 Wärmeübertrager

Die Wärmeübertrager sorgen dabei für die Übertragung der Wärme vom Trägermedium auf das Trink- oder Heizungswasser. In kleineren Solaranlagen kommen hierfür interne, also innerhalb des Speichers installierte Wärmeübertrager in Form von Glattrohr- oder Rippenrohr- Überträgern zum Einsatz. Bei mittleren und großen Anlagen kommen extern verbaute Rohrbündel- oder Plattenwärmeübertrager zum Einsatz. Allerdings müssen dann zusätzlich eine weitere Pumpe, Rohre, Isolierung und Regelung vorgesehen werden.

4.3.2.3 Regelung

Moderne Regelsysteme übernehmen immer häufiger immer komplexere Aufgaben, um Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Solaranlage zu erhöhen. So übernimmt das System neben der Hauptaufgabe, der Steuerung der Solarkreispumpe, den Schutz der Anlage vor maximalen und auch minimalen Temperaturen. So wird zum Beispiel verhindert, dass im Speicher Temperaturen von über 100°C entstehen können, indem die Umwälzpumpe des Solarkreises ausgeschaltet wird oder in der Nacht, wenn kein Eintrag erfolgt, wieder eingeschaltet wird, um so die hohen Temperaturen über den Kollektor an die Umgebung wieder abzugeben. Alternativ kann auch bei Existenz eines zweiten Wärmeübertragers, z. B. bei der Variante der Heizungsunterstützung, die Wärme über das Heizsystem abgeführt werden.

Weitere Aufgaben der Regelung können unter anderem die Drehzahlregelung der Pumpe, so weit diese dafür ausgerüstet ist, der Schutz des Kollektors vor zu hohen Stagnationstemperaturen, eine Wärmemengenzählung, die Steuerung der Nachheizung, Fehlermeldungen bzw. Funktionskontrolle der einzelnen Komponenten und andere sein.

4.3.2.4 Pumpen

Bei der Auswahl der Pumpen sollte darauf geachtet werden, dass der Energieverbrauch sehr gering ausfällt, da dieser in die Gesamtenergiebilanz einer Solaranlage eingerechnet wird. Häufig werden Heizungspumpen eingesetzt, allerdings werden für die immer verbreiteten „Low- Flow- Konzepte“ und „Drain-Back“- Anlagen Pumpen benötigt, die bei einem relativ kleinen Massenstrom eine große Förderhöhe aufweisen. Die Hersteller geben eine Betriebssicherheit von maximal 110°C an, was den Einbau in den kühleren Kollektorrücklauf unumgänglich macht. Muss aufgrund sehr niedriger Außentemperaturen der Glykolanteil des Wärmeträgermediums auf über 50% erhöht werden, so sind hier Spezialpumpen einzusetzen.

4.3.2.5 weitere Armaturen

Für die Funktions- und Betriebssicherheit der Anlage sind weitere Bauteile notwendig.

Um Luft, die zu Geräusche im Kreislauf und auch zur Funktionsbeeinträchtigung der Anlage Führen kann, entweichen lassen zu können, sollte das System vor der ersten Inbetriebnahme mit einer leistungsstarken Pumpe unter hohem Druck und Volumenstrom gespült und befüllt werden, um so die im Kreislauf enthaltene Luft mitzureißen. Für die noch verbleibenden geringen Luftmengen ist dann ein Entlüfter an einer beliebigen Stelle ausreichend. Sollte diese Art und Weise der Entlüftung nicht möglich sein, wird an der obersten Stelle der Anlage, meist unmittelbar am Ausgang des Kollektors ein Entlüfter installiert. Wegen der hohen Temperaturen sollte dieses Bauteil vollständig aus Metall sein.

Ein Rückflussverhinderer wird eingesetzt, um bei mangelnder Einstrahlung oder in der Nacht zu verhindern, dass der Kreislauf aufgrund der Schwerkraft Wärme aus dem Speicher entzieht.

Das Membranausdehnungsgefäß dient dem Ausgleich von temperaturbedingten Volumenänderungen des Wärmeträgermediums und hält somit den Druck im Kollektorkreis relativ konstant. Da im System Glykol zum Einsatz kommt, muss die Membran glykolbeständig sein. Kommt das „Drain- Back- System“ zum Einsatz, kann das Gefäß gleichzeitig als Rücklaufbehälter eingesetzt werden.

Das Überdruckventil dient der Sicherheit der Leitungsanlage und schützt diese vor Beschädigungen durch zu hohe Drücke. Es ist so zu installieren, dass es die Verbindung zum Wärmeerzeuger, in diesem Fall zum Kollektor, nicht durch eine Absperrung unterbrochen werden kann.

4.3.3 Wärmepspeicher

Dieses Anlagenbauteil hat im Solaranlagen-system die Aufgabe, die natürlichen Schwankungen im solaren Energieangebot, zum Beispiel durch eine Wolkendecke, auszugleichen. Die Größe eines solchen Speichers hängt dabei hauptsächlich von der Art der Nutzung der erzeugten Wärme ab. So richtet sich die benötigte Kapazität bei Speichern für die Warmwasserbereitung nach dem täglichen Warmwasserbedarf,

wobei als Faustregel der 1,5 bis 2- fache Tagesbedarf bevorratet werden sollte, um so Zeiten mit geringer Einstrahlung für einen längeren Zeitraum überbrücken zu können. Um unnötige Wärmeverluste über die Oberfläche des Speichers so weit wie möglich zu reduzieren, ist eine lückenlose und wärmebrückenfreie Dämmung unumgänglich.

Innerhalb des Speichers sollte eine Temperaturschichtung des Wassers erfolgen, dass heißt, im obere Teil, dem Bereitschaftsteil, wird Wasser auf Nutztemperatur bereitgestellt, während sich im unteren Abschnitt des Behälters kaltes Wasser befindet. Findet jedoch eine starke Durchmischung des Wassers statt, muss unter Umständen mit Fremdenergie nachgeheizt werden, wenn die erzeugte Wärme z. B. für die Brauchwasserbereitung genutzt werden soll.

Um diese Schichtung zu realisieren werden in Mitteleuropa am häufigsten Speicher mit einer indirekten Be- und direkter Entladung eingesetzt. Bei diesem System werden der Solarkreis, dem für den Betrieb in den kalten Jahreszeiten Frostschutzmittel zugefügt werden kann, und der Verbraucherkreis voneinander getrennt, indem die erzeugte Wärme über einen Wärmeübertrager innerhalb, bei Großanlagen auch außerhalb des Speichers an den Verbraucherkreis abgegeben wird. Um das kalte Wasser zu erwärmen und u den Solarkreislauf so weit wie möglich abzukühlen, wird der Übertrager im unteren Abschnitt des Speichers installiert, wodurch es zu einer geringfügigen Durchmischung des Wassers kommt, die Entnahme hingegen erfolgt geschichtet, also von oben nach unten.

Aber auch andere Formen der Be- und Entladung kommen zum Einsatz. Den einfachsten Fall stellt die direkte Befüllung und auch Entnahme des Warmwasserspeichers dar, wobei Solar- und Verbraucherkreis nicht voneinander getrennt sind. Dies hat den Nachteil, dass die Anlage bei Frost entleert werden muss, denn der Einsatz von Frostschutzmittel ist hierbei nicht möglich. Daher findet dieses System vor allem im Mittelmeerraum Anwendung. Ein weiteres Prinzip stellt die direkte Be- und indirekte Entladung dar. Ein Vorteil besteht hierbei darin, dass der Speicher selbst nicht auf den hohen Druck des Kaltwassernetzes ausgelegt werden muss. Allerdings bildet sich bei der Entladung durch die Abkühlung des heißen Wassers eine nach unten gerichtete Konvektionsströmung aus, was zu einer Durchmischung des Wassers führt. Was wiederum eine eventuelle Nachheizung zur Folge hat. Eine vierte Bauweise sind Speicher mit indirekter Be- und Entladung. Sowohl Wärmeeintrag als auch die Wärmeentnahme erfolgen über einen

Wärmeübertrager. Das Speicherwasser kann somit für einen weiteren Kreislauf genutzt werden. Dieses Prinzip kommt hauptsächlich bei Solaranlagen mit Heizungsunterstützung zum Einsatz.

Eine Schichtung des Wassers wird weiterhin durch eine schlanke, aufrecht stehende Behälterform, einer Einströmung des kalten Wassers im unteren Bereich und der Entnahme des warmen Wassers im oberen Bereich begünstigt.

4.3.4 Nachheizung

Da in Mitteleuropa die Versorgung mit solar erwärmtem Trinkwasser bzw. die solare Heizungsunterstützung in den strahlungsärmeren Zeiten nur zum Teil realisiert werden kann, müssen diese Anlagen mit einer Zusatzheizung versehen werden, die dafür sorgen, dass an den Entnahmestellen immer eine Temperatur von 45°C bis 50°C zur Verfügung steht. Diese Nachheizung sollte aber bei nur Bedarf dazugeschaltet werden und so ausgelegt werden, dass möglichst viel Sonnenenergie genutzt werden kann. Die Art der Nachheizung kann dabei auf verschiedene Arten erfolgen. So kann ein zusätzlicher Wärmeübertrager im Solarspeicher installiert werden der direkt mit dem Vor- und Rücklauf eines zweiten Wärmeerzeugers verbunden ist und eine Ladepumpe schaltet bei Unterschreitung eines zuvor eingestellten Sollwertes zu.

Ist diese Lösung nicht möglich, z. B. da kein weiterer Wärmeübertrager eingebaut werden kann oder ein Heizkessel mit einem bereits integrierten Warmwasserspeicher vorhanden ist, kann die Warmwasserentnahmeleitung an den Kaltwasserzulauf des Heizkessels angeschlossen werden und so die Nachheizung realisiert werden.

Eine weitere mögliche Variante ist die Nachheizung mit einem Elektro- Heizregister, der im oberen Drittel des Solarspeichers eingebaut werden muss. Da elektrischer Strom jedoch relativ teuer und im Vergleich zu der Erzeugung von Wärme aus Gas, Holz, Öl oder ähnlichem primärenergetisch wesentlich ungünstiger ist, sollte diese Möglichkeit nicht in Betracht gezogen werden.

Des Weiteren ist eine Nachheizung über nachgeschaltete, direkt am Verbrauchsort installierte Durchlauferhitzer ausführbar. Energetisch ist diese Variante die beste, da nur so viel Energie verbraucht wird wie zum Erreichen der Solltemperatur des Warmwassers gebraucht wird und es fallen keine Wärmeverluste über den Speicher oder die Rohrleitungen an.

4.4 Anlagenkonzepte

Eine thermische Solaranlage kann nach mehreren Gesichtspunkten eingeteilt werden. Wichtigstes Kriterium ist die geplante Nutzung des erzeugten Warmwassers. Danach werden Solaranlagen eingeteilt in Anlagen für die Schwimmbadnutzung, die Trinkwassererwärmung oder die Trinkwassererwärmung mit Heizungsunterstützung. Bei der Auslegung der Kollektoren hingegen wird zwischen den bereits erwähnten Systemen High- Flow, Low- Flow, Matched- Flow und Drain- Back unterschieden. Eine weitere Unterteilung erfolgt in autonome Systeme, welche ohne Nachheizung auskommen, und Anlagen mit Nachheizung. Weiterhin sind Unterscheidungen nach dem Solarkreislauf als offenes oder geschlossenes System und der Art der Wärmeübertragung ohne Wärmeübertrager, mit einem Wärmeübertrager oder mit zwei Wärmeübertragern möglich.

4.4.1 Solaranlagen zur Schwimmbadbeheizung

Bei Solaranlagen für die Schwimmbadbeheizung handelt es sich wegen des offenen Schwimmbeckens um drucklose Anlagen bzw. um Anlagen, die zum Schutz der Kunststoffkollektoren nur mit geringen Drücken betrieben werden, wenn Solarkreis und Schwimmbadkreis durch einen Wärmeübertrager voneinander getrennt sein sollten. Da bei solchen Systemen die Siedetemperatur des Wärmeträgermediums nicht überschritten wird, müssen einige Bauteile nicht eingesetzt werden. Dazu gehören unter anderem der Wärmeübertrager, das Überdruckventil und das Ausdehnungsgefäß. Dafür werden jedoch andere schwimmbadspezifische Bauteile wie z. B. Filter, Filterkreispumpe, Schwallwasserbecken und anderes benötigt.

Die Dimensionierung erfolgt wie bei allen Anlagen über den Wärmebedarf, der in diesem Fall ausschlaggebend von der Wassertemperatur und der Umgebungstemperatur abhängt, denn je größer die Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft ist, desto größer ist der Wärmebedarf. Um Wärmeverluste durch Verdunstung, Konvektion und Wärmeabstrahlung zu minimieren, sollten offene Schwimmbäder nach Möglichkeit abgedeckt werden wenn sie nicht in Gebrauch sind. Die Absorberfläche sollte bei Freibädern das 0,5- bis 0,8- fache der Wasserfläche betragen, es ist aber darauf zu achten, dass bei höheren

Temperaturen auch größere Absorberflächen benötigt werden. Werden vom Betreiber Wassertemperaturen von dauerhaft mehr als 25°C gewünscht, ist zu überprüfen, ob die einfachen Schwimmbadabsorber noch für diese Zwecke ausreichend sind.

Der genaue Ablauf der Dimensionierung einer solchen Anlage und die dazugehörigen Werte sollen in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet werden, da für das betrachtete Einfamilienhaus keine Schwimmbadnutzung vorgesehen ist.

4.4.2 Solaranlagen für die Trinkwassererwärmung

Grundsätzlich werden Anlagen für die solare Warmwasserbereitung in Systeme ohne Zwangsumlauf und Systeme mit Zwangsumlauf unterschieden. Anlagen ohne Zwangsumlauf, die nur auf dem Schwerkraftprinzip beruhen und keine Umwälzpumpe und die dazugehörige Steuerung benötigen, werden häufig in mediterranen Gegenden eingesetzt und finden in den mitteleuropäischen Regionen kaum Anwendung. Diese Systeme sollen aus diesem Grund unbetrachtet bleiben.

Systeme mit Zwangsumlauf sind die mit Abstand am häufigsten eingesetzten Solaranlagen. Hierbei gibt es eine große Anzahl an Anlagenvarianten, die am weitesten verbreiteten sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Das in Abbildung 4.4.2.1 dargestellte 2-Kreissystem mit internem Wärmeübertrager für den Solarkreis gilt als das meistverwendete System für Kleinanlagen mit einer Absorberfläche von weniger als 10m². Aufgrund der relativ hohen Verbreitung existieren inzwischen große Erfahrungswerte und eine Vielzahl von vorgefertigten Standardbauteilen, so dass diese Systeme verhältnismäßig preiswert verkauft werden können.

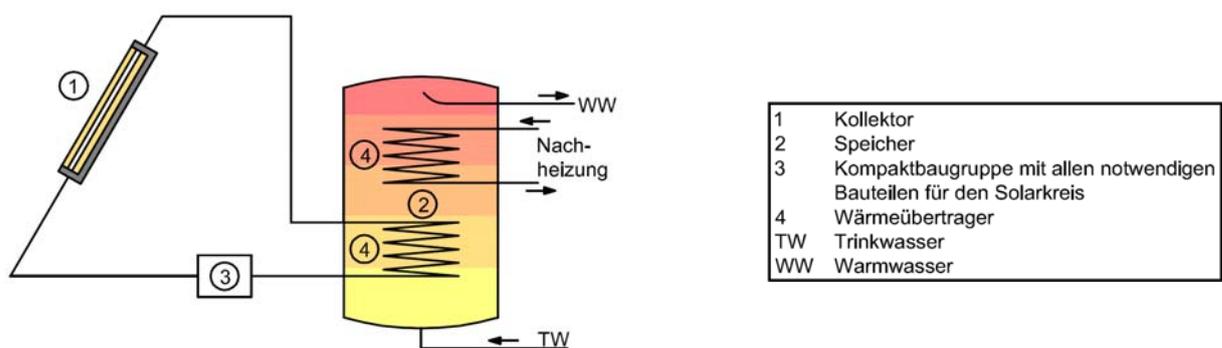


Abbildung 4.4.2.1: 2-Kreissystem mit internem Solarkreiswärmeübertrager

Das zweite Konzept, welches in Abbildung 4.4.2.2 dargestellt ist, wird häufig für Anlagen mit einer Absorberfläche von mehr als 10m² bzw. für die Nachrüstung bei bereits bestehende Systeme, bei denen ein zweiter Speicher mit einer Nachheizung bereits vorhanden ist, eingesetzt. Letztere Variante ist die Standardlösung bei der Einbindung von Solaranlagen in existierende konventionelle Heizungsanlagen.

