

Augustin Gilli, B.Sc.

Entwicklung und Bewertung von fassadenbasierenden Energieversorgungskonzepten für den Einsatz in der Bestandssanierung

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

BetreuerIn

DI Dr.ⁱⁿ Bettina Nocke

Ing. Christian Fink

AEE INTEC

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hochenauer Christoph

Institut für Wärmetechnik

Beurteiler

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hochenauer Christoph

Institut für Wärmetechnik

Graz, am 29. September 2015

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

KURZFASSUNG

Titel: Entwicklung und Bewertung von fassadenbasierenden Energieversorgungskonzepten für den Einsatz in der Bestandssanierung

Autor: Augustin Gilli

1. Stichwort: fassadenbasierende Sanierungen
2. Stichwort: erneuerbare Energien
3. Stichwort: Energieversorgungskonzepte

Sanierungen mittels vorgefertigter Fassadenelementen stellen eine vielversprechende Alternative zu herkömmlichen Sanierungen dar. Hohe Vorfertigungsgrade und kurze Sanierungszeiträume sind wesentliche Vorteile dieser Technologie. Der hohe Energiebedarf und die große Anzahl an nicht sanierten Gebäuden der 1960er-1980er Jahre machen diese Technologie speziell für Sanierungen dieser Epoche interessant.

Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Entwicklung von Energieversorgungskonzepten, welche die maximale Integration von Haustechnikelementen in den vorgefertigten Fassaden zum Ziel hat. Innovative und neuartige Konzeptideen zur Energiewandlung, -speicherung und -abgabe in einer dezentralen, semizentralen und zentralen Ausführung werden untersucht. Eine harmonische Einbindung von Lüftungskonzepten wird fokussiert. Mittelpunkt ist die umfangreiche Eingliederung von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien – Solarthermie, Photovoltaik und Wärmepumpen – zur Wärmeerzeugung.

Die Untersuchung des Energiebedarfs eines repräsentativen Referenzgebäudes zählt ebenso zu den Fragestellungen wie die quantitative und qualitative Bewertung der entstandenen Energieversorgungskonzepte. Durch die quantitative Abschätzung der Konzepte bezüglich solarer Deckung, flächenspezifischen Ertrages oder Flächenbedarfs wird eine erste technische Einschätzung vermittelt. Anhand der qualitativen Bewertung wird das Verwirklichungspotential der Konzeptideen untersucht. Die Synergie aus beiden Bewertungen dient als Grundlage der Konzeptauswahl.

Ausgehend von der Analyse und Bedarfsabschätzung von sanierungsbedürftigen Gebäuden und der Definition unterschiedlichster Energieversorgungskonzepte werden mit Hilfe der Bewertungsmethoden zwei ganzheitliche Energieversorgungskonzepte – Warmwasserbereitung, Raumwärmeerzeugung, Lüftung – ausgewählt.

ABSTRACT

Titel: Development and evaluation of façade based energy supply concepts for stock renovations

Author: Augustin Gilli

1st keyword: façade based renovations
2nd keyword: renewable energies
3rd keyword: energy supply concepts

Refurbishment with prefabricated façade modules represents a promising alternative to traditional redevelopment methods. A high degree of prefabrication and a short rehabilitation period are two important advantages of this technology. The high energy demand and the large number of non-renovated buildings from the 1960s-1980s make this technology interesting for renovations of buildings from this era.

The main focus of this work is to develop energy supply concepts which can be incorporated in the prefabricated façade modules. A maximum amount of house supply techniques should be integrated. Innovative and new conceptual ideas for energy converting, storage and release in a decentralized, semi-centralized and central design are evaluated in conjunction with a harmonious integration of ventilation concepts. The comprehensive integration of technologies for renewable energy such as solar heat, photovoltaic and heat pumps is the goal.

The developed concepts are applied in the investigation of the energy demand of a representative reference building including both quantitative and qualitative evaluation of these energy supply concepts. The quantitative assessment of the concepts regarding solar coverage, specific production and space requirements gives a first technical estimation. Based on qualitative assessment the conceptual potential is analyzed. The synergy of both ratings is the foundation of the concept selection.

Based on the assessment of the energy needs in the analysis of the non-renovated buildings, energy concepts were developed. The application of different evaluation methods helped to establish two integral energy supply concepts which cover water heating, space heating and ventilation.

DANKSAGUNG

Diese Arbeit entstand im Zuge des Projektes „HVAC via Facade“, welches im Rahmen von eMISSION.at – Energy Mission Austria – 4. Ausschreibung bei der AEE INTEC in Gleisdorf durchgeführt wird.

Besonders bedanken möchte ich mich bei der AEE INTEC für das Ermöglichen dieser Arbeit, sowie bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für anregende Diskussionen und Hilfestellungen. Großer Dank gilt den AEE INTEC-Betreuern DI Dr.ⁱⁿ Bettina Nocke und Ing. Christian Fink für die umfangreiche und gute Betreuung dieser Arbeit.

Auch möchte ich mich bei meinem betreuenden Professor an der Technischen Universität Graz Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christoph Hochenauer für die problemlose Abwicklung, die hilfreichen Anregungen und kurzen Korrekturzeiten bedanken.

Da die Studienzeit nicht nur aus Weiterbildung besteht, sondern zu einem großen Teil aus den Leuten, welche diese ermöglichen, möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Familie bedanken. Besonders möchte ich mich bei meiner Mutter Ingrid Gilli für die große Unterstützung und die manchmal notwendigen aufbauenden Worte bedanken. Weiters geht mein Dank an Jerry Batzel welcher mir bei vielen Fragestellungen zur Seite stand. Auch möchte ich mich bei meinem Vater Gerhard Gilli herzlich für die Unterstützung bedanken, sowie bei meinen Brüdern Sebastian und Eugen, welche immer ein offenes Ohr für mich haben. Kulinarisch möchte ich mich bei meiner Oma bedanken, die durch ihre Fürsorglichkeit und ihre besonders guten Speisen mein Wohlbefinden sehr positiv beeinflusst.

Last but not least gilt mein Dank Sarah für die große Unterstützung und die vielen anregenden und aufbauenden Gespräche.