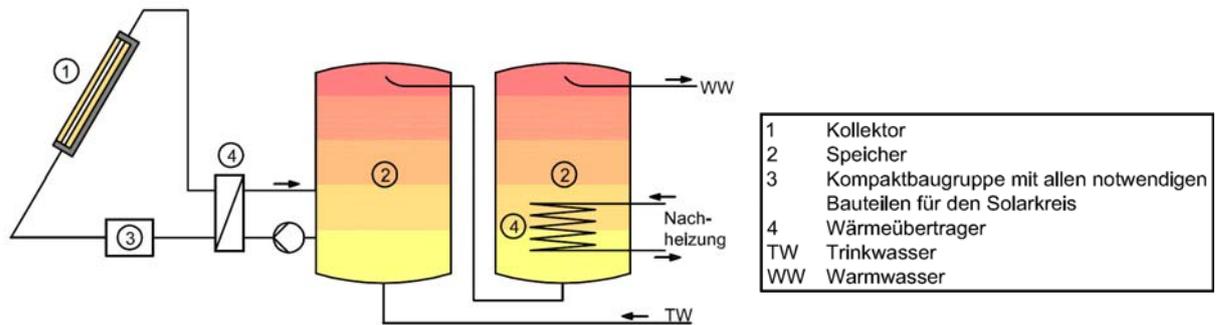


Abbildung 4.4.2.2: 2- Kreissystem, externer Wärmeübertrager u. 2-Speicher-Anlage

Ein weiteres Konzept ist das in Abbildung 4.4.2.3 dargestellte 3- Kreissystem mit internem Solarkreiswärmeübertrager, das Anwendung findet, wenn das Speicherwasser für einen zweiten Kreislauf, z. B. für einen Heizkreis zur Verfügung stehen soll oder das Speichervolumen 400 l überschreitet und Maßnahmen zum Schutz vor Legionellen notwendig sind. Bei diesem System werden der Verbraucherkreis und der Speicher über einen externen Wärmeübertrager voneinander getrennt, wodurch ein druckloser und damit kostengünstiger Pufferspeicher eingesetzt werden kann.

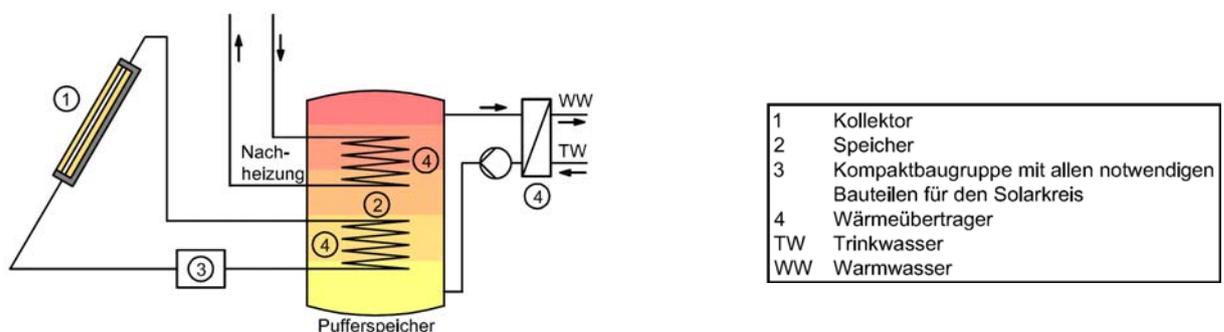


Abbildung 4.4.2.3: 3- Kreissystem mit internem Solarkreiswärmeübertragern

Das 3- Kreissystem mit externen Wärmeübertragern, dargestellt in Abbildung 4.4.2.4, wird vorwiegend bei sehr großen Anlagen mit einer Kollektorfläche von mehr als 50m² installiert. Dabei sind alle Kreise, der Solarkreis, der Verbraucherkreis und die Speicher voneinander getrennt. Dadurch können auch hier einfache drucklose Pufferspeicher zum Einsatz kommen. Jedoch ist ein wesentlich größerer Aufwand durch die hohe Anzahl an zusätzlichen Bauteilen notwendig, des Weiteren steigen auch die Wärmeverluste durch das Mehr der eingesetzten Speicher.

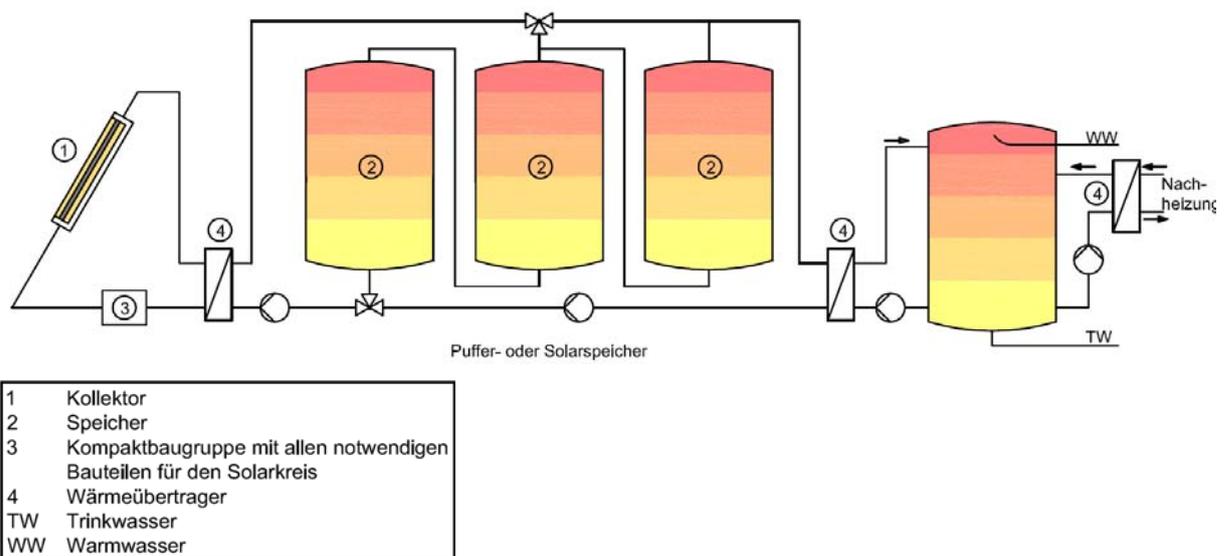


Abbildung 4.4.2.4: 3- Kreissystem mit externem Solarkreiswärmeübertrager

4.4.3 Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizung

Der Einsatz dieser Anlagenart wird häufig bei Gebäuden mit geringem Heizenergiebedarf eingesetzt, die Vorlauftemperaturen von maximal 60°C haben sollten und bei denen Niedrigtemperatur- Heizsysteme wie Fußbodenheizung eingesetzt werden. Bei diesem Typ sind noch weit mehr Varianten der Verschaltung und Einbindung möglich wie bei der zuvor behandelten Solaranlage für die reine Trinkwassererwärmung. Die wichtigsten Systeme sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Bei dem in Abbildung 4.4.3.1 gezeigten 2- Speichersystem werden über ein 3- Wege- Ventil entweder der Trinkwasserspeicher oder der Pufferspeicher der Heizungsanlage mit Wärme versorgt. Durch eine Steuerung wird entschieden, ob der

Trinkwasserspeicher, der Heizungspufferspeicher oder immer der kälteste der beiden Speicher vorrangig mit Wärme beladen wird, aber auch eine Kombination dieser drei Varianten ist bei unterschiedlichen äußeren Gegebenheiten durchaus sinnvoll. Des Weiteren kann der Trinkwasserspeicher auch über den Heizungspufferspeicher beladen werden, dann versorgt die Solaranlage bzw. der zweite Wärmeerzeuger nur den Pufferspeicher. Die Vorteile dieser Schaltung sind die komplette hydraulische Entkopplung von Trinkwasser- und Heizungssystem sowie die gute Möglichkeit der Nachrüstung einer Solaranlage bei Weiterverwendung des bereits bestehenden Heizungsspeichers.

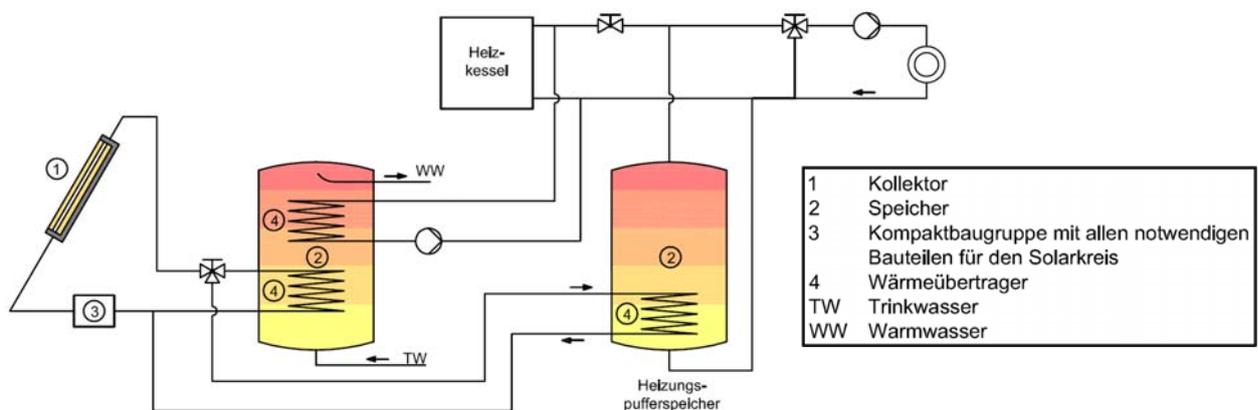
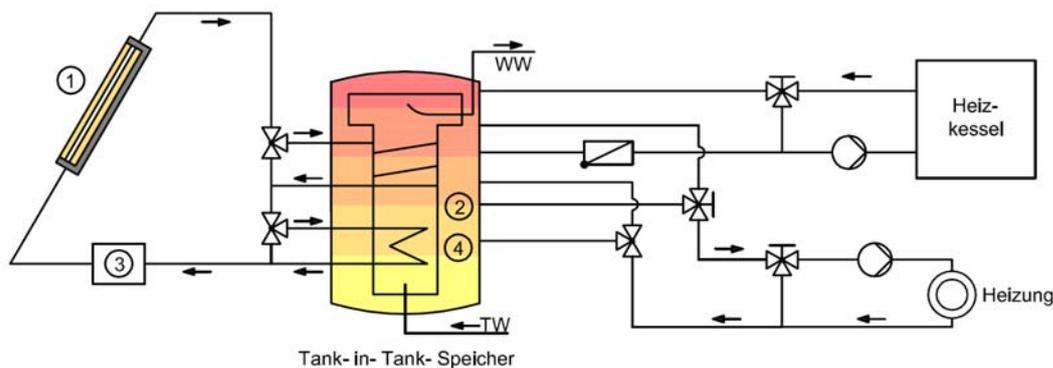


Abbildung 4.4.3.1: Solaranlage mit 2- Speichersystem zur Heizungsunterstützung

Bei kleineren Anlagen, wie sie im Ein- und Zweifamilienhaus zum Einsatz kommen, werden aufgrund des geringeren Platzbedarfes, der kleineren Wärmeverluste und der günstigeren Kosten fast ausschließlich die in Abbildung 4.4.3.2 gezeigten 1-Speichersysteme angewendet. Aufgrund der je nach Anforderung verschiedenen notwendigen Temperaturniveaus ist eine Schichtung der Temperaturen innerhalb des Speichers unumgänglich. Dabei werden im oberen Teil des Speichers, dem Bereitschaftsteil, die Temperaturen auf Brauchwassertemperaturniveau von mindestens 45°C bis 60°C gehalten. Der mittlere Abschnitt wird auf einem Niveau gehalten, das für die Versorgung des Heizungssystems mit Temperaturen von 30°C bis 60°C notwendig ist. Die unterste Speicherzone hat die Temperatur des nachströmenden Kaltwassers. Auf dieses Niveau sollte der Rücklauf des Solarkreises zurückgekühlt werden, um eine hohe Effizienz der Solaranlage zu gewährleisten. Diese Schichtung muss auch bei der Be- und Entladung des Speichers erhalten bleiben.

1- Speichersysteme werden in verschiedenen Ausführungen angeboten. Bei einem Tank-in-Tank-Speicher nach Abbildung 4.4.3.2.1 befindet sich der Trinkwasserspeicher innerhalb des Pufferspeichers der Heizungsanlage, es handelt sich im Prinzip um eine 2-Speicheranlage. Über zwei Wärmeübertrager oder ein Schichtenbeladesystem erfolgt die geschichtete Beladung des Speichers, der Heizkreis wird durch den Pufferspeicher mit Wärme versorgt.



1	Kollektor
2	Speicher
3	Kompaktbaugruppe mit allen notwendigen Bauteilen für den Solarkreis
4	Wärmeübertrager
TW	Trinkwasser
WW	Warmwasser

Abbildung 4.4.3.2.1: Tank-in-Tank-System

Das in Abbildung 4.4.3.2.2 gezeigte 1-Speichersystem mit internem Verbraucherkreiswärmeübertrager erfolgt die solare Beladung des Pufferspeichers entweder über einen externen Wärmeübertrager und einem 3-Wege-Ventil für die Realisierung der verschiedenen Temperaturschichten oder über einen internen Wärmeübertrager und einem Schichtenbelader. Der Heizkreis wird ebenfalls durch den Pufferspeicher versorgt, die Trinkwassererwärmung erfolgt über den internen Wärmeübertrager, wodurch kein großes Speichervolumen nötig ist und die Gefahr von Legionellenbildung vermieden wird.

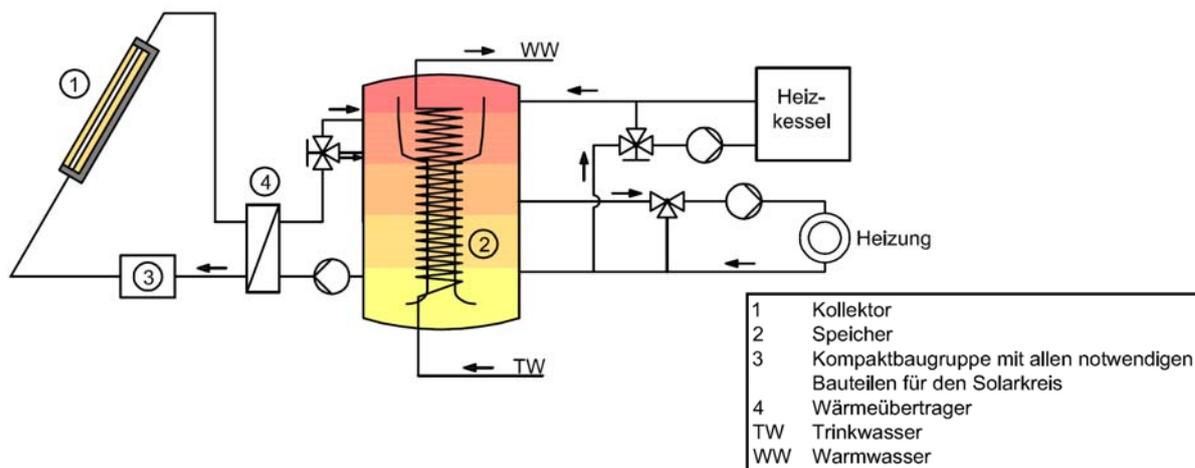
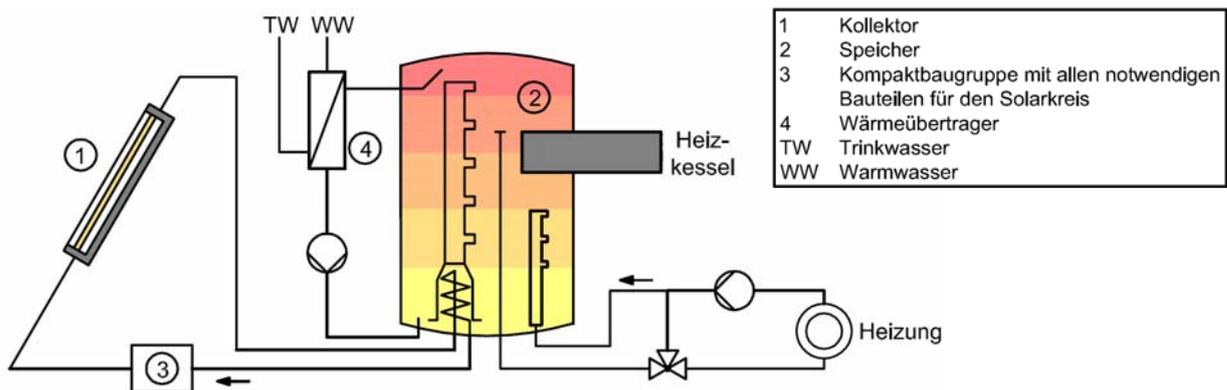


Abbildung 4.4.3.2.2: 1- Speichersystem mit internem Verbraucherkreis- und externem Solarkreiswärmeübertrager

Die dritte Ausführung nach Abbildung 4.4.3.2.3 besitzt einen externen Wärmeübertrager für die Erwärmung des Trinkwassers. Die Solarseitige Beladung über einen internen Wärmeübertrager mit Schichtenladesystem. Die Wärme für den Heizkreis wird in diesem Fall aus der oberen Zone entnommen, die benötigte Vorlauftemperatur wird über ein 3- Wege- Ventil durch die Mischung mit Heizungsrücklaufwasser realisiert. Diese Variante hat den Vorteil, dass durch die Schichtenladesysteme von Heiz- und Solarkreis keine Ventile benötigt werden um die Temperaturschichtung zu verwirklichen, auch eine Durchmischung wird durch die externe Erwärmung des Trinkwassers vermieden.



Abbildungen 4.4.3.2.3: 1-Speichersystem mit Schichtenladespeicher, integriertem Heizkessel und externem Verbraucherkreiswärmeübertrager

4.5 Anlagenplanung am Beispiel eines Einfamilienhauses

Bevor mit der eigentlichen Auslegung einer Solaranlage zur Erzeugung von Wärme begonnen werden kann, muss mit dem Bauherren ein auf die späteren Erfordernisse abgestimmtes Anlagenkonzept erarbeitet werden. Dazu gehören die Art der später gewünschten Nutzung des erzeugten Warmwassers und es muss hinterfragt werden, wie groß der Anteil des Warmwasserbedarfes sein soll, der über die Solaranlage gedeckt werden soll. Die wichtigste Größe für das Konzept ist der Wärmebedarf, der, wenn keine Messdaten von Wärmemengenzählern vorliegen, so gut wie möglich über Erfahrungswerte geschätzt werden muss. Weiterhin müssen die baulichen Gegebenheiten vor Ort bekannt sein. Die Ausrichtung der Kollektoren und deren Standort müssen mit dem Auftraggeber abgesprochen werden, wobei darauf zu achten ist, dass Verschattungen vermieden werden müssen, um einen höchstmöglichen Wirkungsgrad der Anlage erreichen zu können.