All jenen Freunden und Kollegen möchte ich danken, welche durch vielseitige Diskussionen meinen Horizont erweitert haben.

Abkürzungsverzeichnis

$A_{\text{Bruttokollfl}}$	Bruttokollektorfläche
A_{Koll}	Kollektorfläche
A_{Modul}	Modulfläche
AM	Air Mass
AP	Arbeitspaket
BGF	Bruttogeschossfläche
BTA	Bauteilaktivierung
CAD	Computer Aided Design
CO ₂	Kohlendioxid
COP	Leistungszahl
c_p	spez. Wärmekapazität
EEB	Endenergiebedarf
E_{STC}	Einstrahlung bei STC
HGT	Heizgradtage
HHSB	Haushaltsstrombedarf
HTEB	spez. Heiztechnikendenergiebedarf
HVAC	engl. Heizung, Lüftung, Kühlung
HWB	Heizwärmebedarf
HZ	Heizung
I_0	Solarkonstante
JAZ	Jahresarbeitszahl
KNr.	Konzeptnummer
LÜ	Lüftung
NGF	Nettogeschossfläche
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
P_{STC}	PV-Nennleistung
PEB	Primärenergiebedarf
PPHP	Passivhaus-Projektierungspaket
PV	Photovoltaik
PVth	Photovoltaik und Thermie
Q	Wärmeinhalt
\dot{Q}_{Koll}	abgegebene Kollektorleistung
Q_{Konv}	jährlicher Wärmeinput des konventionellen Wärmeerzeugers
Q_{Solar}	jährlicher Wärmeinput des Solarsystems
SD	Solare Deckung
SE	spezifische Ertrag
SK	Standardklima
ST	Solarthermie
STC	Standard Test Conditions

U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
WE	Wohneinheit
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
WW	Warmwasser
WWWB	Warmwasserwärmebedarf
α_K	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient
α_S	strahlender Wärmeübergangskoeffizient
η_{Koll}	Kollektorwirkungsgrad
η_{Modul}	PV-Modulwirkungsgrad
$\Phi_{HL,i}$	Norm-Raumheizlast
Φ_{HL}	Norm-Gebäudeheizlast

INHALTSVERZEICHNIS

<u>1</u>	<u>EINLEITUNG</u>	1
1.1	Forschungsbedarf an hocheffizienten Fassaden zur Bestandssanierung	1
1.2	Aufgabenstellung und Zielsetzung der Masterarbeit	2
1.3	Problemstellung	3
1.4	Methodik	4
<u>2</u>	<u>GRUNDLAGEN</u>	5
2.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen und energietechnische Kenngrößen	5
2.1.1	Richtlinien und Gebäudestandards	5
2.1.2	Energetische Kennzahlen	8
2.1.3	Richtlinien zur Bauteildimensionierung	11
2.2	Raumwärme- und Trinkwarmwassererzeugung bzw. -bereitstellung	11
2.2.1	Bedarfsabschätzung und Grundlagen	11
2.2.2	Behaglichkeit	19
2.3	Aktive Solarsysteme	21
2.3.1	Solarthermie (ST)	23
2.3.2	Photovoltaik (PV)	26
<u>3</u>	<u>LITERATURRECHERCHE / STAND DER TECHNIK</u>	28
3.1	Makartstraße Linz	28
3.2	Dieselweg Graz	32
<u>4</u>	<u>AUSWAHL EINES REFERENZGEBÄUDES UND BEDARFSDEFINITION NACH DER SANIERUNG</u>	36
4.1	Wahl eines charakteristischen Referenzgebäudes	36
4.1.1	Wohnungsgrundrisse und Wohnflächen	37
4.1.2	Verfügbare Fassaden- und Dachflächen	38
4.1.3	Altbestand der Haustechnik im Referenzgebäude	40
4.1.4	Wandaufbauten des Referenzgebäudes	40
4.2	Referenzgebäude nach der Sanierung	40
4.2.1	Heizwärmebedarf des sanierten Referenzsystems	40
4.2.2	Heizlast des sanierten Referenzgebäudes	41
4.2.3	Brauchwarmwasserbedarf des Referenzgebäudes	41
4.3	Solare Einstrahlung auf das Referenzgebäude	42
<u>5</u>	<u>ENTWICKLUNG DER ENERGIEVERSORGUNGSKONZEPTE</u>	43
5.1	Randbedingungen und Vorgangsweise der Konzeptentwicklung	43
5.1.1	Rahmenbedingungen der Konzeptfindung	43
5.1.2	Vorgangsweise der Konzeptentwicklung	45

5.2 Energieversorgungskonzepte	45
5.2.1 Kategorie: Solarthermie	45
5.2.2 Kategorie: Bauteilaktivierung	48
5.2.3 Kategorie: Photovoltaik	53
5.2.4 Kategorie: Wärmepumpe	55
5.2.5 Kategorie: Lüftung	59
<u>6 BESCHREIBUNG DES BEWERTUNGSPROZESSES</u>	<u>62</u>
6.1 Entwicklung der Bewertungsmethoden	62
6.1.1 Quantitative Bewertungsmethode	63
6.1.2 Qualitative Bewertungsmethode	64
6.1.3 Methode der Ergebnisanalyse	68
6.2 Quantitative Beurteilung der Energieversorgungskonzepte	70
6.2.1 Berechnung der solarthermischen Anlage	70
6.2.2 Berechnung PV-gekoppelter Technologien	72
6.2.3 Berechnung der PV-,PVth- und PV-Abluft-WP gekoppelten Technologien	77
6.2.4 Berechnungen zur Bauteilaktivierung	85
6.3 Qualitative Beurteilung der Energieversorgungskonzepte	87
6.3.1 Qualitative Bewertung: Bewohner- und Bauträgeranforderungen	87
6.3.2 Qualitative Bewertung: Warmwasser, Heizung	89
6.3.3 Qualitative Bewertung: Lüftungskonzepte	90
6.3.4 Zusammenführung der Bewertungen und Bildung eines Gesamtergebnis	91
<u>7 INTERPRETATION DER BEWERTUNGSERGEBNISSE UND KONZEPTAUSWAHL</u>	<u>93</u>
7.1 Konzeptauswahl 1	93
7.2 Konzeptauswahl 2	95
7.3 Zusammenfassung der Konzeptauswahl	96
<u>8 AUSBLICK</u>	<u>100</u>
<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	<u>101</u>
<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u>	<u>105</u>
<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	<u>108</u>
<u>A ANHANG KONZEPTDARSTELLUNGEN</u>	<u>110</u>