4.5.1 Datenerhebung

Das vorliegende Einfamilienhaus soll nach Absprache mit den Bauherren mit einer Solaranlage für die Trinkwarmwassererzeugung ausgestattet werden. Die Kollektoren werden auf dem Dach des Gebäudes mit einem Dachwinkel von 30° und einer Ausrichtung nach West installiert. Der Warmwasserbedarf der Familie wurde in Übereinstimmung mit der VDI 2067 Blatt 12 und nach Absprache mit dem Hauseigentümer auf 50 l/d * Person bei einer Zapfstellentemperatur von 45°C festgelegt.

$$\begin{aligned} Q &= m * c * \Delta\theta \\ Q &= 200 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} * \text{K}} * 35\text{K} \\ Q &= 8,14 \text{ kWh/d} \end{aligned}$$

Es ergibt sich somit ein Wärmebedarf von 8,14 kWh/d bzw. von 2970 kWh/a .

4.5.1.1 Kollektorfläche

Für die Ermittlung der notwendigen Kollektorfläche wird die solare Einstrahlung G_S pro Jahr benötigt, die sich zu ca. $1060 \text{ kWh/m}^2 \cdot a$ ergibt.

$$\begin{aligned}
 G_S &= G \cdot f_{na} \\
 G_S &= 1130 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot a} \cdot 0.94 \\
 \underline{\underline{G_S}} &\approx \underline{\underline{1060 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot a}}}
 \end{aligned}$$

Dieser errechnet sich aus der Einstrahlung auf eine ebene Fläche und einem Korrekturfaktor für die Neigung der Kollektoren. Aus dem Quotienten des solaren Nutzenergiebedarfes Q_{sol} , welcher aus dem jährlichen Wärmebedarf, der Deckungsrate D_S und dem Systemnutzungsgrad η_{sys} gebildet wird, und der Einstrahlung G_S ergibt sich somit die benötigte Kollektorfläche A_K .

$$\begin{aligned}
 A_K &= \frac{Q_{sol}}{G_S} & Q_{sol} &= \frac{Q \cdot D_S}{\eta_{sys}} \\
 A_K &= \frac{4244 \text{ kWh/a}}{1060 \text{ kWh/m}^2 \cdot a} & Q_{sol} &= \frac{\left(8,14 \frac{\text{kWh}}{\text{d}} \cdot 365\text{d}\right) \cdot 0,5}{0,35} \\
 \underline{\underline{A_K}} &= \underline{\underline{4\text{m}^2}} & \underline{\underline{Q_{sol}}} &= \underline{\underline{4244 \text{ kWh/a}}}
 \end{aligned}$$

4.5.1.2 Speicherauslegung

Wie bereits in Kapitel 3.3.3 gezeigt wurde, sollte der Speicher groß genug gewählt werden, um einen 1,5- bis 2- fachen Tagesvorrat aufnehmen zu können. Dies entspricht einem Tagesverbrauch von 70 bis 100 l pro Person. Bei der Auslegung des benötigten Speichervolumens sollte der obere Grenzwert gewählt werden, wenn eine hohe solare Deckungsrate gefordert wird, der untere Grenzwert bei geringen

solaren Deckungsraten. Das benötigte Speichervolumen wird dann nach der unten gezeigten Formel berechnet:

$$\begin{aligned} V_{Sp} &\geq (70 \dots 100) \text{l/m}^2 * A_K \\ V_{Sp} &= 90 \text{l/m}^2 * 4 \text{m}^2 \\ \underline{\underline{V_{Sp} &= 360 \text{l}}} \end{aligned}$$

4.5.1.3 Bemessung der Sicherheitseinrichtung

Für die Auslegung des Membranausdehnungsgefäßes ist zunächst die Ermittlung des gesamten Flüssigkeitsvolumens der Anlage V_A erforderlich, welches sich aus dem Flüssigkeitsvolumen des Kollektors V_K , der Rohrleitungen V_{RL} , des Wärmeübertragers $V_{WÜ}$ und der Armaturen V_{Arm} , welches pauschal mit 1l angenommen werden kann, ergibt.

$$\begin{aligned} V_A &= V_K + V_{RL} + V_{WÜ} + V_{Arm} \\ V_A &= 4,96 \text{l} + \left[\frac{\pi}{4} * (0,02 \text{m})^2 \right] + 10,5 \text{l} + 1 \text{l} \\ \underline{\underline{V_A &= 16,4 \text{l}}} \end{aligned}$$

Für die Berechnung des Gefäßvolumens V_G wird neben dem Anlagenvolumen auch das Ausdehnungsvolumen V_D der Flüssigkeit benötigt. Die Anlage soll eigensicher sein, das heißt, dass bei der Kollektoranlage unter normalen Betriebsbedingungen, also auch bei Stillstand der Anlage, keine Störungen auftreten dürfen, bei der das Sicherheitsventil anspricht. Um diese Forderung zu erfüllen, muss neben der Ausdehnung der Wärmeträgerflüssigkeit auch das Flüssigkeitsvolumen des Kollektors aufgenommen werden.

$$\begin{aligned} V_D &= V_K + 0,1 * V_A \\ V_D &= 4,96 \text{l} + 0,1 * 16,4 \text{l} \\ \underline{\underline{V_D &= 6,6 \text{l}}} \end{aligned}$$

Das minimale Gefäßvolumen ergibt sich somit zu:

$$V_{G,\min} = \frac{V_D * (p_{B,\max} + 1)}{(p_{B,\max} - p_{\text{vor}})}$$

$$V_{G,\min} = \frac{6,6l * (6,45\text{bar} + 1)}{(6,45\text{bar} - 1,35\text{bar})}$$

$$\underline{\underline{V_{G,\min} = 8,8l}}$$

Der Vordruck p_{vor} bezeichnet dabei den Druck, der bei der Befüllung der Anlage mindestens eingestellt werden sollte. Er soll verhindern, dass bei tiefen Außentemperaturen keine Luft in das System eindringen kann und sollte bei kalter Anlage am höchsten Punkt des Systems mindestens 0,5bar betragen.

$$p_{\text{vor}} = 0,5\text{bar} + p_{\text{stat,G}}$$

$$p_{\text{vor}} = 0,5\text{bar} + 0,85\text{bar}$$

$$\underline{\underline{p_{\text{vor}} = 1,35\text{bar}}}$$

Der maximal zulässige Betriebsdruck $p_{B,\max}$ errechnet sich aus der Höhe des Sicherheitsventils und dem maximal zulässigen Druck des schwächsten Gliedes der Anlage. Er sollte ebenfalls 0,3bar unterhalb des Ansprechdruckes des Sicherheitsventils liegen.

$$p_{B,\max} = p_{\text{stat}} + p_{\text{max,Sys}} - 0,3\text{bar}$$

$$p_{B,\max} = 0,75\text{bar} + 6\text{bar} - 0,3\text{bar}$$

$$\underline{\underline{p_{B,\max} = 6,45\text{bar}}}$$

4.5.2 gewählte Systemkomponenten

Für das Gebäude werden zwei Flachkollektoren mit einer Aperturfläche von jeweils $A_{K,Ap} = 2,32\text{m}^2$ und einer Bruttofläche von je $2,58\text{m}^2$ gewählt. Zum Einsatz kommt die High- Flow- Betriebsweise, die beiden Kollektoren werden parallel verschaltet.

Das Ausdehnungsgefäß benötigt ein Nennvolumen von 18 l. Ein kleineres kann dazu führen, dass das Sicherheitsventil bei hohen Temperaturen im System ansprechen kann oder eventuell auch die Membran des Ausdehnungsgefäßes überdehnt werden kann.

Für das Projekt wird ein Speicher mit einem Inhalt von $V_{\text{Sp,gew}} = 410\text{l}$ gewählt. Dies entspricht bei vier Personen einer Warmwasserbevorratung von zwei Tagen.

Die Datenblätter der einzelnen Komponenten befinden sich im Anhang zu dieser Arbeit.

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

5.1 Aufgabenstellung

Am vorgegebenen Objekt soll überprüft werden, ob der Einsatz einer Wärmepumpe sinnvoll ist. Die Berechnung erfolgt dabei nach VDI 2067 in Form eines Variantenvergleiches zu einem Gasbrennwertgerät. Aufgrund des Betrachtungszeitraumes von 20 Jahren muss wegen der zu erwartenden Preissteigerung die dynamische Methode angewandt werden. Berechnet werden die Annuität der kapitalgebundenen Kosten unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Nutzungsdauer der einzelnen Komponenten und deren Restwert am Ende des Betrachtungszeitraumes. Weiterhin werden sowohl die bedarfsgebundenen wie auch die betriebsgebundenen Kosten der Anlagen ermittelt.

In einer zweiten Berechnung wird die Amortisationszeit einer Solarthermieanlage für die Trinkwassererwärmung in Verbindung mit der Wärmepumpe ermittelt.

Die einzelnen Berechnungen und die dazugehörigen Werte befinden sich im Anhang A dieser Arbeit.

5.2 Wirtschaftlichkeitsvergleich von Gasbrennwertgerät und Wärmepumpe

5.2.1 Allgemeines

Da der Betrachtungszeitraum T der Berechnung 20 Jahre beträgt, muss das Gasbrennwert-Gerät aufgrund seiner kürzeren rechnerischen Nutzungsdauer T_N laut VDI 2067 nach 18 Jahren ausgetauscht werden.

Alle Preise wurden aktuellen Herstellerunterlagen entnommen, die Investitionskosten für die Wärmepumpenanlage reduzieren sich aufgrund der Inanspruchnahme von Fördergeldern um 1.600,-€. Die Preise für die Energieversorgung wurden von den Versorgungsunternehmen erfragt.

Der gewählte Zinssatz beträgt 6% pro Jahr. Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Preissteigerungsraten einen Mittelwert der letzten Jahre darstellen, da eine zuverlässige Aussage über zukünftige Preisänderungen nicht getroffen werden kann. Für die Versorgung mit Erdgas wurde eine Preissteigerung von 9% pro Jahr in den letzten 8 Jahren ermittelt, die Versorgung mit

elektrischem Strom erfuhr eine Preissteigerung von 6,5%, ebenfalls in den letzten 8 Jahren. Die Preissteigerung für alle sonstigen Berechnungen, wie zum Beispiel für Dienstleistungen, beträgt 3% pro Jahr.

5.2.2 Berechnung des Energiebedarfes des Gebäudes

Um die beiden Wärmeerzeuger miteinander vergleichen zu können ist im ersten Schritt die Berechnung des Energiebedarfes des Gebäudes notwendig, der für beide Anlagenvarianten gleich ist. Dafür wird zunächst der Jahresheizwärmebedarf Q_h über die Berechnung der spezifischen Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sowie der inneren und solaren Wärmegewinne ermittelt. Der Jahresheizwärmebedarf ergibt sich dabei zu $Q_h = 12.124,26 \text{ kWh/a}$. Mit diesem, auf 1m^2 Nutzfläche umgerechneten Wert, und den spezifischen Werten für die Wärmeverluste bei der Übergabe und der Speicherung sowie dem spezifischen Wert für die Trinkwarmwasserbereitung lässt sich nun unter Einbeziehung der Aufwandszahl e_g der Endenergiebedarf Q_E des Gebäudes berechnen. Dieser ergibt sich bei einem Gasbrennwertgerät zu $Q_E = 20.259,43 \text{ kWh/a}$ und bei einer Wärmepumpe aufgrund der niedrigeren Aufwandszahlen bei der Erzeugung zu $Q_E = 7.008,7 \text{ kWh/a}$.

Neben dem Endenergiebedarf Q_E wird für das Betreiben einer Anlage auch Hilfsenergie $Q_{H,HE}$ benötigt. Diese setzt sich aus der spezifischen Hilfsenergie für die Verteilung $q_{d,HE}$ und der spezifischen Hilfsenergie für die Erzeugung $q_{g,HE}$ sowie der Nutzfläche A_N zusammen. Der Bedarf an Hilfsenergie errechnet sich im vorliegenden Fall zu $Q_{H,HE} = 435,0,6 \text{ kWh/a}$.

5.2.3 Berechnung der verbrauchsgebundenen Kosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten setzen sich zusammen aus den Brennstoff- bzw. Antriebskosten, den Kosten für die Hilfsenergie und den zu entrichtenden Grundpreisen.

Die Brennstoff- und Antriebskosten errechnen sich dabei aus dem jeweiligen Endenergiebedarf Q_E der beiden betrachteten Geräte, den entsprechenden spezifischen Energiekosten k und dem sogenannten preisdynamischen Annuitätsfaktor b_a , der einen Faktor einer jährlichen Preissteigerung angibt.

Die Bestimmung der Kosten für die Hilfsenergie erfolgt auf dem gleichen Weg. Die jährlich zu erwartenden Grundpreiskosten werden hingegen nur mittels Multiplikation des vom Versorgungsunternehmen erhobenen Grundpreises mit dem preisdynamischen Annuitätsfaktor a berechnet.

Die für das Einfamilienhaus berechneten verbrauchsgebundenen Kosten ergeben sich wie folgt:

$$A_{\text{Verbr.,Gas}} = A_{\text{Brst}} + A_{\text{HE}} + A_{\text{Grundpreis}}$$

Gasbrennwert- Gerät: $A_{\text{Verbr.,Gas}} = 2.680,18 \frac{\text{€}}{a} + 134,61 \frac{\text{€}}{a} + 220,23 \frac{\text{€}}{a}$

$$\underline{\underline{A_{\text{Verbr.,Gas}} = 3.035,20 \frac{\text{€}}{a}}}$$

$$A_{\text{Verbr.,WP}} = A_{\text{el}} + A_{\text{HE}} + A_{\text{Grundpreis}}$$

Wärmepumpe: $A_{\text{Verbr.,WP}} = 1.378,55 \frac{\text{€}}{a} + 134,61 \frac{\text{€}}{a} + 76,15$

$$\underline{\underline{A_{\text{Verbr.,WP}} = 1.589,31 \frac{\text{€}}{a}}}$$

5.2.4 Berechnung der kapitalgebundenen Kosten

Die kapitalgebundenen Kosten beinhalten in dieser Betrachtung nur die Investitionen für die betriebstechnischen Anlagenteile wie dem Gasbrennwertgerät, der Wärmepumpe, der dazugehörigen Regelung und den entsprechenden Bauteilen, die für den Betrieb der Anlage nötig sind. Die Wärmeverteilungsanlage wurde in die Berechnung nicht mit aufgenommen, da diese Installationen bei beiden Anlagenvarianten gleichermaßen verbaut werden müssen und somit zu keiner Kostensenkung oder –erhöhung führen können.

Die jährlichen kapitalgebundenen Kosten $A_{N,K}$ für die Wärmepumpe ergeben sich aus den Investitionskosten A_0 für die Anlage, dem Annuitätsfaktor a sowie dem Instandsetzungsfaktor f_k und ergeben sich somit zu:

$$A_{N,K} = A_0 * \left(a + \frac{f_k}{100} \right)$$

$$A_{N,K} = 13.952\text{€} * \left(0,08718 + \frac{3}{100} \right)$$

$$\underline{\underline{A_{N,K} = 1.634,89 \frac{\text{€}}{a}}}$$

Für das Brennwertgerät muss hingegen ein anderer Berechnungsgang erfolgen, da durch die Anschaffung eines neuen Gerätes nach 18 Jahren die Ersatzinvestition A_K und der Restwert B_{RW} von diesem nach dem Betrachtungszeitraum T in die Berechnung aufgenommen werden müssen. Die jährlichen kapitalgebundenen Kosten $A_{N,K}$ für das Gasbrennwert- Gerät betragen:

$$A_{N,K} = (A_0 + \Sigma A_K - B_{RW}) * a + A_0 * \frac{f_K}{100} * ba_{IN}$$

$$A_{N,K} = (7.542,35€ + 4.498,54€ - 3.678,94€) * 0,08718 + 7.542,35€ * \frac{1,5}{100} * 2,8593$$

$$\underline{\underline{A_{N,K} = 989,08 \text{ €/a}}}$$

Der Berechnungsgang für die Ermittlung der Ersatzinvestition A_K und den Restwert B_{RW} der Ersatzinvestition sind im Anhang A dieser Arbeit beschrieben.

5.2.5 Berechnung der betriebsgebundenen Kosten

Die betriebsgebundenen Kosten setzen sich zusammen aus den Kosten für Wartung $A_{B,W}$, den Kosten für die Bedienung $A_{B,Bd}$ der Anlage und den Kosten für den Betrieb $A_{B,Bt}$. Da auch diese Kostenpunkte einem veränderbaren Preisniveau unterliegen, muss in diesen Aufstellungen ein preisdynamischer Annuitätsfaktor ba einbezogen werden.

Die Kosten $A_{B,W}$ für die Wartung der Anlage ergeben sich somit aus den Investitionskosten A_0 , einem gerätespezifischen Instandsetzungsfaktor f_K und dem preisdynamischen Annuitätsfaktor ba . Die jährlichen Wartungskosten errechnen sich zu:

$$A_{B,W} = \frac{f_K}{100} * A_0 * ba$$

Gasbrennwert- Gerät: $A_{B,W} = \frac{1}{100} * 7542,35€ * 1,26954$

$$\underline{\underline{A_{B,W} = 95,75 \text{ €/a}}}$$

$$A_{B,W} = \frac{f_K}{100} * A_0 * ba$$

Wärmepumpe: $A_{B,W} = \frac{1}{100} * 13.952€ * 1,26954$

$$\underline{\underline{A_{B,W} = 177,13 \text{ €/a}}}$$

Für die Berechnung der jährlichen Bedienungskosten $A_{B,Bd}$ wurden für beide Anlagentypen Lohnkosten $k_{L,B}$ von 30 €/h und eine Arbeitszeit t_B von 2,5 h/a festgelegt. Bei der Ermittlung der Bedienungszeit t_B wurden jedoch nicht die Werte aus der VDI 2067 entnommen, sondern auf Erfahrungswerte zurückgegriffen. Damit ergeben sich folgende Werte für beide Geräte:

$$A_{B,Bd} = k_{L,B} * t_B * ba$$

Gasbrennwert- Gerät: $A_{B,Bd} = 30 \frac{\text{€}}{\text{a}} * 2,5 \text{h} * 1,26954$

$$\underline{A_{B,Bd} = 95,22 \frac{\text{€}}{\text{a}}}$$

$$A_{B,Bd} = k_{L,B} * t_B * ba$$

Wärmepumpe: $A_{B,Bd} = 30 \frac{\text{€}}{\text{a}} * 2,5 \text{h} * 1,26954$

$$\underline{A_{B,Bd} = 95,22 \frac{\text{€}}{\text{a}}}$$

Die jährlichen Kosten $A_{B,Bt}$ für das Betreiben der Anlagen ergeben sich analog wie die jährlichen Kosten für die Wartung $A_{B,W}$, jedoch mit einem globalen Aufwandsfaktor f_B anstelle des Instandsetzungsfaktors f_K . Der Faktor f_B kann ebenfalls der VDI 2067 entnommen werden. Es ergeben sich folgende Kosten:

$$A_{B,Bt} = \frac{f_B}{100} * A_0 * ba$$

Gasbrennwert- Gerät: $A_{B,Bt} = \frac{1,5}{100} * 7542,35\text{€} * 1,26954$

$$\underline{A_{B,Bt} = 143,63 \frac{\text{€}}{\text{a}}}$$

$$A_{B,Bt} = \frac{f_B}{100} * A_0 * ba$$

Wärmepumpe: $A_{B,Bt} = \frac{3}{100} * 13.952\text{€} * 1,26954$

$$\underline{A_{B,Bt} = 531,38 \frac{\text{€}}{\text{a}}}$$

5.2.6 jährliche Gesamtkosten

für die Berechnung der Gesamtkosten werden verbrauchsgebundenen, kapitalgebundene und betriebsgebundenen Kosten zusammengefasst. Das Ergebnis ist in Tabelle 4.2.6.1 dargestellt:

Tabelle 4.2.6.1: jährliche Gesamtkosten Brennwertgerät und Wärmepumpe

	Gasbrennwertkessel	Wärmepumpe
verbrauchsgeb. Kosten [€/a]	3.035,02	1.589,31
kapitalgeb. Kosten [€/a]	989,09	1.634,89
betriebsgeb. Kosten [€/a]	334,60	803,73
Gesamtkosten [€/a]	<u>4.358,71</u>	<u>4.027,93</u>

5.3 Amortisationszeit einer Solarthermieanlage

Für das vorliegende Einfamilienhaus wird vom Bauherren eine Solaranlage für die Unterstützung der Warmwassererzeugung gewünscht. Mit dieser Berechnung, die ausführlich in Anhang B dieser Arbeit zu finden ist, soll überprüft werden, ob die berechnete Anlage aus finanziellen Gesichtspunkten wirtschaftlich sinnvoll ist.

Die Ermittlung der Energieeinsparung erfolgte mit Hilfe des Berechnungsprogramms GetSolar und ergab einen Wert von $Q_{\text{Einsparung}} = 506 \text{ kWh/a}$. Damit errechnet sich ein neuer Endenergiebedarf des Gebäudes $Q_{\text{E,korr}}$ von $6.502,7 \text{ kWh/a}$. Dies hat eine Änderung der jährlichen verbrauchsgebundenen Kosten zur Folge, sie reduzieren sich auf $A_{\text{Verbr,korr}} = 1.489,78 \text{ €/a}$, was einer Einsparung von $99,53 \text{ €/a}$ entspricht. Damit ergibt sich eine Amortisationszeit t_{Am} der Solaranlage von 42 Jahren.

5.4 Auswertung der Ergebnisse

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich von Gasbrennwert- Gerät und Wärmepumpe zeigt, dass eine Wärmepumpe bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren die kostengünstigere Alternative darstellt und aus diesem Grund zu bevorzugen ist. Aber

nicht nur der Kostenfaktor ist bei der Auswahl entscheidend, auch durch die Einsparung von Treibhausgasen ist die Wärmepumpe gegenüber einem Gasbrennwertgerät zu favorisieren. Damit werden nicht nur die Finanzen des späteren Betreibers der Anlage geschont, auch die Belastung der Umwelt kann somit reduziert werden.

Das Ergebnis der Berechnung der Amortisationszeit der Solaranlage hingegen zeigt, dass dem Bauherren von einem Einsatz dieser Anlage abzuraten ist, da die Zeit, bis sich diese Anlage finanziell rentiert hat, mit 42 Jahren viel zu lang ist. Weiterhin kommt hinzu, dass nach VDI 2067 die rechnerische Nutzungsdauer T_N einer solaren Trinkwasser-erwärmungsanlage mit 20 Jahren angegeben wird. Somit wird die Amortisationszeit t_{Am} noch weiter steigen, da während dieser Zeit Ersatzinvestitionen vorgenommen werden müssen. Finanziell zu empfehlen wäre eine Solaranlage erst bei einer höheren Abnahme von mindestens 400 l/d und einem dementsprechend größeren Speicher.

V. Anhangverzeichnis

Anhang A1	Berechnung Heizlast und Fußbodenheizung.....	65 ff.
Anhang A2	Berechnung Wirtschaftlichkeit.....	91 ff.
Anhang A3	Berechnung Amortisationszeit Solaranlage.....	101 ff.
Anhang A4	Solarthermiesimulation.....	103 ff.
Anhang A5	Grundrisspläne, Schemen, Ansichten.....	siehe Ordner

V. Anhang A1

Berechnung der Heizlast nach DIN EN 12831

Berechnung der Fußbodenheizung nach DIN EN 1264

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Gebäudedaten

Formblatt G1

Kenngrößen	
Gebäudetyp Einfamilienhaus	Gebäudelage <input type="checkbox"/> gute Abschirmung <input checked="" type="checkbox"/> moderate Abschirmung <input type="checkbox"/> keine Abschirmung
Gebäudemassen <input type="checkbox"/> leicht <input checked="" type="checkbox"/> mittelschwer <input type="checkbox"/> schwer	Luftdichtheit der Gebäudehülle <input type="checkbox"/> sehr dicht <input checked="" type="checkbox"/> dicht <input type="checkbox"/> wenig dicht
$C_{\text{wirk}} =$ Wh/m ³ K <small>(optionale Angabe aus DIN V 4108-6)</small>	

Temperaturen	
Norm-Außentemperatur $\theta_e =$ -16 °C Jahresmittel der Außentemperatur $\theta_{m,e} =$ 6.8 °C	Innentemperaturen gemäß <input type="checkbox"/> Norm <input checked="" type="checkbox"/> Vereinbarung s. Formblatt V

Geometrie	
Breite $b_{\text{Geb}} =$ 8.49 m Länge $l_{\text{Geb}} =$ 10.49 m Grundfläche $A_{\text{Geb}} =$ 89.06 m ²	Anzahl Geschosse $n =$ 3 - Gebäudehöhe $h_{\text{Geb}} =$ 9.81 m Gebäudevolumen $V_{e,\text{Geb}} =$ 829.00 m ³

Erdreich	
Tiefe der Bodenplatte* $z =$ 3.00 m Erdreich berührt.Umfang* $P =$ 37.96 m Parameter* $B' =$ 4.69 m	Grundwassertiefe $T =$ 10.00 m Faktor period. Schwankung $f_{g1} =$ 1.45 - Faktor Einfluss Grundwasser $G_W =$ 1.00 -
*) Werte können raumweise abweichen	

Lüftung	
Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz	$n_{50} =$ 6.00 h ⁻¹
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil Infiltration	$\zeta_{\text{inf}} =$ 0.50 -
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil minimaler Luftwechsel	$\zeta_{\text{min}} =$ 1.00 -
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil maschinelle Lüftung	$\zeta_{\text{su}} =$ 1.00 -
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil mechanische Infiltration	$\zeta_{\text{mech,inf}} =$ 1.00 -
Wirkungsgrad des verwendeten Wärmerückgewinnungssystems (Herstellerangabe)	$\eta_v =$ 0.00 -

Zusatz- Aufheizleistung (durch unterbrochenen Heizbetrieb)	
Berechnung <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> raumweise <input checked="" type="checkbox"/> global	Absenkhase Absenkdauer $t_{\text{Abs}} =$ 7.00 h Luftwechsel $n_{\text{Abs}} =$ 0.10 h ⁻¹ Temperaturabfall <input checked="" type="checkbox"/> berechnet <input type="checkbox"/> angenommen $\Delta\theta_{\text{RH}} =$ 0.00 K
beheiztes Volumen $V_{N,\text{Geb}} =$ 0.00 m ³ Wärmeverlustkoeffizient $\Sigma H_{T,\text{Geb}} =$ 0.00 W/K	Aufheizphase Wiederaufheizzeit $t_{\text{RH}} =$ 2.00 h Luftwechsel $n_{\text{RH}} =$ 0.10 h ⁻¹ Wiederaufheizfaktor $f_{\text{RH}} =$ 0.00 W/m²

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Gebäudezusammenstellung

Formblatt G3

Wärmeverlust-Koeffizienten			
Transmissionswärmeverlust-Koeffizient	$\Sigma H_{T,e}$	=	206.87 W/K
Lüftungswärmeverlust-Koeffizient	ΣH_V	=	87.24 W/K
Gesamtwärmeverlust-Koeffizient	H_{Geb}	=	294.11 W/K

Wärmeverluste			
Transmissionswärmeverluste (nur nach außen)	$\Phi_{T, Geb}$	=	7075 W
Mindest-Luftwechsel	$\Phi_{V, min, Geb} = \zeta_{min} * \Sigma \Phi_{V, min}$	=	3047 W
natürliche Infiltration ohne RLT	$\Phi_{V, inf, Geb} = \zeta_{inf} * \Sigma \Phi_{V, inf}$	=	846 W
mech. belüftete Räume			
- natürliche Infiltration mit RLT	$\Phi_{V, inf, Geb} = \zeta_{inf} * \Sigma \Phi_{V, inf}$	=	0 W
- mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\Phi_{V, su, Geb} = \zeta_{su} * (1 - \eta_V) * \Sigma \Phi_{V, su}$	=	0 W
- Abluftvolumenüberschuss	$\Phi_{V, mech, inf, Geb} = \zeta_{mech, inf} * \Sigma \Phi_{V, mech, inf, Geb}$	=	0 W
Lüftungswärmeverluste	$\Phi_{V, Geb}$	=	3047 W

Lüftung			
Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz	n_{50}	=	6.00 h ⁻¹
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil Infiltration	ζ_{inf}	=	0.50 -
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil minimaler Luftwechsel	ζ_{min}	=	1.00 -
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil maschinelle Lüftung	ζ_{su}	=	1.00 -
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil mechanische Infiltration	$\zeta_{mech, inf}$	=	1.00 -
Wirkungsgrad des verwendeten Wärmerückgewinnungssystems (Herstellerangabe)	η_V	=	0.00 -

Gebäudeheizlast			
Netto-Heizlast	$\Phi_{N, Geb}$	=	10122 W
Zusatz-Heizlast (für selten oder unterbrochen beheizte Räume)	$\Phi_{RH, Geb}$	=	0 W
Norm-Gebäudeheizlast	$\Phi_{HL, Geb}$	=	10122 W

Spezifische Werte			
Beheizte Gebäudenutzfläche	$A_{N, Geb} = 205.80 \text{ m}^2$	$\Phi_{HL, Geb} =$	49.18 W/m ²
Beheiztes Netto-Gebäudevolumen	$V_{N, Geb} = 487.46 \text{ m}^3$	$\Phi_{HL, Geb} =$	20.76 W/m ³
wärmeübertragende Umfassungsfläche	$A = 602.08 \text{ m}^2$		
Spezifischer Transmissionswärmeverlust		$H'_T =$	0.34 W/m² K

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raumliste

Formblatt G2

	Transmissionswärmeverlust nach außen	Transmissionswärmeverlust gesamt	Lüftungswärmeverlust durch Min.-Luftwechsel	Lüftungswärmeverlust durch nat. Infiltration	Lüftungswärmeverlust durch masch. Lüftung	L.verlust durch mech. Abluftüberschuss	Netto-Heizlast	Zusatz-Aufheizleistung	Norm-Heizlast
Raum-Nr. /-Name	$\Phi_{T,e}$	Φ_T	$\Phi_{V,min}$	$\Phi_{V,inf}$	$\Phi_{V,su}$	$\Phi_{V,m,inf}$	$\Phi_{HL,netto}$	Φ_{RH}	Φ_{HL}
00/01 Keller 15 °C 13.54 m ² 30.61 m ³	100	100	161	77			262		262
00/02 Keller 15 °C 37.01 m ² 78.09 m ³	933	933	412	296			1345		1345
00/03 Technik 15 °C 13.57 m ² 28.63 m ³	399	399	151	109			550		550
00/04 Treppenhaus 15 °C 8.09 m ² 17.07 m ³	96	96					96		96
00 KG	72 m²	154 m³	1528	724	482				
01/01 Wohnen 20 °C 38.72 m ² 94.09 m ³	1944	2211	576	415			2787		2787
01/02 Flur 15 °C 8.98 m ² 21.82 m ³	370	370	115	83			485		485
01/03 Hauswirtschaftsraum 15 °C 7.79 m ² 18.93 m ³	280	280	100	72			379		379
01/04 Speisezimmer 20 °C 1.98 m ² 4.81 m ³	57	257	29	14			287		287
01/05 WC 20 °C 1.85 m ² 4.50 m ³	23	225					225		225
01/06 Küche 20 °C 9.29 m ² 22.57 m ³	282	459	138	66			597		597
01 EG	69 m²	167 m³	2955	958	650				
02/01 Schlafzimmer 20 °C 12.45 m ² 31.87 m ³	508	786	195	94			981		981
02/02 Flur 15 °C 3.43 m ² 8.78 m ³	154	154					154		154
02/03 Badezimmer 24 °C 12.45 m ² 31.87 m ³	565	1063	650	104			1714		1714
02/04 Kinderzimmer 20 °C 30.23 m ² 77.39 m ³	1039	1489	474	341			1963		1963
02/05 Ankleide 2 15 °C 2.99 m ² 7.65 m ³	144	144					144		144
02/06 Ankleide 1 15 °C 3.43 m ² 8.78 m ³	182	182	46	22			228		228
02 DG	65 m²	166 m³	2592	1365	561				

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raumliste

Formblatt G2

	Transmissionswärmeverlust nach außen	Transmissionswärmeverlust gesamt	Lüftungswärmeverlust durch Min.-Luftwechsel	Lüftungswärmeverlust durch nat. Infiltration	Lüftungswärmeverlust durch masch. Lüftung	L.verlust durch mech. Abluftüberschuss	Netto-Heizlast	Zusatz-Aufheizleistung	Norm-Heizlast
Raum-Nr. /-Name	$\Phi_{T,e}$	Φ_T	$\Phi_{V,min}$	$\Phi_{V,inf}$	$\Phi_{V,su}$	$\Phi_{V,m,inf}$	$\Phi_{HL,netto}$	Φ_{RH}	Φ_{HL}
EFH Deuschle4	206 m²	487 m³	7075	3047	1693				

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 00	Geschoss-Nr.: 00	Wohneinheit: 00
Raum-Nr.: 00/01	Raum-Kurzbez.: 01	Raum-Bez.: Keller

Innentemperatur	$\theta_{int} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 3.59 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 3.78 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.02 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 13.54 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = -1.27 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.46 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.35 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.11 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 30.61 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = 2.50 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = 37.96 \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = 4.69 \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K		W/K	W	
S	IW	1	4.19	2.46	10.3	1.9	8.4	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	1	0.89	2.17	1.9	****	1.9	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
W	IW	1	4.00	2.46	9.8	****	9.8	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
N	AW	1	4.19	2.46	10.3	****	10.3	g	6.8	0.26	0.21	0.05	0.17	0.68	21
O	AW	1	4.00	2.46	9.8	0.5	9.4	g	6.8	0.26	0.21	0.05	0.17	0.61	19
--	AF	1	0.80	0.60	0.5	****	0.5	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	0.70	22
H	DE	1	4.00	4.25	17.0	****	17.0	b	15.0	0.00	0.33		0.33	0.00	0
H	FB	1	4.00	4.25	17.0	****	17.0	g	6.8	0.26	0.33	0.05	0.20	1.25	39

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	3.24	100
--	-------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 15.31 \text{ m}^3/\text{h}$	5.20
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 7.35 \text{ m}^3/\text{h}$	2.50
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 15.31 \text{ m}^3/\text{h}$	

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	5.20	161
--	-------------	------------

Netto-Heizlast	19 W/m²	9 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	262
-----------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	19 W/m²	9 W/m³	$\Phi_{HL} =$	262
----------------------	---------------------------	--------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 00	Geschoss-Nr.: 00	Wohneinheit: 00
Raum-Nr.: 00/02	Raum-Kurzbez.: 02	Raum-Bez.: Keller