1 Einleitung

Der weltweite Bedarf an Energie ist trotz einsetzenden Klimawandels ansteigend. Klimaziele werden definiert und müssen im Laufe der folgenden Jahrzehnte eine Umsetzung finden. Die Ziele sollen durch internationale EU-Förderprogramme wie „horizon2020“ und nationale Förderprogramme wie „Haus der Zukunft“ oder „e!MISSION.at - Energy Mission Austria“, beschleunigt werden. Die Europäische Union hat sich auf ein Maßnahmenpaket geeinigt, welches als 20-20-20 Ziele bekannt wurde. Folgende Grundvereinbarungen wurden bis 2020 beschlossen:

- 20 %- ige Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1900
- 20 %- iger Anteil an erneuerbaren Energien
- 20 % mehr Energieeffizienz [1]

Der Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch soll bis 2020 europaweit auf 20% anwachsen. Für Österreich bedeutet das konkret, einen Anteil an erneuerbaren Energieträgern von 34% im Jahre 2020 zu erreichen [2]. Eine Umsetzung der Ziele bedarf einer genauen Betrachtung des aktuellen Energieeinsatzes in der Union. So fallen etwa 40% des Energiebedarfs auf den europäischen Wohn- und Tertiärsektor, welcher zum größten Teil aus Gebäuden besteht [3]. Auf nationaler Ebene lag der Energieeinsatz für Raumwärme und Warmwasserbereitung 2013 bei rund 30% [4]. Dem unnötig hohen Energieverbrauch des Gebäudebestandes kann durch umfangreiche thermische Sanierungen entgegengewirkt werden. Thermisch hochwertige Sanierungen des Altbestandes können die Effizienz steigern und den Energieverbrauch reduzieren.

Österreich und Europa sind weitgehend dicht besiedelt und bebaut. Die Gebäude der Nachkriegszeit (1945-60) und die des wirtschaftlichen Aufschwungs (1961-80) stellen etwa die Hälfte des Gesamtbestandes der österreichischen Gebäude dar. Sie sind meist thermisch sanierungsbedürftig und haben einen hohen Heizwärmebedarf. [5] Die Sanierung dieser Gebäude kann einen erheblichen Beitrag zur Erlangung der nationalen und internationalen Klimaziele bewirken. Es ergibt daher Sinn, neue verbesserte Methoden zur hochwertigen thermischen Bestandssanierung zu entwickeln und in weiterer Folge umzusetzen.

1.1 Forschungsbedarf an hocheffizienten Fassaden zur Bestandssanierung

Der Einsatz von vorgefertigten Fassaden- und Gebäudetechnikmodulen bei Sanierungen ist derzeit gegenüber konventionellen Sanierungen nur eine Randerscheinung. Gebäudetechnikkomponenten werden bei herkömmlicher Sanierung häufig ohne umfangreiches Gesamtkonzept, also ohne Abstimmung der Haustechnik mit der Gebäudehülle, kostenintensiv durchgeführt. Aus diesem Anlass gibt es intensive Forschungsbemühungen zur schnelleren, kostengünstigeren und nachhaltigeren Sanierung. Ein Trend der letzten Jahre beschäftigte sich mit hochgradig vorgefertigten Fassadenmodulen, welche eine ganzheitliche Gebäudesanierung in wenigen Tagen erlauben. Mensch und Natur werden weitestgehend

geschont, da Bewohnerinnen und Bewohner durch den kurzen Sanierungszeitraum nicht umgesiedelt werden müssen und die verbauten Rohstoffe weitgehend aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.

Ausgehend vom Gedanken, einen Beitrag zum Erlangen der Klimaziele zu leisten, entstand das Forschungsprojekt „HVAC via FACADE¹“, das im Rahmen der "e!MISSION.at - 4.Ausschreibung" durchgeführt wird. Dieses Projekt wird vom Forschungsinstitut AEE INTEC koordiniert.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Energiegewinnung durch die Fassadenoberfläche und der direkten Nutzung dieser in den dahinterliegenden Räumen bzw. zur Trinkwarmwasserbereitung sowie auf der Möglichkeit hochgradiger Vorfertigung. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes entstand diese Masterarbeit.

Die sogenannten aktiven Fassaden sollen einen wesentlichen Beitrag zum Gesamtenergiebedarf leisten. Mögliche Energieabgabekonzepte sowie die Integration der Haustechnikkomponenten in die Fassadenkonstruktion werden analysiert. Die unmittelbare Interaktion der vorgefertigten Fassadenelemente mit den dahinterliegenden Wohnräumen soll Energieverluste senken und die Vorfertigung eine schnelle Sanierung ermöglichen.

Das Ziel ist, eine ganzheitliche, nachhaltige und intelligente Konzeptlösung zur Bestandssanierung zu erstellen – basierend auf vorgefertigten Fassadenelementen.

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung der Masterarbeit

Es sollen grundsätzlich neue Energieversorgungskonzepte in Verbindung mit hochwärmegeämmten und vorgefertigten Fassadenelementen entstehen.

Aufgabenstellung

Diese Arbeit lässt sich in vier Arbeitspakete untergliedern. Das erste Arbeitspaket beinhaltet eine Literaturrecherche sowie die Einarbeitung in den Stand der Technik und Forschung. Mit dem dadurch gewonnenen Wissen soll anhand eines repräsentativen Referenzgebäudes (Fokus auf Geschosswohnbau) ein Portfolio an aussichtsreichen Energieversorgungskonzepten erarbeitet werden. Es soll speziell auf Lüftungskonzepte, Energiewandlung, -speicherung, -verteilung und -abgabe (zentral, semizentral, dezentral) durch Integration in vorgefertigte Fassadenelemente eingegangen werden. Die Entwicklung von Bewertungsmethoden zur qualitativen und quantitativen Beurteilung des Konzeptportfolios beinhaltet Arbeitspaket drei. In Arbeitspaket vier soll die Bewertung durchgeführt werden. Eine Auswahl von vielversprechenden Konzepten bildet den Abschluss dieser Arbeit. Tabelle 1-1 zeigt die Arbeitspakete im Überblick.