Innentemperatur	$\theta_{int} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 9.79 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 3.78 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.03 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 37.01 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = -1.27 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.46 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.35 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.11 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 78.09 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = 0.00 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = 37.96 \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = 4.69 \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K		W/K	W	
N	AW	1	4.19	2.46	10.3	0.5	9.8	g	6.8	0.26	0.21	0.05	0.17	0.65	20
--	AF	1	0.80	0.60	0.5	****	0.5	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	0.70	22
O	IW	1	10.49	2.46	25.8	1.9	23.9	t	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	1	0.89	2.17	1.9	****	1.9	t	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
S	AW	1	4.19	2.46	10.3	0.5	9.8	g	6.8	0.26	0.21	0.05	0.17	0.65	20
--	AF	1	0.80	0.60	0.5	****	0.5	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	0.70	22
W	AW	1	10.49	2.46	25.8	****	25.8	g	6.8	0.26	0.21	0.05	0.17	1.69	53
H	FB	1	4.19	10.49	44.0	****	44.0	u	-8.8	0.77	0.31	0.05	0.36	12.18	378
H	DE	1	4.19	10.49	44.0	****	44.0	u	-8.8	0.77	0.35	0.05	0.40	13.54	420

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T 30.10 933

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 39.05 \text{ m}^3/\text{h}$	13.28
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 28.11 \text{ m}^3/\text{h}$	9.56
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 39.05 \text{ m}^3/\text{h}$	

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v 13.28 412

Netto-Heizlast 36 W/m^2 17 W/m^3 $\Phi_{HL,Netto} = 1345$

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume) $\Phi_{RH} = 0$

Norm-Heizlast 36 W/m^2 17 W/m^3 $\Phi_{HL} = 1345$

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 00	Geschoss-Nr.: 00	Wohneinheit: 00
Raum-Nr.: 00/03	Raum-Kurzbez.: 03	Raum-Bez.: Technik

Innentemperatur	$\theta_{int} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 3.78 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 3.59 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.03 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 13.57 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = -1.27 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.46 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.35 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.11 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 28.63 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = 0.00 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = 37.96 \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = 4.69 \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K			W/K	W
N	IW	1	4.19	2.46	10.3	2.2	8.1	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	1	1.01	2.17	2.2	****	2.2	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
O	AW	1	4.00	2.46	9.8	0.9	9.0	g	6.8	0.26	0.21	0.05	0.17	0.59	18
--	AF	1	0.80	0.60	0.5	****	0.5	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	0.70	22
--	AF	1	0.65	0.60	0.4	****	0.4	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	0.57	18
S	AW	1	4.19	2.46	10.3	0.4	9.9	g	6.8	0.26	0.21	0.05	0.17	0.65	20
--	AF	1	0.65	0.60	0.4	****	0.4	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	0.57	18
W	IW	1	4.00	2.46	9.8	****	9.8	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
H	FB	1	4.00	4.19	16.8	****	16.8	u	-8.8	0.77	0.31	0.05	0.36	4.65	144
H	DE	1	4.00	4.19	16.8	****	16.8	u	-8.8	0.77	0.35	0.05	0.40	5.16	160

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	12.88	399
--	--------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 14.32 \text{ m}^3/\text{h}$	4.87
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 10.31 \text{ m}^3/\text{h}$	3.50
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 14.32 \text{ m}^3/\text{h}$	

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	4.87	151
--	-------------	------------

Netto-Heizlast	41 W/m²	19 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	550
-----------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	41 W/m²	19 W/m³	$\Phi_{HL} =$	550
----------------------	---------------------------	---------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 00	Geschoss-Nr.: 00	Wohneinheit: 00
Raum-Nr.: 00/04	Raum-Kurzbez.: 04	Raum-Bez.: Treppenhaus

Innentemperatur	$\theta_{int} = 15 \text{ °C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.0 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 2.14 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 3.78 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.00 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 8.09 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = -1.27 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.46 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.35 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.11 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ °C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 17.07 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = 0.00 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ °C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = 37.96 \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = 4.69 \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K		W/K	W	
N	IW	1	4.19	2.46	10.3	1.9	8.4	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	1	0.89	2.17	1.9	****	1.9	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
O	AW	1	2.26	2.46	5.6	****	5.6	g	6.8	0.26	0.21	0.05	0.17	0.37	11
S	IW	1	4.19	2.46	10.3	2.2	8.1	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	1	1.01	2.17	2.2	****	2.2	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
W	IW	1	2.26	2.46	5.6	1.9	3.6	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	1	0.89	2.17	1.9	****	1.9	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
H	FB	1	4.19	2.26	9.5	****	9.5	u	-9.8	0.80	0.31	0.05	0.36	2.73	85

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	3.09	96
--	-------------	-----------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	0.00	0
--	-------------	----------

Netto-Heizlast	12 W/m²	6 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	96
-----------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------	-----------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	12 W/m²	6 W/m³	$\Phi_{HL} =$	96
----------------------	---------------------------	--------------------------	---------------	-----------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.:	01	Geschoss-Nr.:	01	Wohneinheit:	01
Raum-Nr.:	01/01	Raum-Kurzbez.:	01	Raum-Bez.:	Wohnen

Innentemperatur	$\theta_{int} = 20 \text{ °C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 9.76 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 3.90 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.03 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 38.72 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = 1.34 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.75 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.32 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.43 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ °C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 94.09 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{V,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ °C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{V,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Flächen			Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
					A Brutto	A Abzug	A Netto								
		n	b	h/l	m ²			e/u	$\theta_{e,u,b,g}$	e_k/b_u	U	ΔU_{WB}	U_c/U_{equiv}	H_T	Φ_T
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K			W/K	W
N	AW	1	4.31	2.75	11.9	1.3	10.6	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	3.59	129
--	AF	1	1.01	1.28	1.3	****	1.3	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	1.87	67
O	IW	1	8.03	2.75	22.1	2.2	19.9	b	15.0	0.14	1.71		1.71	4.77	172
--	IT	1	1.01	2.15	2.2	****	2.2	b	15.0	0.14	1.76		1.76	0.54	19
S	AW	1	4.31	2.75	11.9	4.6	7.2	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	2.46	89
--	AF	2	1.01	2.28	2.3	****	4.6	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	6.68	240
W	AW	1	3.88	2.75	10.7	2.3	8.4	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	2.84	102
--	AF	1	1.01	2.28	2.3	****	2.3	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	3.34	120
S	AW	1	1.25	2.75	3.4	****	3.4	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.17	42
W	AW	1	3.50	2.75	9.6	5.7	3.9	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.33	48
--	AF	1	2.51	2.28	5.7	****	5.7	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	8.30	299
N	AW	1	1.25	2.75	3.4	****	3.4	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.17	42
W	AW	1	3.88	2.75	10.7	2.6	8.1	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	2.75	99
--	AF	1	2.01	1.28	2.6	****	2.6	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	3.73	134
H	FB	1	10.50	4.39	46.1	****	46.1	b	15.0	0.14	0.33		0.33	2.13	77
H	DE	1	10.50	4.39	46.1	****	46.1	u	-8.8	0.80	0.35	0.05	0.40	14.75	531
Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T														61.42	2211

Bestimmung Luftvolumenstrom				H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	\dot{V}_{min}	=	47.05 m ³ /h	16.00	576
natürliche Infiltration	\dot{V}_{inf}	=	33.87 m ³ /h	11.52	415
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v, su}$	=	0.00 m ³ /h	0.00	0
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech, inf}$	=	0.00 m ³ /h	0.00	0
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	\dot{V}_{therm}	=	47.05 m ³ /h		
Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v				16.00	576
Netto-Heizlast	72 W/m ²	30 W/m ³	$\Phi_{HL, Netto} =$	2787	
Zusatz-Aufheizleistung	(für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
Norm-Heizlast	72 W/m ²	30 W/m ³	$\Phi_{HL} =$	2787	

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 01	Geschoss-Nr.: 01	Wohneinheit: 01
Raum-Nr.: 01/02	Raum-Kurzbez.: 02	Raum-Bez.: Flur

Innentemperatur	$\theta_{int} = 15 \text{ °C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 5.95 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 1.51 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.03 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 8.98 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = 1.34 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.75 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.32 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.43 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ °C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 21.82 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech, inf} = 0.00 \text{ °C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v, mech, inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K		W/K	W	
N	AW	1	1.60	2.75	4.4	2.6	1.8	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	0.61	19
--	AT	1	1.14	2.28	2.6	****	2.6	e	-16.0	1.00	1.80	0.05	1.85	4.81	149
O	IW	1	4.04	2.75	11.1	2.2	8.9	b	15.0	0.00	2.48		2.48	0.00	0
--	IT	1	1.01	2.15	2.2	****	2.2	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
N	IW	1	2.52	2.75	6.9	****	6.9	b	15.0	0.00	2.48		2.48	0.00	0
O	AW	1	2.23	2.75	6.1	3.9	2.2	e	-16.0	1.00	0.34	0.05	0.39	0.88	27
--	AF	1	1.14	3.41	3.9	****	3.9	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	5.64	175
S	IW	1	4.17	2.75	11.5	1.6	9.8	b	15.0	0.00	2.48		2.48	0.00	0
--	IT	1	0.76	2.15	1.6	****	1.6	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
W	IW	1	6.35	2.75	17.5	2.2	15.3	b	15.0	0.00	2.48		2.48	0.00	0
--	IT	1	1.01	2.15	2.2	****	2.2	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
H	FB	1	1.60	6.38	10.2	****	10.2	b	15.0	0.00	0.33		0.33	0.00	0
H	DE	1	1.60	6.38	10.2	****	10.2	b	15.0	0.00	0.33		0.33	0.00	0

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	11.93	370
--	--------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	\dot{V}	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 10.91 \text{ m}^3/\text{h}$	3.71	115
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 7.86 \text{ m}^3/\text{h}$	2.67	83
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00	0
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech, inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00	0
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 10.91 \text{ m}^3/\text{h}$		

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	3.71	115
--	-------------	------------

Netto-Heizlast	54 W/m²	22 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	485
-----------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	54 W/m²	22 W/m³	$\Phi_{HL} =$	485
----------------------	---------------------------	---------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 01	Geschoss-Nr.: 01	Wohninheit: 01
Raum-Nr.: 01/03	Raum-Kurzbez.: 03	Raum-Bez.: Hauswirtschaftsraum

Innentemperatur	$\theta_{int} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 3.64 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 2.14 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.03 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 7.79 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = 1.34 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.75 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.32 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.43 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 18.93 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K			W/K	W
N	AW	1	2.54	2.75	7.0	1.3	5.7	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.94	60
--	AF	1	1.01	1.28	1.3	****	1.3	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	1.87	58
O	AW	1	4.04	2.75	11.1	1.3	9.8	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	3.34	103
--	AF	1	1.01	1.28	1.3	****	1.3	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	1.87	58
S	IW	1	2.54	2.75	7.0	****	7.0	b	15.0	0.00	2.48		2.48	0.00	0
W	IW	1	4.04	2.75	11.1	1.9	9.2	b	15.0	0.00	2.48		2.48	0.00	0
--	IT	1	0.89	2.15	1.9	****	1.9	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
H	FB	1	2.54	4.10	10.4	****	10.4	b	15.0	0.00	0.33		0.33	0.00	0
H	DE	1	2.54	4.10	10.4	****	10.4	b	15.0	0.00	0.33		0.33	0.00	0

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	9.02	280
--	-------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 9.46 \text{ m}^3/\text{h}$	3.22
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 6.81 \text{ m}^3/\text{h}$	2.32
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 9.46 \text{ m}^3/\text{h}$	

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	3.22	100
--	-------------	------------

Netto-Heizlast	49 W/m²	20 W/m³	$\Phi_{HL,Netto} =$	379
-----------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	49 W/m²	20 W/m³	$\Phi_{HL} =$	379
----------------------	---------------------------	---------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 01	Geschoss-Nr.: 01	Wohneinheit: 01
Raum-Nr.: 01/04	Raum-Kurzbez.: 04	Raum-Bez.: Speisezimmer

Innentemperatur	$\theta_{int} = 20 \text{ °C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 1.05 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 1.89 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.02 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 1.98 \text{ m}^2$	Höhe über Erreich	$h = 1.34 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.75 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.32 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.43 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ °C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 4.81 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech, inf} = 0.00 \text{ °C}$
Erreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v, mech, inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2} / f_{ij}	W/m ² K		W/K	W	
N	IW	1	2.29	2.75	6.3	****	6.3	b	15.0	0.14	2.48		2.48	2.19	79
O	AW	1	1.13	2.75	3.1	0.5	2.6	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	0.89	32
--	AF	1	0.63	0.76	0.5	****	0.5	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	0.69	25
S	IW	1	2.29	2.75	6.3	1.4	4.9	b	15.0	0.14	2.48		2.48	1.69	61
--	IT	1	0.64	2.22	1.4	****	1.4	b	15.0	0.14	1.76		1.76	0.35	13
W	IW	1	1.13	2.75	3.1	****	3.1	b	15.0	0.14	2.48		2.48	1.08	39
H	FB	1	2.29	1.13	2.6	****	2.6	b	15.0	0.14	0.33		0.33	0.12	4
H	DE	1	2.29	1.13	2.6	****	2.6	b	15.0	0.14	0.35		0.35	0.13	5

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	7.14	257
--	-------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 2.40 \text{ m}^3/\text{h}$	0.82
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 1.15 \text{ m}^3/\text{h}$	0.39
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech, inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 2.40 \text{ m}^3/\text{h}$	

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	0.82	29
--	-------------	-----------

Netto-Heizlast	145 W/m²	60 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	287
-----------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	145 W/m²	60 W/m³	$\Phi_{HL} =$	287
----------------------	----------------------------	---------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 01	Geschoss-Nr.: 01	Wohneinheit: 01
Raum-Nr.: 01/05	Raum-Kurzbez.: 05	Raum-Bez.: WC

Innentemperatur	$\theta_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.0 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 1.05 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 1.76 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.00 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 1.85 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = 1.34 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.75 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.32 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.43 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 4.50 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech, inf} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v, mech, inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K		W/K	W	
N	IW	1	1.85	2.75	5.1	1.6	3.5	b	15.0	0.14	2.48		2.48	1.20	43
--	IT	1	0.76	2.15	1.6	****	1.6	b	15.0	0.14	1.76		1.76	0.40	14
O	IW	1	1.13	2.75	3.1	****	3.1	b	15.0	0.14	2.48		2.48	1.08	39
S	IW	1	1.85	2.75	5.1	****	5.1	b	15.0	0.14	2.48		2.48	1.77	64
W	IW	1	1.13	2.75	3.1	****	3.1	b	15.0	0.14	2.48		2.48	1.08	39
H	FB	1	1.85	1.13	2.1	****	2.1	u	-8.8	0.80	0.33	0.05	0.38	0.64	23
H	DE	1	1.85	1.13	2.1	****	2.1	b	15.0	0.14	0.35		0.35	0.10	4

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	6.26	225
--	-------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech, inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	0.00	0
--	-------------	----------

Netto-Heizlast	122 W/m²	50 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	225
-----------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	122 W/m²	50 W/m³	$\Phi_{HL} =$	225
----------------------	----------------------------	---------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 01	Geschoss-Nr.: 01	Wohneinheit: 01
Raum-Nr.: 01/06	Raum-Kurzbez.: 06	Raum-Bez.: Küche

Innentemperatur	$\theta_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 3.76 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 2.47 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.02 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 9.29 \text{ m}^2$	Höhe über Erreich	$h = 1.34 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.75 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.32 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.43 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 22.57 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech, inf} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v, mech, inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2} / f_{ij}	W/m ² K			W/K	W
N	IW	1	4.13	2.75	11.4	1.4	9.9	b	15.0	0.14	2.48		2.48	3.45	124
--	IT	1	0.64	2.22	1.4	****	1.4	b	15.0	0.14	1.76		1.76	0.35	13
O	AW	1	2.87	2.75	7.9	****	7.9	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	2.68	97
S	AW	1	4.13	2.75	11.4	1.2	10.2	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	3.47	125
--	AF	1	1.01	1.14	1.2	****	1.2	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	1.67	60
H	FB	1	2.87	4.13	11.9	****	11.9	b	15.0	0.14	0.33		0.33	0.55	20
H	DE	1	2.87	4.13	11.9	****	11.9	b	15.0	0.14	0.35		0.35	0.58	21

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	12.75	459
--	--------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 11.29 \text{ m}^3/\text{h}$	3.84
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 5.42 \text{ m}^3/\text{h}$	1.84
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech, inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 11.29 \text{ m}^3/\text{h}$	

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	3.84	138
--	-------------	------------

Netto-Heizlast	64 W/m²	26 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	597
-----------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	64 W/m²	26 W/m³	$\Phi_{HL} =$	597
----------------------	---------------------------	---------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 02	Geschoss-Nr.: 02	Wohninheit: 02
Raum-Nr.: 02/01	Raum-Kurzbez.: 01	Raum-Bez.: Schlafzimmer

Innentemperatur	$\theta_{int} = 20 \text{ °C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 3.76 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 3.70 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.02 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 12.45 \text{ m}^2$	Höhe über Erreich	$h = 4.11 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.80 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.24 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.56 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ °C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 31.87 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ °C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K			W/K	W
N	AW	1	0.00	0.00	12.3	2.3	10.0	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	3.41	123
--	AF	1	1.01	2.25	2.3	****	2.3	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	3.30	119
O	AW	1	0.00	0.00	6.2	****	6.2	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	2.10	76
S	IW	1	0.00	0.00	12.3	1.9	10.4	b	15.0	0.14	1.71		1.71	2.49	90
--	IT	1	0.89	2.15	1.9	****	1.9	b	15.0	0.14	1.76		1.76	0.47	17
W	IW	1	4.13	4.03	16.6	****	16.6	b	15.0	0.14	1.71		1.71	3.98	143
H	FB	1	4.10	4.19	17.2	****	17.2	b	15.0	0.14	0.33		0.33	0.79	29
H	DA	1	4.10	5.38	22.1	****	22.1	e	-16.0	1.00	0.19	0.05	0.24	5.29	191