¹ HVAC engl. für Heizung, Lüftung, Klimatechnik

Tabelle 1-1: Arbeitspakete der Masterarbeit

Arbeitspakete (AP) der Masterarbeit	
Arbeitspaket 1	Literaturrecherche, Stand der Technik und Forschung, Definition eines Referenzgebäudes
Arbeitspaket 2	Entwicklung eines Portfolios an Energieversorgungskonzepten für ein Referenzgebäude
Arbeitspaket 3	Entwicklung von Bewertungsmethoden
Arbeitspaket 4	Interpretation der Bewertungsergebnisse und Konzeptauswahl

Zielsetzung

Neben der Erfüllung der Aufgabenstellung sollen definierte Ziele erreicht werden. Die bereits erwähnte maximale Integration von Haustechnikkomponenten in hochwärmedämmte vorgefertigte Fassadenelemente stellt nur eines der Ziele dar. Es soll in der Konzeptfindungsphase ein breites Spektrum der Integrationsmöglichkeiten von Komponenten zugelassen werden. Dies entspricht dem Gedanken einer innovativen und kreativen Herangehensweise. Es sollen Konzepte einer zentralen, dezentralen oder semizentralen Energieversorgung der Wohneinheiten durchdacht werden. Der energetische Fokus liegt ganz klar auf erneuerbaren Energien. Einerseits soll die Sonnenenergie bestmöglich in die Konzepte eingebunden werden, andererseits der Energieverbrauch durch effiziente Systeme, wie z.B. Wärmerückgewinnung, minimiert werden. Dies hat sowohl Auswirkungen auf die Kosten als auch auf die CO₂-Bilanz des sanierten Gebäudes. Alle technischen Zielsetzungen sind nur dann von Relevanz, wenn sich die Bewohnerinnen und Bewohner durch die Erneuerungen nicht beeinträchtigt oder gestört fühlen. Daher muss das Behaglichkeitsgefühl der Bewohnerinnen und Bewohner beibehalten oder verbessert werden.

1.3 Problemstellung

Konventionelle thermische Sanierungen werden oftmals mittels Aufbringung eines Wärmedämmverbundsystems an der Außenwand (eines sogenannten Vollwärmeschutzes) durchgeführt. Die Dämmung des Dachbodens sowie der Kellerdecke und die Erneuerung der Fenster sind weitere Maßnahmen zur Senkung des Heizwärmebedarfs. Die Gebäudetechnik (Wärmeerzeugung, Wärmeabgabesystem, Warmwasserbereitung) wird meist nicht an das konventionelle Sanierungskonzept angepasst und entspricht somit häufig nicht den Anforderungen einer ganzheitlichen Sanierung. Die Sanierung eines Geschosswohnbaus ist komplex, da der Gebäudebestand und seine Technik stark variieren. Daher ist es schwierig, eine allgemein gültige Aussage über die bestehende Gebäudetechnik zu machen und entsprechende Sanierungskonzepte abzuleiten.

Meist wurden im Geschosswohnbau der 1960er Jahre Einzelöfen, Etagenheizungen oder Zentralheizungen eingebaut. Die Trinkwarmwasserbereitung wurde dabei häufig elektrisch mittels Durchlauferhitzer oder speicherintegriert durchgeführt.

Neben der Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Haustechnikelemente kommt bei Verwendung aktiver Fassadenelemente die Himmelsrichtung des Gebäudes

erschwerend hinzu. Speziell auf hohe solare Deckungsgrade hat die Orientierung des Gebäudes Einfluss. Oftmals wurden Geschosswohnbauten der 1960er Jahre, bedingt durch den Wohnungsgrundrisses Ost-West orientiert. Dadurch haben sowohl Bewohnerinnen und Bewohner der Ost-, als auch der Westwohnungen des Gebäudes direktes Sonnenlicht in den Wohnungen.

Es muss somit bei jeder Sanierung immer wieder ein neues Energieversorgungskonzept erstellt werden. Ein pauschaler Ansatz ist nicht zulässig. Außerdem kommen erschwerend rechtliche Rahmenbedingungen hinzu.

1.4 Methodik

Nach der Bestimmung eines repräsentativen Referenzgebäudes werden aufbauend auf gewonnenem Wissen Konzeptideen von haustechnischen Komponenten und deren Integrationsmöglichkeit in vorgefertigte Fassaden erarbeitet. Der Austausch mit Expertinnen und Experten soll zu einer ersten Validierung der Konzeptvorschläge beitragen, diese werden anschließend durch überschlagsmäßige Berechnungen hinsichtlich ihres Potentials quantitativ bewertet. Neben der quantitativen Beurteilung des energetischen Potentials durch rechnerische Nachweise der möglichen Lastabdeckung in den Konzeptideen soll eine qualitative Bewertung anhand von Bewertungstabellen durchgeführt werden. Die dazu notwendigen Bewertungskriterien werden in einem parallelen Prozess definiert und anschließend zur Anwendung gebracht.

Die Auswahl von zwei vielversprechenden Konzeptideen schließt den Arbeitsprozess dieser Masterarbeit.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden wichtige Grundlagen, welche für die spätere Konzeptfindung und -beurteilung von Bedeutung sind, erläutert. Möglichkeiten zur Raumwärme- und Trinkwarmwasserbereitung, Verteilung und Abgabe werden diskutiert. Der Fokus liegt klar auf Technologien erneuerbarer Energieträger. Aus diesem Grund wird auf eine detaillierte Vorstellung von konventionellen Heizungssystemen wie Gasthermen oder Ölkesseln verzichtet. Neben Möglichkeiten zur Wärmeerzeugung, etwa durch Wärmepumpen oder Solarthermie, werden Lüftungssysteme und deren Einsatzmöglichkeiten vorgestellt. Einen Überblick der gesetzlichen Rahmenbedingungen, wichtige Kennzahlen und Standards von Gebäuden sollen den Anfang dieses Kapitels bilden.