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	21.84	786
--	--------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom		H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 15.94 \text{ m}^3/\text{h}$	5.42	195
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 7.65 \text{ m}^3/\text{h}$	2.60	94
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00	0
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00	0
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 15.94 \text{ m}^3/\text{h}$		

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	5.42	195
--	-------------	------------

Netto-Heizlast	79 W/m²	31 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	981
-----------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	79 W/m²	31 W/m³	$\Phi_{HL} =$	981
----------------------	---------------------------	---------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.:	02	Geschoss-Nr.:	02	Wohneinheit:	02
Raum-Nr.:	02/02	Raum-Kurzbez.:	02	Raum-Bez.:	Flur

Innentemperatur	$\theta_{int} = 15 \text{ °C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.0 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 2.13 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 3.76 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.00 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 3.43 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = 4.11 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.80 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.24 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.56 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ °C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 8.78 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ °C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K		W/K	W	
N	IW	1	0.00	0.00	12.3	1.9	10.4	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	1	0.89	2.15	1.9	****	1.9	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
O	AW	1	0.00	0.00	4.2	****	4.2	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.41	44
S	IW	1	0.00	2.80	12.3	1.9	10.4	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	1	0.89	2.15	1.9	****	1.9	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
W	IW	1	2.19	4.03	8.8	3.8	5.0	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	2	0.89	2.15	1.9	****	3.8	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
H	FB	1	4.19	2.19	9.2	****	9.2	b	15.0	0.00	0.33		0.33	0.00	0
H	DA	1	0.00	0.00	14.9	****	14.9	e	-16.0	1.00	0.19	0.05	0.24	3.57	111

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T 4.98 154

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v 0.00 0

Netto-Heizlast 45 W/m² 18 W/m³ $\Phi_{HL,Netto} = 154$

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume) $\Phi_{RH} = 0$

Norm-Heizlast 45 W/m² 18 W/m³ $\Phi_{HL} = 154$

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.:	02	Geschoss-Nr.:	02	Wohneinheit:	02
Raum-Nr.:	02/03	Raum-Kurzbez.:	03	Raum-Bez.:	Badezimmer

Innentemperatur	$\theta_{int} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 1.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 3.70 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 3.76 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.02 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 12.45 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = 4.11 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.80 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.24 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.56 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 31.87 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K			W/K	W
N	IW	1	0.00	0.00	12.3	3.8	8.5	b	15.0	0.23	1.71		1.71	3.34	133
--	IT	2	0.89	2.15	1.9	****	3.8	b	15.0	0.23	1.76		1.76	1.55	62
O	AW	1	0.00	0.00	6.2	****	6.2	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	2.10	84
S	AW	1	0.00	0.00	12.3	2.3	10.0	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	3.41	137
--	AF	1	1.01	2.25	2.3	****	2.3	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	3.30	132
W	IW	1	0.00	0.00	16.6	****	16.6	b	15.0	0.23	1.71		1.71	6.52	261
H	FB	1	0.00	0.00	13.9	****	13.9	b	15.0	0.23	0.33		0.33	1.06	42
H	DA	1	0.00	0.00	22.1	****	22.1	e	-16.0	1.00	0.19	0.05	0.24	5.31	213

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	26.58	1063
--	--------------	-------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 47.81 \text{ m}^3/\text{h}$	16.25
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 7.65 \text{ m}^3/\text{h}$	2.60
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 47.81 \text{ m}^3/\text{h}$	

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	16.25	650
--	--------------	------------

Netto-Heizlast	138 W/m²	54 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	1714
-----------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------	-------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	138 W/m²	54 W/m³	$\Phi_{HL} =$	1714
----------------------	----------------------------	---------------------------	---------------	-------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 02	Geschoss-Nr.: 02	Wohninheit: 02
Raum-Nr.: 02/04	Raum-Kurzbez.: 04	Raum-Bez.: Kinderzimmer

Innentemperatur	$\theta_{int} = 20 \text{ °C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 7.89 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 3.76 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.03 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 30.23 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = 4.11 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.80 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.24 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.56 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ °C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 77.39 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{V,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ °C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{V,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Flächen			Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
					A Brutto	A Abzug	A Netto								
		n	b	h/l	m ²			e/u	$\theta_{e,u,b,g}$	e_k/b_u	U	ΔU_{WB}	U_c/U_{equiv}	H_T	Φ_T
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K			W/K	W
N	IW	1	0.00	0.00	12.3	3.3	9.0	b	15.0	0.14	1.71		1.71	2.16	78
--	IT	2	0.76	2.15	1.6	****	3.3	b	15.0	0.14	1.76		1.76	0.81	29
O	IW	1	0.00	0.00	33.5	3.8	29.7	b	15.0	0.14	1.71		1.71	7.10	256
--	IT	2	0.89	2.15	1.9	****	3.8	b	15.0	0.14	1.76		1.76	0.94	34
S	AW	1	0.00	2.80	12.3	2.3	10.0	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	3.41	123
--	AF	1	1.01	2.25	2.3	****	2.3	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	3.30	119
W	AW	1	3.87	1.50	5.8	****	5.8	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.97	71
S	AW	1	1.24	2.93	3.6	****	3.6	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.24	44
W	AW	1	3.49	2.93	10.2	4.5	5.7	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.93	70
--	AF	2	1.01	2.25	2.3	****	4.5	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	6.59	237
N	AW	1	1.24	2.93	3.6	****	3.6	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.24	44
W	AW	1	0.00	0.00	2.5	****	2.5	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	0.86	31
H	FB	1	0.00	0.00	32.1	****	32.1	b	15.0	0.14	0.33		0.33	1.48	53
H	DA	1	4.19	8.29	34.7	****	34.7	e	-16.0	1.00	0.19	0.05	0.24	8.34	300
Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T													41.36	1489	

Bestimmung Luftvolumenstrom				H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	\dot{V}_{min}	=	38.70 m ³ /h	13.16	474
natürliche Infiltration	\dot{V}_{inf}	=	27.86 m ³ /h	9.47	341
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v, su}$	=	0.00 m ³ /h	0.00	0
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech, inf}$	=	0.00 m ³ /h	0.00	0
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	\dot{V}_{therm}	=	38.70 m ³ /h		
Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v				13.16	474
Netto-Heizlast	65 W/m ²	25 W/m ³	$\Phi_{HL, Netto} =$	1963	
Zusatz-Aufheizleistung	(für unterbrochen oder selten beheizte Räume)		$\Phi_{RH} =$	0	
Norm-Heizlast	65 W/m ²	25 W/m ³	$\Phi_{HL} =$	1963	

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.:	02	Geschoss-Nr.:	02	Wohneinheit:	02
Raum-Nr.:	02/05	Raum-Kurzbez.:	05	Raum-Bez.:	Ankleide 2

Innentemperatur	$\theta_{int} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.0 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 1.70 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 1.76 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.00 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 2.99 \text{ m}^2$	Höhe über Erdreich	$h = 4.11 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.80 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.24 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.56 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ } ^\circ\text{C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 7.65 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erdreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erdreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech, inf} = 0.00 \text{ } ^\circ\text{C}$
Erdreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v, mech, inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K			W/K	W
N	AW	1	0.00	0.00	5.0	****	5.0	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.70	53
O	IW	1	2.70	2.88	7.8	****	7.8	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
S	IW	1	0.00	0.00	5.0	3.3	1.7	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	2	0.76	2.15	1.6	****	3.3	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
W	AW	1	2.70	1.50	4.1	****	4.1	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.38	43
H	FB	1	2.16	2.13	4.6	****	4.6	b	15.0	0.00	0.33		0.33	0.00	0
H	DA	1	0.00	0.00	6.5	****	6.5	e	-16.0	1.00	0.19	0.05	0.24	1.56	48

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	4.63	144
--	-------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech, inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	0.00	0
--	-------------	----------

Netto-Heizlast	48 W/m²	19 W/m³	$\Phi_{HL, Netto} =$	144
-----------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)	$\Phi_{RH} =$	0
---	---------------	----------

Norm-Heizlast	48 W/m²	19 W/m³	$\Phi_{HL} =$	144
----------------------	---------------------------	---------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast (ausführliches Verfahren)

DIN EN 12831

Raum-Heizlast

Formblatt R

Bauabschnitt-Nr.: 02	Geschoss-Nr.: 02	Wohneinheit: 02
Raum-Nr.: 02/06	Raum-Kurzbez.: 06	Raum-Bez.: Ankleide 1

Innentemperatur	$\theta_{int} = 15 \text{ °C}$	Lüftung	
Geometrie		Mindest-Luftwechsel	$n_{min} = 0.5 \text{ h}^{-1}$
Raumlänge (Innenmaß)	$l_{Rn} = 1.95 \text{ m}$	Luftwechselrate	$n_{50} = 6.00 \text{ h}^{-1}$
Raubbreite (Innenmaß)	$b_{Rn} = 1.76 \text{ m}$	Koeffizient Abschirmklasse	$e = 0.02 -$
Raumfläche (Innenmaß)	$A_{FBn} = 3.43 \text{ m}^2$	Höhe über Erreich	$h = 4.11 \text{ m}$
Geschosshöhe	$h_G = 2.80 \text{ m}$	Höhen-Korrekturfaktor	$\epsilon = 1.0 -$
Deckendicke	$d = 0.24 \text{ m}$	Zuluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Raumhöhe	$h_{Rn} = 2.56 \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{su} = 0.00 \text{ °C}$
Raumvolumen	$V_{Rn} = 8.78 \text{ m}^3$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,su} = 0.00 -$
Erreich		Abluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{ex} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$
Tiefe unter Erreich	$z = - \text{ m}$	-Temperatur	$\theta_{mech,inf} = 0.00 \text{ °C}$
Erreich berührter Umfang	$P = - \text{ m}$	-Temperatur-Reduktionsfaktor	$f_{v,mech,inf} = 0.00 -$
B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	$B' = - \text{ m}$	Zusatzheizleistung	
		Wiederaufheizfaktor	$f_{RH} = 0.00 \text{ W/m}^2$

Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Höhe bzw. Länge	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	Wärmeverlust an	angrenzende Temperatur	Korrekturfaktoren	Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturwert für Wärmebrücke	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmeverlustkoeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
		m			m ²			g/b	°C	f_{g2}/f_{ij}	W/m ² K			W/K	W
N	AW	1	0.00	0.00	7.3	1.9	5.4	e	-16.0	1.00	0.29	0.05	0.34	1.85	57
--	AF	2	0.76	1.25	0.9	****	1.9	e	-16.0	1.00	1.40	0.05	1.45	2.75	85
O	IW	1	2.16	4.03	8.7	3.8	4.9	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
--	IT	2	0.89	2.15	1.9	****	3.8	b	15.0	0.00	1.76		1.76	0.00	0
S	IW	1	0.00	0.00	7.3	****	7.3	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
W	IW	1	0.00	0.00	7.8	****	7.8	b	15.0	0.00	1.71		1.71	0.00	0
H	FB	1	2.16	2.04	4.4	****	4.4	b	15.0	0.00	0.33		0.33	0.00	0
H	DA	1	0.00	0.00	5.2	****	5.2	e	-16.0	1.00	0.19	0.05	0.24	1.26	39

Transmissionswärmeverluste H_T und Φ_T	5.87	182
--	-------------	------------

Bestimmung Luftvolumenstrom	H_v	Φ_v
Mindest-Luftwechsel	$\dot{V}_{min} = 4.39 \text{ m}^3/\text{h}$	1.49
natürliche Infiltration	$\dot{V}_{inf} = 2.11 \text{ m}^3/\text{h}$	0.72
mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{v,su} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$	0.00
thermisch wirksamer Luftvolumenstrom	$\dot{V}_{therm} = 4.39 \text{ m}^3/\text{h}$	

Lüftungswärmeverlust H_v und Φ_v	1.49	46
--	-------------	-----------

Netto-Heizlast	67 W/m²	26 W/m³	$\Phi_{HL,Netto} =$	228
-----------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------	------------

Zusatz-Aufheizleistung (für unterbrochen oder selten beheizte Räume)			$\Phi_{RH} =$	0
---	--	--	---------------	----------

Norm-Heizlast	67 W/m²	26 W/m³	$\Phi_{HL} =$	228
----------------------	---------------------------	---------------------------	---------------	------------

Norm-Heizlast

Vereinbarungen

DIN EN 12831
Formblatt V

Raum			vereinbarte(r)			
Nr.	Kurz-bez.	Bezeichnung	Innen-Temperatur Θ_{int} °C	Luftwechsel-rate n_{min} h ⁻¹	Zusatz-Heiz-last	Wieder-aufheizzeit t_{RH} h
00/01	01	Keller	15.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
00/02	02	Keller	15.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
00/03	03	Technik	15.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
00/04	04	Treppenhaus	15.0	0.0	<input type="checkbox"/>	--
01/01	01	Wohnen	20.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
01/02	02	Flur	15.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
01/03	03	Hauswirtschaftsraum	15.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
01/04	04	Speisezimmer	20.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
01/05	05	WC	20.0	0.0	<input type="checkbox"/>	--
01/06	06	Küche	20.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
02/01	01	Schlafzimmer	20.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
02/02	02	Flur	15.0	0.0	<input type="checkbox"/>	--
02/03	03	Badezimmer	24.0	1.5	<input type="checkbox"/>	--
02/04	04	Kinderzimmer	20.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--
02/05	05	Ankleide 2	15.0	0.0	<input type="checkbox"/>	--
02/06	06	Ankleide 1	15.0	0.5	<input type="checkbox"/>	--

.....
Datum

.....
Unterschrift

Raumbeheizung

A	gesamte Raumfläche	H	Beheizung (HZ Hauptzone, RZ Randzone)	t_i	Raumtemperatur
A_{Zone}	Heizfläche	n_{Kr}	Anzahl der Kreise	t_{FB}	mittlere Oberflächentemperatur
A_{nV}	Nichtverlegetfläche	q	spezifischer Wärmebedarf	t_v	Vorlauftemperatur
A_{oH}	Fläche ohne Heizwirkung	Q_{ber}	bereinigter Wärmebedarf	t_R	Rücklauftemperatur
dp	Druckverlust je Kreis	VA	Verlegeabstand (Raster)	v	Volumenstrom je Kreis
VE	Voreinstellung am Verteiler	Rohr	Länge Fußbodenheizungsrohr	Zul	Länge Zuleitung je Kreis

Fußbodenheizung: "Cofloor" System Noppenplatte																							
Raum Nr.	Bezeichnung Gruppe	t_i °C	Q_{ber} W	A m ²	q W/m ²	H	t_v °C	t_R °C	Belag	Q_{ber} W	A_{Zone} m ²	A_{nV} m ²	A_{oH} m ²	t_{FB} °C	VA mm	n_{Kr}	Rohr m	Zul. m	v l/min	dp mbar	VE l/min		
00/04	Treppenhaus	20	96	8.1	11.9	HZ 45 20	Fliesen			96	8.1			21	250	1	32		0.07	0.7	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
						Bis hierher Anschluss an Verteiler Nr. 1 mit 1 Kreis																	
Kellergeschoss			96	8.1	11.9	FB											1	32	0.1				

Fußbodenheizung: "Cofloor" System Noppenplatte																							
Raum Nr.	Bezeichnung Gruppe	t_i °C	Q_{ber} W	A m ²	q W/m ²	H	t_v °C	t_R °C	Belag	Q_{ber} W	A_{Zone} m ²	A_{nV} m ²	A_{oH} m ²	t_{FB} °C	VA mm	n_{Kr}	Rohr m	Zul. m	v l/min	dp mbar	VE l/min		
01/01	Wohnen	20	2787	38.7	72.0	HZ 45 39	Laminat			2316	32.9			27	200	3	165		2.09	91.6	2.1		
						1 Raumthermostat 230V																	
						RZ 45 40						471	5.8		27	150	1	39		1.61	42.0	1.6	
						Beim Aufteilen der Heizkreise auf die Lage der Bewegungsfugen achten!																	
01/02	Flur	15	485	9.0	54.0	HZ 45 19	Fliesen			485	9.0			20	250	1	36		0.27	3.9	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
01/03	Hauswirtschaft:	15	379	7.8	48.7	HZ 45 18	Fliesen			379	7.8			20	250	1	31		0.22	2.6	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
01/04	Speisekammer	20	287	2.0	144.9	HZ 45 32	Fliesen			198	2.0			29	150	1	13		0.25	0.9	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
						Fremdwärme 89 Watt																	
01/05	WC	20	225	1.9	121.6	HZ 45 32	Fliesen			185	1.9			29	150	1	12		0.22	0.8	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
						Fremdwärme 40 Watt																	
00/02	Keller	15	1345	37.0	36.3	HZ 45 16	Fliesen			1345	37.0			19	250	1	148		0.76	43.6	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
						Bis hierher Anschluss an Verteiler Nr. 2 mit 9 Kreisen																	
Erdgeschoss			5508	96.3	57.2	FB											9	444	9.6				