2.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen und energietechnische Kenngrößen

Im April 2007 trat in Österreich die OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) [6] in Kraft. Die Richtlinie gibt Rahmenbedingungen für Neubauten und Sanierungen von Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden vor. Das Ziel ist, die energetische Qualität des Gebäudebestandes zu heben und energetische Mindeststandards zu definieren. Im Zuge dessen werden Berechnungsmethoden entwickelt, die bei der energetischen Gesamtbewertung von Gebäuden zum Einsatz kommen. Die Details der Berechnungsmethode können dem OIB-Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“ entnommen werden. Der rechnerische Nachweis ist als sogenannter Energieausweis bekannt [6]. Zur Abschätzung des energetischen Potentials – der in dieser Arbeit entwickelten Konzeptideen – wurden die in der OIB-Richtlinie 6 festgelegten Standards als Ausgangsgrößen herangezogen. Kapitel 4 erläutert die verwendeten Standards im Detail.

2.1.1 Richtlinien und Gebäudestandards

Im Laufe der letzten Jahre hat sich der Begriff des Passivhausstandards im Bereich der Neubauten etabliert. Das Ziel ist die Reduktion des Heizenergiebedarfs auf einen durch das Passivhaus-Institut Darmstadt vorgegebenen Wert. Es handelt sich dabei um keine gesetzliche Vorschrift, sondern um eine Empfehlung. Eine Energieersparnis von 75% - 90% der benötigten Heizwärme gegenüber herkömmlichen Gebäuden kann durch die Einhaltung der vorgegebenen Richtlinien erreicht werden [7]. Grundsätzlich dürfen Gebäude mit Passivhausstandard folgende Größen nicht überschreiten:

- Heizwärmebedarf (HWB): max. 15 kWh/(m²a)
- Heizlast: max. 10 W/m²
- Primärenergie gesamt: max. 120 kWh/(m² a)
- Luftdichtheit: Drucktestluftwechsel n_{50}^2 max. 0,6 h⁻¹ [8]

Die Grenzwerte müssen anhand eines rechnerischen Nachweises mittels des Passivhaus-Projektierungspakets (PPHP), einem vom Passivhaus-Institut entwickelten Softwareprogramm, bestätigt werden.

Eine Sanierung auf Passivhausstandard im Geschosswohnbau ist wegen der großen Anzahl an sanierungsbedürftigen Objekten anzustreben. Forschungseinsatz und neue Wege der Bestandssanierung im Geschosswohnbau durch hochwärmegedämmte vorgefertigte Fassadenelemente ermöglichten erste Passivhausanierungen im Geschosswohnbau. Demoprojekte wie die „Passivhausanierung - Dieselweg“ in Graz zeigen im Vorher-Nachher-Vergleich eine Senkung des Heizwärmebedarfs von 225 kWh/(m²a) auf 9,6 kWh/(m²a) [9]. Laut OIB-Richtlinie 6 darf bei großen Renovierungen von Wohngebäuden der maximal zulässige jährliche Heizwärmebedarf von 87,5 kWh/(m²a) bezogen auf die Brutto-Grundfläche (BGF) bei einem Referenzklima nicht überschritten werden [6]. Sanierungen durch vorgefertigte und vorgehängte Fassadenelemente können die Anforderungen des Österreichischen Instituts für Bautechnik hinsichtlich des Heizwärmebedarfs weitaus unterbieten. Dies bestätigt die Sinnhaftigkeit neuer Ansätze der Bestandssanierung. Die Minimierung von Wärmeverlusten durch Wärmebrücken, Transmission oder Lüftung wirkt sich positiv auf den Heizwärmebedarf aus. Dabei sind Transmissionsverluste (Verlustleistung über die Gebäudehülle) und Lüftungsverluste am deutlichsten ausgeprägt [10, p. 482]. Entgegenwirkend kann die Dicke der Dämmschicht erhöht und ein Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung eingesetzt werden. Diese Maßnahmen zur Senkung des Heizwärmebedarfs auf Passivhausstandard sind meist unerlässlich. Neben der Wärmerückgewinnung müssen Lüftungsanlagen den hygienischen Mindestluftwechsel garantieren. Die sehr dichte Fassadenhülle erlaubt kaum Infiltration des Gebäudes. Darum müssen bei einer Sanierung mit vorgefertigten, sehr dichten Fassadenelementen Lüftungsanlagen installiert werden.

Die Luftqualität, die entscheidenden Einfluss auf die Behaglichkeit hat, wurde bereits im 19. Jahrhundert von Pettenkofer definiert und hat bis dato seine Gültigkeit. Die „Pettenkofer-Zahl“ bedient sich des CO₂-Gehalts als Maßstab für die gasförmige Luftverunreinigung. Laut Pettenkofer darf eine Raumluftkonzentration von 1000 ppm CO₂ nicht überschritten werden [10, pp. 71-72]. Die Standardmindestluftwechselraten n_{\min}^3 [h⁻¹] unterschiedlicher Räume soll Tabelle 2-1 zeigen [11, p. 14].

² Gemessen bei 50 Pascal Druckdifferenz zwischen innen und außen, gemittelt über Unter- und Überdruck und bei geschlossenen Ab- und Zuluftöffnungen [6]

³ Mindestluftwechselzahl einzelner Räume (hygienischer Mindestluftwechselvolumenstrom); für natürliche Belüftung [11, p. 14]

Tabelle 2-1: Standardisierte Mindestluftwechselraten [10, p. 973]

Raumarten	Mindestluftwechsel $n_{\min} [h^{-1}]$
Bewohnbarer Raum (Standardfall)	0,5
Büroraum, Küche $\leq 20 m^3$	1,0
WC oder Badezimmer mit Fenster	1,5
Besprechungsraum, Schulzimmer	2,0

Ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung bei der Sanierung großer Wohngebäude vorgesehen, so reduziert sich der maximal zulässige Heizwärmebedarf um $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ auf maximal $79,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ [6, p. 4].

Laut OIB-Richtlinie 6 muss nicht nur der Heizbetrieb gewährleistet sein, auch ein „sommerlicher Überwärmungsschutz“ muss bei der Planung bedacht werden. Im Wohnbereich ist aus energetischer Sicht von einer „aktiven Kühlung“ mittels Klimageräten abzusehen.

Neben der Deckung des Heizwärmebedarfs ist die Bereitstellung von Trinkwarmwasser wesentlich. Im Gegensatz zur Heizung muss die Warmwasserbereitung ganzjährig bereitgestellt werden und hat somit großen Einfluss auf den Endenergiebedarf eines Gebäudes. Soll eine solarunterstützte zentrale Warmwasserbereitung in einem Mehrparteienhaus installiert werden, so muss wegen der Gefahr der Legionellenbildung auf die Einhaltung bestimmter Wasserhygienevorschriften geachtet werden.

„Legionellen sind im Wasser lebende, stäbchenförmige, gramnegative Bakterien mit Geißeln, die sie beweglich machen. Von den 2-10 μm langen und 0,2 - 0,9 μm dicken Legionellen gibt es 48 Arten, wobei etwa 19 als Krankheitserreger für den Menschen bestimmt wurden.“ [12]

Ausgehend von der Infektionsgefahr wurde 2007 die ÖNORM B 5019 „Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Wartung, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen“ definiert. Durch die Erhitzung des Wassers auf 60°C - 65°C , werden Legionellen durch thermische Desinfektion abgetötet und die Gefahr der Infektion gebannt [10, p. 9]. Zentrale Trinkwarmwasserbereitung, wie sie im Geschosswohnbau vorkommt, unterliegt dieser Norm. Sie hat Auswirkung auf die solarunterstützte Trinkwassererwärmung bezüglich der Planung, Ausführung und des Betriebs (mindestens 60°C beim Eintritt in das Warmwasserverteilsystem sind gefordert). Die dezentrale Trinkwarmwassererwärmung mittels Wohnungsstation, also die Erwärmung des Trinkwarmwassers in der Wohnung im Durchflussprinzip, ist von dieser Norm nicht betroffen [13].

Neben den energetischen Anforderungen an die Gebäudehülle, Warmwasserbereitung und Hygiene, müssen auch „Mechanische Festigkeit und Standsicherheit“ (OIB-Richtlinie 1), „Brandschutzmaßnahmen“ (OIB-Richtlinie 2), „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ (OIB-Richtlinie 3), „Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit“ (OIB-Richtlinie 4) sowie „Schallschutz“ (OIB-Richtlinie 5) bei einer Sanierung bedacht und gewährleistet werden.

2.1.2 Energetische Kennzahlen

Im Folgenden werden wichtige Kennzahlen, welche zur Beurteilung des thermischen Standards eines Gebäudes herangezogen werden, erläutert. Anhand dieser Kennzahlen können Gebäudestandards leichter und besser verglichen werden.

Die Kennzahlen der OIB-Richtlinie 6 werden, wie bereits erwähnt, als Berechnungsgrundlage für den Energieausweis herangezogen. Als Bezugsmaß wird 1 m² konditionierte Brutto-Grundfläche – in Abhängigkeit der Gebäudegeometrie und bezogen auf ein Standortklima (SK) – verwendet.

Zur graphischen Vergleichbarkeit der Gebäudestandards werden Energieeffizienzskalen eingesetzt. Sie bestehen aus 12 Kategorien, wobei Kategorie 1 (Klasse A++) eine Anforderung an den Heizwärmebedarf von max. 10 kWh/(m²a) hat und in Kategorie 12 (Klasse G) der Heizwärmebedarf größer als 250 kWh/(m²a) ist.

Endenergiebedarf:

„Der Endenergiebedarf (EEB) [kWh/(m² a)] ist der jährliche Energiebedarf unter Anwendung des gebäudespezifischen Nutzungsprofils pro m² konditionierte Brutto - Grundfläche (spezifisch) und je Zone (zonenbezogen)“. [6]

Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, welche von außen zugeführt und zur Raumwärme- und Warmwasserbereitung – unter Berücksichtigung der Verluste – benötigt wird. Die Endenergie inkludiert den Betrieb der Anlagentechnik (Pumpen, Regelung, etc.) und stellt somit die gesamte benötigte Energiemenge dar [10, p. 1912]. Für Wohngebäude berechnet sich der Endenergiebedarf, laut OIB-Richtlinie 6, folgendermaßen:

$$EEB = HWB + WWWB + f_{HT} * HTEB + HHSB \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] \quad (\text{Gl. 2-1})$$

EEB..... spez. Endenergiebedarf

WWWB.. Warmwasserwärmebedarf für gebäudespezifisches Nutzungsprofil

f_{HT} Faktor Heiztechnikendenergiebedarf einer Referenzausstattung: 1,05

HTEB.... spez. Heiztechnik – Endenergiebedarf einer Referenzausstattung

HHSB... Haushaltsstrombedarf

Heizwärmebedarf:

„Der Heizwärmebedarf (HWB) [kWh/m² a] ist der jährliche Bedarf an Heizwärme unter Anwendung des gebäude-spezifischen Nutzungsprofils pro m² konditionierte Brutto-Grundfläche (spezifisch) und je Zone (zonenbezogen)“. [6]

Der Heizwärmebedarf ist jene Wärmemenge, welche durch das Heizungsabgabesystem dem Raum oder Gebäude zur Verfügung gestellt werden muss, um die Norm-Innenraumtemperatur von 20°C zu halten. Der spezifische HWB wird als Vergleichsgröße der Qualität der Gebäudehülle herangezogen. Seine Größe wird durch Transmissions- und Lüftungsverluste, aber auch durch solare oder interne Wärmegewinne beeinflusst. [10, p. 1912] Bei aktuellen Wohngebäuden hat der Heizwärmebedarf in etwa einen Anteil von 20% bis 40% des Endenergiebedarfs [14, p. 9].