Fußbodenheizung: "Cofloor" System Noppenplatte																							
Raum Nr.	Bezeichnung Gruppe	t_i °C	Q_{ber} W	A m ²	q W/m ²	H	t_v °C	t_R °C	Belag	Q_{ber} W	A_{Zone} m ²	A_{nV} m ²	A_{oH} m ²	t_{FB} °C	VA mm	n_{Kr}	Rohr m	Zul. m	v l/min	dp mbar	VE l/min		
01/06	Küche	20	597	9.3	64.3	HZ 45 26	Fliesen			597	9.3			26	200	1	46		0.49	7.2	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
02/01	Schlafzimmer	20	981	12.4	78.8	HZ 45 39	Laminat			981	12.4			27	150	1	83		2.61	197.1	2.6		
						1 Raumthermostat 230V																	
02/02	Flur	15	154	3.4	44.9	HZ 45 22	Laminat			154	3.4			19	250	1	14		0.10	0.5	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
02/03	Badezimmer	24	1714	12.4	137.7	HZ 45 39	Fliesen			1245	12.4			33	150	2	83		1.68	48.7	1.7		
						1 Raumthermostat 230V																	
						Beim Aufteilen der Heizkreise auf die Lage der Bewegungsfugen achten!																	
						Fremdwärme 469 Watt																	
02/04	Kinderzimmer	20	1963	30.2	64.9	HZ 45 35	Laminat			1743	27.8			26	200	2	139		1.46	60.2	1.5		
						1 Raumthermostat 230V																	
						RZ 45 40						220	2.4		28	100	1	24		0.77	5.4	1.0	
						Beim Aufteilen der Heizkreise auf die Lage der Bewegungsfugen achten!																	
02/05	Ankleide 2	15	144	3.0	48.2	HZ 45 23	Laminat			144	3.0			20	250	1	12		0.10	0.4	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
02/06	Ankleide 2	15	228	3.4	66.5	HZ 45 32	Laminat			228	3.4			21	250	1	14		0.29	1.2	1.0		
						1 Raumthermostat 230V																	
						Bis hierher Anschluss an Verteiler Nr. 3 mit 10 Kreisen																	
1. Obergeschoss			5781	74.3	77.8	FB											10	415	10.7				

Gesamtsumme			11385	178.7	63.7	FB											10787	178.7		20	891	20.3				
-------------	--	--	-------	-------	------	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------	-------	--	----	-----	------	--	--	--	--

"Cofloor" System Noppenplatte	Raster [mm]	50	100	150	200	250	300												Summe
	Fläche [m²]		2.4	34.5	70.0	71.7													178.7

V. Anhang A2

Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach VDI 2067

Berechnungsverfahren für die Ermittlung der jährlichen Gesamtkosten eines Gasbrennwertgerätes und einer Luft / Wasser- Wärmepumpe

1 Allgemeine Festlegungen für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit

- Preissteigerung j für Gas: 9,0% pro Jahr → $r_{\text{Gas}}=1,09$
- Preissteigerung j für Elektrizität: 6,5% pro Jahr → $r_{\text{El}}=1,065$
- Preissteigerung j für Sonstiges: 3,0% pro Jahr → $r_{\text{sonst}}=1,03$
- Zinssatz i: 6,0% pro Jahr → $q=1,06$
- Gaskosten k_{Erdgas} : 60,9 Cent pro kWh
- Stromkosten k_{Strom} : -17,98 Cent pro kWh für Gasbrennwertgerät u. Hilfsenergie
-11,43 Cent pro kWh für Wärmepumpe
- Betrachtungszeitraum T: 20 Jahre
- Rechnerische Nutzungsdauer T_N :
 - Gas- Brennwertkessel: 18 Jahre
 - Wärmepumpe: 20 Jahre
 - Solarkollektoren: 20 Jahre
- Instandsetzungsfaktor f_K in % der Investitionskosten nach VDI 2067:
 - Gas- Brennwertkessel: 1,5%
 - Wärmepumpe: 3,0%
 - Solarkollektoren: 0,5%
- Aufwand für Wartung in % der Investitionskosten nach VDI 2067:
 - Gas- Brennwertkessel: 1,0%
 - Wärmepumpe: 1,0%
 - Solarkollektoren: 0,5%

2 Ermittlung des Energiebedarfes des Gebäudes

2.1 Berechnung des Jahres- Heizwärmebedarfes Q_h

$$Q_h = 66 * (H_T + H_V) - 0,95 * (Q_s + Q_i)$$

$$Q_h = 66 * \left(206,87 \frac{W}{K} + 87,24 \frac{W}{K}\right) - 0,95 * \left(1834,37 \frac{kWh}{a} + 5836,16 \frac{kWh}{a}\right)$$

$$\underline{\underline{Q_h = 12.124,26 \frac{kWh}{a}}}$$

Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T :

$$\underline{H_T = 206,87 \frac{kWh}{a}} \quad \rightarrow \text{Werte siehe Heizlastberechnung}$$

Spezifischer Lüftungswärmeverlust H_V :

$$\underline{H_V = 87,24 \frac{W}{K}} \quad \rightarrow \text{Werte siehe Heizlastberechnung}$$

Solare Wärmegewinne Q_s :

$$Q_s = \sum (I_s)_{i,HP} * \sum 0,567 * g_i * A_i$$

$$\underline{Q_s = 1.834,37 \frac{kWh}{a}}$$

Himmels- richtung	I_s [kWh/m ² *a]	A_i [m ²]	g	$Q_s = I_s \times A_i \times g \times$ 0,567 [kWh/a]
SO-SW	270	7,90	0,65	786,12
NW-NO	100	4,34	0,65	159,95
übrige	155	15,55	0,65	888,30
$\sum Q_s =$				1834,37

Interne Wärmegewinne Q_i :

$$Q_i = 22 * 0,32 * V_e$$

$$Q_i = 22 * 0,32 * 829 m^3$$

$$\underline{Q_i = 5.836,16 \frac{kWh}{a}}$$

V_e : Gebäudevolumen [m³], siehe Berechnung Heizlast

2.2 Berechnung des Endenergiebedarfes Q_E

Gasbrennwertgerät:

$$Q_E = q_{E, \text{Gas}} * A_N$$

$$Q_E = 76,37 \text{ kWh/m}^2 * \text{a} * 265,28 \text{ m}^2$$

$$\underline{\underline{Q_E = 20.259,43 \text{ kWh/a}}}$$

Wärmepumpe:

$$Q_E = q_{E, \text{WP}} * A_N$$

$$Q_E = 26,42 \text{ kWh/m}^2 * \text{a} * 265,28 \text{ m}^2$$

$$\underline{\underline{Q_E = 7.008,70 \text{ kWh/a}}}$$

Spezifischer Endenergiebedarf $q_{E, \text{Gas}}$ Gasbrennwertgerät:

$$q_{E, \text{Gas}} = (q_h + q_{ce} + q_d) * e_g + q_w * e_g$$

$$q_{E, \text{Gas}} = (58,86 + 0,7 + 1,7) \text{ kWh/m}^2 * \text{a} * 1,01 + 12,5 \text{ kWh/m}^2 * \text{a} * 1,16$$

$$\underline{\underline{q_{E, \text{Gas}} = 76,37 \text{ kWh/m}^2 * \text{a}}}$$

Spezifischer Endenergiebedarf $q_{E, \text{WP}}$ Wärmepumpe:

$$q_{E, \text{WP}} = (q_h + q_{ce} + q_d) * e_g + q_w * e_g$$

$$q_{E, \text{WP}} = (58,86 + 0,7 + 1,7) \text{ kWh/m}^2 * \text{a} * 0,37 + 12,5 \text{ kWh/m}^2 * \text{a} * 0,3$$

$$\underline{\underline{q_{E, \text{WP}} = 26,42 \text{ kWh/m}^2 * \text{a}}}$$

q_h : spezifischer Jahres- Heizwärmebedarf [$\text{kWh/m}^2 * \text{a}$]

q_{ce} : spezifische Wärmeverluste bei der Übergabe [$\text{kWh/m}^2 * \text{a}$]

q_d : spezifische Wärmeverluste bei der Speicherung [$\text{kWh/m}^2 * \text{a}$]

q_w : Nutzwärmebedarf für die Trinkwarmwasserbereitung [$\text{kWh/m}^2 * \text{a}$]

e_g : Aufwandszahl der Erzeugung [-]

→ alle Werte aus VDI 2067

$$A_N = 0,32 * V_e$$

Nutzfläche A_N : $A_N = 0,32 * 829 \text{ m}^3$

$$\underline{\underline{A_N = 265,28 \text{ m}^2}}$$

Hilfsenergiebedarf $Q_{H,HE}$:

$$Q_{H,HE} = q_{H,HE} * A_N$$

$$Q_{H,HE} = 1,64 * 265,28m^2$$

$$\underline{\underline{Q_{H,HE} = 435,06 kWh/a}}$$

$q_{H,HE}$: spezifischer Hilfsenergiebedarf [kWh/m²*a], Werte aus VDI 2067

3 Ermittlung der jährlichen Kosten

3.1 Verbrauchsgebundene Kosten

Gasbrennwertgerät:

$$\begin{aligned}A_{\text{Verbr.,Gas}} &= A_{\text{Brst}} + A_{\text{HE}} + A_{\text{Grundpreis}} \\A_{\text{Verbr.,Gas}} &= 2.680,18 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 134,61 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 220,23 \frac{\text{€}}{\text{a}} \\A_{\text{Verbr.,Gas}} &= \underline{\underline{3.035,20 \frac{\text{€}}{\text{a}}}}\end{aligned}$$

Brennstoffkosten A_{Brst} :

$$\begin{aligned}A_{\text{Brst}} &= Q_{\text{E,Gas}} * k_{\text{Erdgas}} * ba \\A_{\text{Brst}} &= 20.259,43 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 0,0609 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 2,172296 \\A_{\text{Brst}} &= \underline{\underline{2.680,18 \frac{\text{€}}{\text{a}}}}\end{aligned}$$

Preisdynamischer Annuitätsfaktor ba mit Preissteigerung von 9,0% pro Jahr:

$$\begin{aligned}ba &= \frac{(q^T - r_{\text{Gas}}^T) * (q - 1)}{(q - r_{\text{Gas}}) * (q^T - 1)} \\ba &= \frac{(1,06^{20} - 1,09^{20}) * (1,06 - 1)}{(1,06 - 1,09) * (1,06^{20} - 1)} \\ba &= \underline{\underline{2,172296}}\end{aligned}$$

k_{Ergas} : spezifische Brennstoffkosten [€/kWh], Wert von Versorgungsunternehmen

Hilfsenergiekosten A_{HE} :

$$\begin{aligned}A_{\text{HE}} &= Q_{\text{E,Strom}} * k_{\text{Strom}} * ba \\A_{\text{HE}} &= 435,06 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 0,1798 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 1,72083 \\A_{\text{HE}} &= \underline{\underline{134,61 \frac{\text{€}}{\text{a}}}}\end{aligned}$$

Preisdynamischer Annuitätsfaktor ba mit Preissteigerung von 6,5% pro Jahr:

$$ba = \frac{(q^T - r_{El}^T) * (q - 1)}{(q - r_{El}) * (q^T - 1)}$$

$$ba = \frac{(1,06^{20} - 1,065^{20}) * (1,06 - 1)}{(1,06 - 1,065) * (1,06^{20} - 1)}$$

$$\underline{ba = 1,72083}$$

Grundpreis $A_{\text{Grundpreis}}$ mit einer Preissteigerung von 3,0% pro Jahr:

$$A_{\text{Grundpreis}} = A_P * ba$$

$$A_{\text{Grundpreis}} = 173,47 \frac{\text{€}}{\text{a}} * 1,26954$$

$$\underline{A_{\text{Grundpreis}} = 220,23 \frac{\text{€}}{\text{a}}}$$

Wärmepumpe:

$$A_{\text{Verbr.,WP}} = A_{\text{el}} + A_{\text{HE}} + A_{\text{Grundpreis}}$$

$$A_{\text{Verbr.,WP}} = 1.378,55 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 134,61 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 76,15 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$\underline{\underline{A_{\text{Verbr.,WP}} = 1.589,31 \frac{\text{€}}{\text{a}}}}$$

Energiekosten A_{el} :

$$A_{\text{el}} = Q_{\text{E,WP}} * k_{\text{Strom}} * ba$$

$$A_{\text{el}} = 7.008,70 \text{ kWh} / \text{a} * 0,1143 \text{ €} / \text{kWh} * 1,72083$$

$$\underline{A_{\text{el}} = 1.378,55 \frac{\text{€}}{\text{a}}}$$

Hilfsenergiekosten A_{HE} :

$$A_{\text{HE}} = Q_{\text{E,Strom}} * k_{\text{Strom}} * ba$$

$$A_{\text{HE}} = 435,06 \text{ kWh} / \text{a} * 0,1798 \text{ €} / \text{kWh} * 1,72083$$

$$\underline{A_{\text{HE}} = 134,61 \frac{\text{€}}{\text{a}}}$$

Preisdynamischer Annuitätsfaktor ba mit Preissteigerung von 6,5% pro Jahr:

$$ba = \frac{(q^T - r_{EI}^T) * (q - 1)}{(q - r_{EI}) * (q^T - 1)}$$

$$ba = \frac{(1,06^{20} - 1,065^{20}) * (1,06 - 1)}{(1,06 - 1,065) * (1,06^{20} - 1)}$$

$$\underline{ba = 1,72083}$$

k_{Strom} : spezifische Stromkosten [€/kWh], Wert von Versorgungsunternehmen

Grundpreis $A_{\text{Grundpreis}}$ mit einer Preissteigerung von 3,0% pro Jahr:

$$A_{\text{Grundpreis}} = A_P * ba$$

$$A_{\text{Grundpreis}} = 59,98 \frac{\text{€}}{\text{a}} * 1,26954$$

$$\underline{A_{\text{Grundpreis}} = 76,15 \frac{\text{€}}{\text{a}}}$$

3.2 Kapitalgebundene Kosten

Investitionskosten A_0 :

- Gasbrennwertgerät und Zubehör: 7.542,35€
- Wärmepumpe: 13.952,-- € (inklusive staatlicher Förderung)

Da der Betrachtungszeitraum 20 Jahre beträgt, muss das Gasbrennwertgerät aufgrund der rechnerischen Nutzungsdauer von 18 Jahren 1x erneuert werden. Die Annuität der kapitalgebundenen Kosten für dieses Gerät muss danach wie folgt berechnet werden:

$$A_{N,K} = (A_0 + \Sigma A_K - B_{RW}) * a + A_0 * \frac{f_K}{100} * ba_{IN}$$

$$A_{N,K} = (7.542,35\text{€} + 4.498,54\text{€} - 3.678,94\text{€}) * 0,08718 + 7.542,35\text{€} * \frac{1,5}{100} * 2,8593$$

$$\underline{\underline{A_{N,K} = 989,08 \frac{\text{€}}{\text{a}}}}$$

Annuitätsfaktor a:

$$a = \frac{q^T * (q - 1)}{q^T - 1}$$

$$a = \frac{1,06^{20} - (1,06 - 1)}{1,06^{20} - 1}$$

$$a = \underline{0,08718}$$

Barwertfaktor b_{IN} d. Instandsetzung:

$$b_{IN} = \frac{q^T - r_{sonst}^T}{q^T * (q - r_{sonst})}$$

$$b_{IN} = \frac{1,06^{20} - 1,03^{20}}{1,06^{20} * (1,06 - 1,03)}$$

$$b_{IN} = \underline{32,798}$$

Preisdynamischer Annuitätsfaktor

ba_{IN} :

$$ba_{IN} = b_{IN} * a$$

$$ba_{IN} = 32,798 * 0,08718$$

$$ba_{IN} = \underline{2,8593}$$

Annuität A_K der Ersatzinvestition:

$$A_K = A_0 * \frac{r_{sonst}^{1 * T_N}}{q^{1 * T_N}}$$

$$A_K = 7.542,35€ * \frac{1,03^{1 * 18}}{1,06^{1 * 18}}$$

$$A_K = \underline{4.498,54€}$$

Barwert B_{RW} des Restwertes:

$$B_{RW} = A_0 * \frac{r_{sonst}^{1 * T_N}}{q^T} * \frac{(r_{sonst} + 1) * T_N - T}{T_N}$$

$$B_{RW} = 7.542,35€ * \frac{1,03^{18}}{1,06^{20}} * \frac{(1,03 + 1) * 18 - 20}{18}$$

$$B_{RW} = \underline{3.678,94€}$$

f_k : Instandsetzungsfaktor in % der Investitionssumme pro Jahr, Wert aus VDI 2067

Die Annuität der kapitalgebundenen Kosten der Wärmepumpe ergibt sich wie folgt:

$$A_{N,K} = A_0 * \left(a + \frac{f_k}{100} \right)$$

$$A_{N,K} = 13.952€ * \left(0,08718 + \frac{3}{100} \right)$$

$$A_{N,K} = \underline{\underline{1.634,89€ / a}}$$

Annuitätsfaktor a:

$$a = \frac{q^T * (q - 1)}{q^T - 1}$$

$$a = \frac{1,06^{20} - (1,06 - 1)}{1,06^{20} - 1}$$

$$a = \underline{0,08718}$$

3.3 Betriebsgebundene Kosten

Betriebskosten für Wartung $A_{B,W}$, Bedienung $A_{B,Bd}$ und Betrieb $A_{B,Bt}$:

Gasbrennwertgerät:

$$A_{B,W} = \frac{f_K}{100} * A_0 * ba$$

$$A_{B,W} = \frac{1}{100} * 7542,35€ * 1,26954$$

$$\underline{A_{B,W} = 95,75 \text{ €/a}}$$

$$A_{B,Bd} = k_{L,B} * t_B * ba$$

$$A_{B,Bd} = 30 \text{ €/a} * 2,5h * 1,26954$$

$$\underline{A_{B,Bd} = 95,22 \text{ €/a}}$$

$$A_{B,Bt} = \frac{f_B}{100} * A_0 * ba$$

$$A_{B,Bt} = \frac{1,5}{100} * 7542,35€ * 1,26954$$

$$\underline{A_{B,Bt} = 143,63 \text{ €/a}}$$

Wärmepumpe:

$$A_{B,W} = \frac{f_K}{100} * A_0 * ba$$

$$A_{B,W} = \frac{1}{100} * 13.952€ * 1,26954$$

$$\underline{A_{B,W} = 177,13 \text{ €/a}}$$

$$A_{B,Bd} = k_{L,B} * t_B * ba$$

$$A_{B,Bd} = 30 \text{ €/a} * 2,5h * 1,26954$$

$$\underline{A_{B,Bd} = 95,22 \text{ €/a}}$$

$$A_{B,Bt} = \frac{f_B}{100} * A_0 * ba$$

$$A_{B,Bt} = \frac{3}{100} * 13.952€ * 1,26954$$

$$\underline{A_{B,Bt} = 531,38 \text{ €/a}}$$

Preisdynamischer Annuitätsfaktor ba für die betriebsgebundenen Kosten:

$$ba = \frac{(q^T - r_{EI}^T) * (q - 1)}{(q - r_{EI}) * (q^T - 1)}$$

$$ba = \frac{(1,06^{20} - 1,03^{20}) * (1,06 - 1)}{(1,06 - 1,03) * (1,06^{20} - 1)}$$

$$\underline{ba = 1,26954}$$

$k_{L,B}$: spezifische Lohnkosten [€/h]

t_B : Zeit für Bedienung [h/a]

f_B : globaler Aufwandsfaktor [-]

3.4 Jährliche Gesamtkosten der beiden Anlagenvarianten:

	Gasbrennwertkessel	Wärmepumpe
verbrauchsgeb. Kosten [€/a]	3.035,02	1.589,31
kapitalgeb. Kosten [€/a]	989,09	1.634,89
betriebsgeb. Kosten [€/a]	334,60	803,73
Gesamtkosten [€/a]	<u>4.358,71</u>	<u>4.027,93</u>

V. Anhang A3

Berechnung der Amortisationszeit der Solaranlage VDI 2067

Berechnung der Amortisationszeit einer Solaranlage für die Trinkwassererwärmung in Verbindung mit einer Wärmepumpe

1 korrigierter Endenergiebedarf Q_E

$$Q_{E,korr} = Q_E - Q_{Einsparung}$$

$$Q_{E,korr} = 7.008,7 \text{ kWh/a} - 506 \text{ kWh/a}$$

$$\underline{\underline{Q_{E,korr} = 6.502,7 \text{ kWh/a}}}$$

- Energieeinsparung $Q_{Einsparung}$ durch solare Trinkwassererwärmung laut Berechnungsprogramm: $\underline{Q_{Einsparung} = 506 \text{ kWh/a}}$
- Endenergiebedarf Q_E : siehe Anhang A – Berechnung Endenergiebedarf Q_E

2 verbrauchsgebundene Kosten

$$A_{Verbr,korr} = A_{el,korr} + A_{HE} + A_{Grundpreis}$$

$$A_{Verbr,korr} = 1.279,02 \text{ €/a} + 134,61 \text{ €/a} + 76,15 \text{ €/a}$$

$$\underline{\underline{A_{Verbr,korr} = 1.489,78 \text{ €/a}}}$$

$$A_{el,korr} = Q_{E,korr} * k_{Strom} * ba$$

$$A_{el,korr} = 6.502,7 \text{ kWh/a} * 0,1143 \text{ €/kWh} * 1,72083$$

$$\underline{\underline{A_{el,korr} = 1279,02 \text{ €/a}}}$$

Hilfsenergiekosten A_{HE} :

$$A_{HE} = Q_{E,Strom} * k_{Strom} * ba$$

$$A_{HE} = 435,06 \text{ kWh/a} * 0,1798 \text{ €/kWh} * 1,72083$$

$$\underline{\underline{A_{HE} = 134,61 \text{ €/a}}}$$

Preisdynamischer Annuitätsfaktor ba mit Preissteigerung von 6,5% pro Jahr:

$$ba = \frac{(q^T - r_{EI}^T) * (q - 1)}{(q - r_{EI}) * (q^T - 1)}$$

$$ba = \frac{(1,06^{20} - 1,065^{20}) * (1,06 - 1)}{(1,06 - 1,065) * (1,06^{20} - 1)}$$

$$\underline{ba = 1,72083}$$

3 Kosteneinsparung und Amortisationszeit

- Kosteneinsparung k_{Einspar} :

$$k_{\text{Einspar}} = A_{\text{Verbr, WP}} - A_{\text{Verbr, korr}}$$

$$k_{\text{Einspar}} = 1.589,31 \text{ €/a} - 1.489,78 \text{ €/a}$$

$$\underline{\underline{k_{\text{Einspar}} = 99,53 \text{ €/a}}}$$

- Amortisationszeit t_{Am} :

$$t_{\text{Am}} = \frac{A_0}{k_{\text{Einspar}}}$$

$$t_{\text{Am}} = \frac{4.185,-\text{€}}{99,53 \text{ €/a}}$$

$$\underline{\underline{t_{\text{Am}} = 42a}}$$

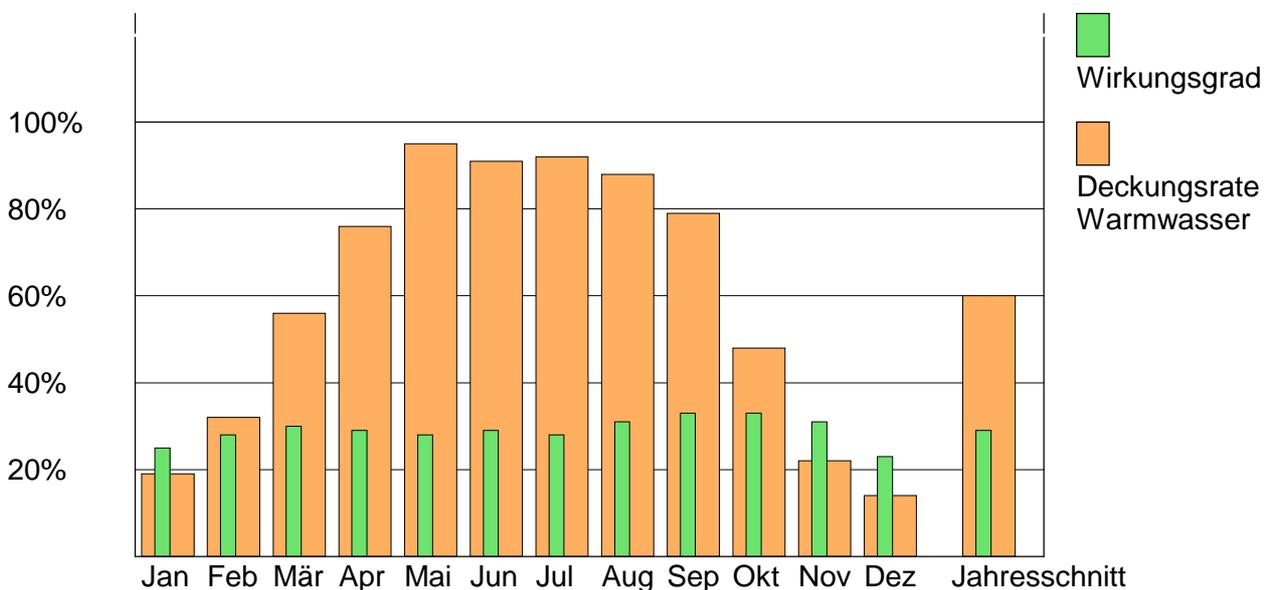
V. Anhang A4

Solarthermiesimulation

Projekt:	Standard-Solaranlage	
Standort:	Eutingen im Gäu- Göttelfingen	geogr. Breite: 48,8°
Kollektor:	5,70 m ²	Flachkollektor, Viessmann
Kennlinie:	c0 = 0,793 c1 = 3,950 W/(m ² K) c2 = 0,0122 W/(m ² K ²)	
Neigung:	28,0°	Südabweichung: 90,0°
Anlagentyp:	Brauchwarmwasserbereitung mit einem Speicher	
Speicher:	300 Liter	Temperatur : max. 75°C / min. 42°C
Wärmebedarf:	8,14 kWh/Tag =	200 Liter/Tag von 10°C auf 45°C

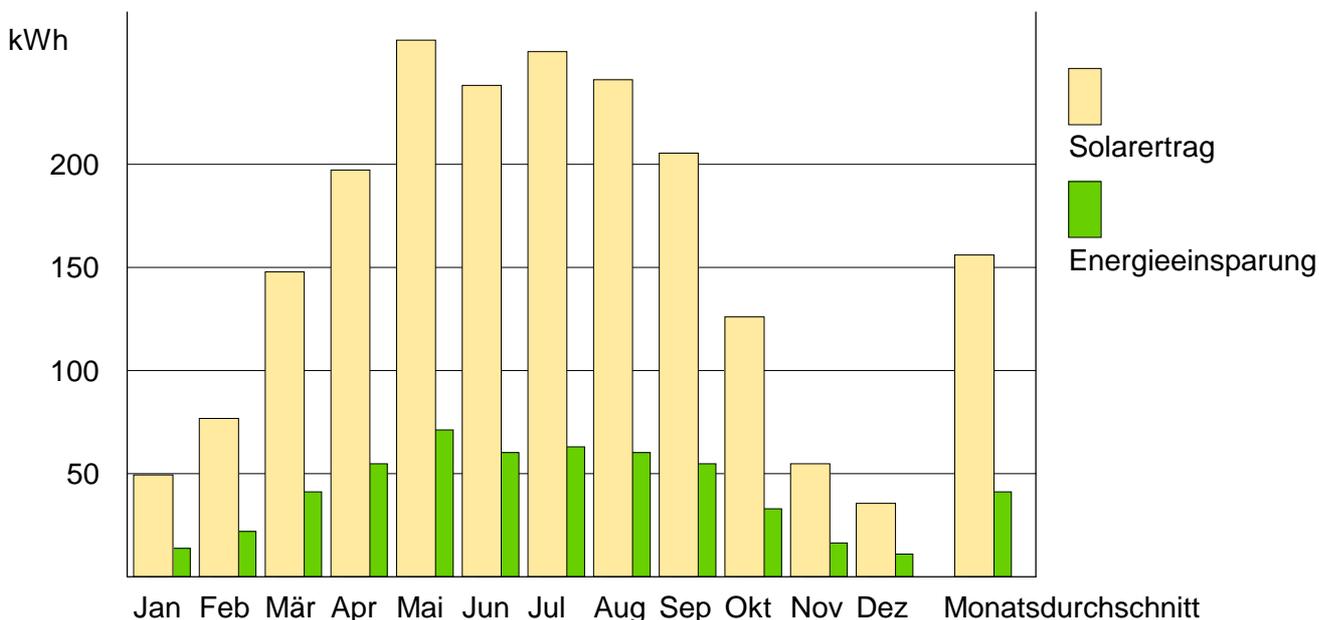
Monat	Solar- ertrag [kWh]	Ein- strahlung [kWh]	Fremd- energie [kWh]	Deckungs- rate [%]	Wirkungs- grad [%]
Januar:	49	194	210	19	25
Februar:	77	274	166	32	28
März:	147	490	120	56	30
April:	198	682	62	76	29
Mai:	261	934	14	95	28
Juni:	239	813	28	91	29
Juli:	253	910	18	92	28
August:	240	783	31	88	31
September:	204	626	52	79	33
Oktober:	126	387	133	48	33
November:	55	176	194	22	31
Dezember:	35	149	214	14	23
Summe:	1884	6418	1243	60	29

Spezifischer Kollektor-Jahresertrag: **331 kWh/m²**



Projekt:	Standard-Solaranlage	
Standort:	Eutingen im Gäu- Göttelfingen	geogr. Breite: 48,8°
	5,70 m ²	Flachkollektor, Viessmann
Neigung:	28,0°	Südabweichung: 90,0°
Anlagentyp:	Brauchwarmwasserbereitung mit einem Speicher	
Wärmebedarf:	8,14 kWh/Tag = 200 Liter/Tag von 10°C auf 45°C	
Konv. Energie:	Elektro-Wärmepumpe (Strommix Deutschland)	
	1 kWh el = 1,0 kWh Nutzenergie und 0,8 kg CO ₂ -Belastung	
Nutzungsgrad:	350% / 370% / 400% bei Betrieb in Winter / Frühjahr, Herbst / Sommer	
	Winter bei unter 5°C, Sommer bei über 15°C mittlerer Lufttemperatur	

Monat	Solarertrag [kWh]	Energieeinsparung [kWh]	CO ₂ -einsparung [kg]
Januar:	48,7	13,9	11,1
Februar:	77,4	22,1	17,7
März:	146,9	40,4	32,3
April:	197,9	53,5	42,8
Mai:	260,8	70,5	56,4
Juni:	238,9	59,9	47,9
Juli:	253,4	63,4	50,7
August:	239,9	60,0	48,0
September:	204,1	53,5	42,8
Oktober:	126,2	34,1	27,3
November:	55,3	15,3	12,3
Dezember:	34,9	10,0	8,0
Summe:	1884,5	496,5	397,2



VI. Literaturverzeichnis

- DIN EN – 12831: 2003
Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Normheizlast
- EnEV: 2007
Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden
- VDI 2067 Blatt 1: 2000
Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung
- VDI 2067 Blatt 12: 2000
Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung
- [OC05] OCHSNER, K.: *Wärmepumpen in der Heizungstechnik*. C. F. Müller Verlag, Heidelberg, 2005
- [SL07] SPÄTE, F., LADENER, H.: *Solaranlagen – handbuch der thermischen Solarenergienutzung*. ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 2007
- [QU07] QUASCHNING, V.: *Regenerative Energiesysteme, Technologie – Berechnung – Simulation*. Carl Hanser Verlag, München, 2007
- [BDEW08] N.N.: *Langfristige Entwicklung von öl- und Gaspreisen*. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Online in Internet:
URL: [http://www.bdew.de/bdew.nsf/id-DE_id100112405_druckvorlage-langfristige-entwicklung-von-oel-und-gaspreisen-oelpreisbindung/\\$file/08%2006%2018%20Preisentw%20Heizl%2090%20bis%200408,-%20Basis1995.pdf](http://www.bdew.de/bdew.nsf/id-DE_id100112405_druckvorlage-langfristige-entwicklung-von-oel-und-gaspreisen-oelpreisbindung/$file/08%2006%2018%20Preisentw%20Heizl%2090%20bis%200408,-%20Basis1995.pdf) (Stand 12.08.2008)

- [BMU07] N.N.: *4. Sachstandsbericht des IPCC (2007) über Klimaänderungen*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Online in Internet: URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf-/ipcc2007_kurzfassung_dt.pdf (Stand 06.04.2007)

- [BGR04] N.N.: *Kurzstudie Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2004*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Online in Internet: URL: http://www.bgr.bund.de/cIn_101-/nn_322848/DE/Themen/Energie/Downloads-/Energiestudie__Kurzf__2004,templateId=raw,property=publicationFile.pdf-/Energiestudie_Kurzf_2004.pdf

- [BP08] N.N.: *BP Statistical Review of World Energy – June 2008*. Deutsche BP, Online in Internet: URL: http://www.deutschebp.de/liveassets-/bp_internet/germany/STAGING/home_assets/assets/deutsche_bp-/broschueren/de_statistical_review_of_world_energy_full_report_2008.pdf (Stand Juni 2008)

- [DI07] N.N.: *Projektierungs- und Planungshandbuch Wärmepumpen für Heizung und Warmwasserbereitung*. Dimplex, Online in Internet: URL: http://www.dimplex.de/fileadmin/dimplex/downloads/planungshandbuecher-/wp/PHB-WP-Heizen-Mai07_2.pdf

- [DWD06] N.N.: *Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland*. Deutscher Wetterdienst, Online in Internet: URL: http://www.dwd.de/bvbw-/generator/Sites/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU1/KU12-/Klimagutachten/Solarenergie-/Straka__Mittel__8100,templateId=raw,property=publicationFile.pdf-/Straka_Mittel_8100.pdf (Stand 12.08.2008)

- [HA05] Prof. MITCHELL, J.: *Climate Change and the greenhouse effect*. Met Office Hadley Centre, Online in Internet: URL: http://www.metoffice.gov.uk-/research/hadleycentre/pubs/brochures/2005/climate_greenhouse.pdf (Stand 2005)

- [IWU08] N.N.: *Gradtagszahlen in Deutschland*. Institut Wohnen und Umwelt, Online in Internet: URL: www.iwu.de/datei/Gradtagszahlen_Deutschland.xls (Stand 12.08.2008)

- [MR06] N.N.: *The 1906 earthquake and Hurricane Katrina*. Münchner Rück, Online in Internet : URL: http://www.munichre.com/de/corporate/history-/san_francisco/the_1906_earthquake_and_hurricane_katrina/default.aspx (Stand 2006)

- [SBD06] N.N.: *Verbraucherpreisindizes für Deutschland*. Statistisches Bundesamt, Online in Internet: URL: <https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg-/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1019772> (Stand 12.08.2008)

- [BA08] N.N.: *Basis- und Bonusförderung im Marktanreizprogramm 2008*. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Online in Internet: URL: http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/publikationen-/energie_ee_uebersicht_basis_und_bonusfoerderung.pdf

VII. ehrenwörtliche Erklärung

„ich erkläre hiermit ehrenwörtlich“,

1. dass ich meine Diplomarbeit mit dem Thema

„Vergleich verschiedener Heizungssysteme und deren Wirtschaftlichkeit unter Einbeziehung von Solarthermie und Wärmepumpensystemen“

ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und

3. dass ich meine Diplomarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Ort, Datum

Unterschrift

V. Anhang A5

Grundrisse, Schemen, Ansichten