Heiztechnikendenergiebedarf:

„Der Heiztechnikendenergiebedarf (HTEB) [kWh/m²a] ist der jährliche Bedarf an Heiztechnikendenergie unter Anwendung des gebäude-spezifischen Nutzungsprofils pro m² konditionierte Brutto-Grundfläche“. [6]

Der Heiztechnikendenergiebedarf entspricht dem Energiebedarf zur Deckung der Verluste, welche bei der Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Abgabe von Warmwasser (HTEB_{WW}) und Raumheizung (HTEB_{RH}) entstehen. [15]

Warmwasserwärmebedarf:

„Der Warmwasserwärmebedarf (WWWB) [kWh/m²a] ist der jährliche Bedarf an Warmwasser unter Anwendung des gebäudespezifischen Nutzungsprofils pro m² konditionierter Brutto – Grundfläche (spezifisch) und je Zone (zonenbezogen)“. [6]

Der Warmwasserwärmebedarf ist jene Energiemenge, welche zur Warmwasserbereitstellung benötigt wird. Verluste der Energieumwandlung und Verteilung sind im Warmwasserwärmebedarf nicht enthalten. [15]

Primärenergiebedarf:

Der Primärenergiebedarf (PEB) [kWh/m²a] entspricht jener Energiemenge, die zur Deckung des Endenergiebedarfs – unter Berücksichtigung aller vorgelagerten Prozessketten (Gewinnung, Verteilung, Umwandlung) – notwendig sind. Er wird oftmals zur Beurteilung ökologischer Kriterien wie etwa CO₂-Emissionen herangezogen. [10] Abbildung 2-1 veranschaulicht die Systemgrenzen von Primärenergie und Endenergie.

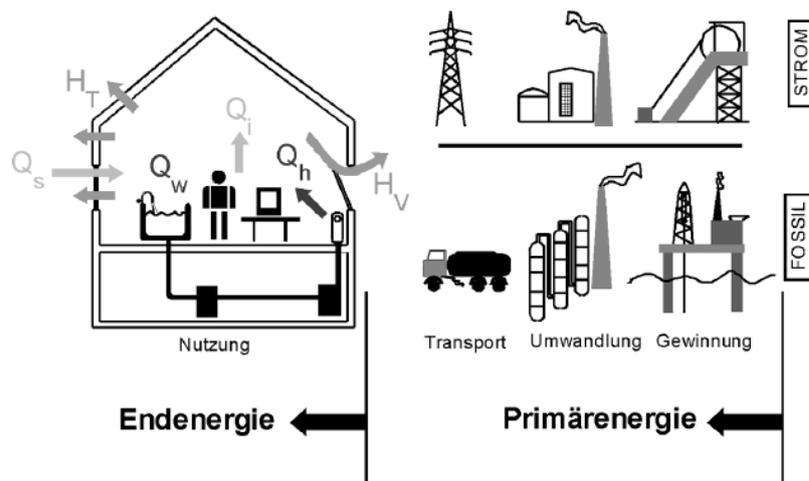


Abbildung 2-1: Systemgrenze Primärenergie und Endenergie [10]

Heizlast:

Die Heizlast [W] kann in zwei Kategorien unterteilt werden. Zum einen in eine raumweise Betrachtung (Raumheizlast), zum anderen in eine Gesamtgebäudebetrachtung

(Gebäudeheizlast). Sie ist jener Wärmestrom, welcher bei Norm-Witterungsbedingungen zur Beibehaltung der Sollbedingungen (Norm-Innentemperatur) erforderlich ist [10] [11]. Innere Gebäudelasten fließen in die Berechnung nicht ein.

- **Norm - Raumheizlast**

Die Norm-Heizlast bei raumweiser Betrachtung setzt sich aus Norm-Transmissionswärmeverlusten, Norm-Lüftungswärmeverlusten und zusätzlicher Aufheizleistung zusammen. Als zusätzliche Aufheizleistung wird jene Leistung verstanden, welche bei unterbrochenem Heizbetrieb zum Ausgleich benötigt wird [10] [16].

Folgende Gleichung wird zur Berechnung der Heizlast herangezogen:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} (+\Phi_{RH,i}) \quad [W] \quad (Gl. 2-2)$$

$\Phi_{HL,i}$.. Norm-Raumheizlast [W]

$\Phi_{T,i}$... Transmissionswärmeverlust des beheizten Raumes innen [W]

$\Phi_{V,i}$... Lüftungsverluste des beheizten Raumes innen [W]

$\Phi_{RH,i}$.. Zusätzliche Aufheizleistung [W]

Werden keine zusätzlichen Aufheizlasten Φ_{RH} benötigt, so vereinfacht sich (Gl. 2-2) zur Netto-Heizlast.

- **Norm - Gebäudeheizlast**

Im Gegensatz zur Norm-Raumheizlast werden bei der Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast die Wärmeströme der Räume untereinander vernachlässigt. Es werden lediglich die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste der Räume an die Umgebung berücksichtigt. Diese wird wie folgt berechnet [10] [16]:

$$\Phi_{HL} = \Sigma\Phi_{T,i} + \Sigma\Phi_{V,i} (+\Sigma\Phi_{RH,i}) \quad [W] \quad (Gl. 2-3)$$

Φ_{HL} .. Norm-Gebäudeheizlast [W]

Die berechnete Heizlast bildet die Grundlage der Dimensionierung der Wärmeerzeugung, -verteilung und des Wärmeabgabesystems der beheizten Räume [11, p. 19].

Heizgradtag (HGT) bzw. Gradtagszahl:

Der Einfluss der Witterung auf den Energieverbrauch kann durch die Definition der Heizgradtage bzw. Gradtagszahl beurteilt werden. Als Gradtagszahl versteht man die Temperaturdifferenz zwischen einer konstant angenommenen Rauminnentemperatur, z.B. 20°C, und dem Tagesmittel der Außentemperatur, falls diese gleich oder unter der Heizgrenztemperatur (in Österreich 12°C) liegt. Die Summe aller Heizgradtage über einen bestimmten Zeitraum wird Heizgradsumme genannt [17, p. 29]. (Gl. 2-4) zeigt die Berechnung der Heizgradsumme.

$$HGT_{20/12} = \sum_1^z (20 - t_{ma}) \quad [\text{Kd}] \quad (\text{Gl. 2-4})$$

$HGT_{20/12}$...Heizgradtage für Heizgrenze 12°C
 t_{ma}mittlere Außentemperatur des Heiztages

2.1.3 Richtlinien zur Bauteildimensionierung

In der OIB-Richtlinie 6 werden neben den energietechnischen Maximalwerten auch Anforderungen hinsichtlich der Bauteildimensionierung definiert. Bei einer Erneuerung von Gebäudebauteilen, wie es bei der Sanierung mittels vorgefertigter Fassadenelemente der Fall ist, dürfen folgende Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) nicht überschritten werden. Nachfolgend werden einige, für diese Arbeit wichtige, Minimalanforderungen des U-Wertes gezeigt. Die Werte aus Tabelle 2-2 wurden der OIB-Richtlinie 6 entnommen.

Tabelle 2-2: Anforderung an wärmeübertragende Bauteile [6]

Bauteil	U-Werte [W/(m²K)]
WÄNDE gegen Außenluft	0,35
WÄNDE gegen unbeheizte oder nicht ausgebauten Dachräume	0,35
DECKEN gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40
DECKEN gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0,90

2.2 Raumwärme- und Trinkwarmwassererzeugung bzw. -bereitstellung

Es macht Sinn, die Raumwärme- und Trinkwarmwassererzeugung gemeinsam zu betrachten, da oftmals eine Koppelung dieser Systeme vorliegt. Eine hohe Bereitschaft der technischen Komponenten ist ebenso wesentlich wie die Zuverlässigkeit des Systems. Die Bereitstellung und Konditionierung der Raumwärme hat Einfluss auf das Behaglichkeits- und Wohlfühl bei Menschen. Genauso wichtig ist die Bereitstellung der benötigten Trinkwarmwassermengen.

In diesem Kapitel erfolgt eine Diskussion über Raumwärme- und Trinkwarmwassererzeugung. Unterschiedlicher Bedarf und Möglichkeiten zur Wärmeerzeugung mit Fokus auf erneuerbaren Energieträgern werden vorgestellt. Weiters werden Speichersysteme, Wärmerückgewinnungspotentiale und Luftheizungssysteme erörtert. Ziel ist, einen breiten Überblick über verfügbare Technologien zu bekommen, um das erlangte Wissen in die folgenden Konzeptkreationen einfließen zu lassen.

2.2.1 Bedarfsabschätzung und Grundlagen

Die Raumwärme- und Trinkwarmwasserbereitstellung, die über eine große Bandbreite an unterschiedlichen Erzeugungs-, Verteilungs- und Speicherungsmöglichkeiten verfügt, werden nachfolgend erläutert. Zunächst werden statistische Bedarfsabschätzungen des Warmwasserbedarfs aufgezeigt.

Warmwasserbedarf

Jeder Mensch hat einen unterschiedlichen Warmwasserbedarf. Trotzdem lassen sich allgemein gültige Tendenzen ableiten. Die Abschätzung des benötigten Warmwasserbedarfs bildet die Grundlage zur Dimensionierung der Warmwasserbereitungsanlage. Anhand sogenannter messtechnisch aufgenommener Warmwasserzapfprofile können Bedarfsanalysen durchgeführt werden. Je nach Anforderung unterscheidet sich der Tagesbedarf an benötigtem Warmwasser deutlich. Anforderungen können vom Alter, dem Lebensstandard, aber auch von der Jahreszeit abhängig sein. Grob kann der Bedarf mit 30 bis 60 Litern pro Tag und Person, bei Temperaturen zwischen 40°C bis 60°C, angegeben werden [10, p. 1728]. Die untere Tabelle zeigt Aufschlüsselungen des Bedarfs an Warmwasser, je nach Anforderung.

Tabelle 2-3: Warmwasserbedarf bei unterschiedlichen Temperaturen [16]

	Warmwasserbedarf [Liter/(Tag,Person)] Bei Warmwassertemperaturen	
	60°C	45°C
Wohnungen		
• Niedriger Bedarf	10 – 20	15 – 30
• Mittlerer Bedarf	20 – 40	30 – 60
• Hoher Bedarf	40 – 80	60 – 120

Neben einer Analyse des Trinkwarmwasserbedarfs ist zur überschlägigen Auslegung des Warmwassersystems die Anzahl der durchschnittlichen Bewohnerinnen und Bewohner pro Wohnung von Bedeutung. Erst dann kann eine Aussage über die absolut benötigte Menge an Warmwasser pro Wohnung und der benötigten Leistung gemacht werden.

Um eine Aussage der österreichischen Wohnungsbelegung machen zu können, wurden in erster Näherung statistische Größen herangezogen. Laut Statistik Austria lebten 2011 8.388.534 Mio. Menschen in Österreich [18], davon 4.441.408 Menschen in Wohnungen [19]. Dadurch ergibt sich eine durchschnittliche österreichische Wohnungsbelegung von etwa 1,9 Personen pro Haushalt.

Recknagel [10] definiert für die Berechnung des Warmwasserbedarfs eine statistische Einheitswohnung mit 4 Räumen und einer Belegung von 3,5 Personen [10, p. 1734]. Durch Untersuchungen, welche die AEE INTEC im Zuge des Leitprojektes „e80³ - Gebäude“ durchgeführt hat, konnte eine durchschnittliche Personenbelegung im Geschosswohnbau von etwa 2,4 Personen pro Wohnung ermittelt werden.

Neben den doch stark unterschiedlichen Ansätzen der Wohnungsbelegung wählt der Energieausweis (siehe 2.1) zur Berechnung des Warmwasserbedarfs einen pauschalen Ansatz. Er definiert 12,8 kWh/(m²a). Diese Annahme bildet jedoch eher das untere Limit des Bedarfs [14].

Auch das Prinzip der Warmwassererzeugung hat Einfluss auf die Dimensionierung des Systems. So werden zur Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip große Leistungen aufgrund der kurzen Aufheizzeit benötigt. Kommen Speicher zum Einsatz, so können diese mit

geringen Leistungen auf die gewünschte Temperatur gebracht werden [20, pp. 50-51]. Anschließend kann das Warmwasser gezapft werden. Abbildung 2-2 zeigt den Unterschied zwischen der Bereitung im Durchflussprinzip und unter Einsatz von Speichern.

Es ist deutlich erkennbar, dass die zu installierende Leistung je nach Warmwassererzeugungssystem stark variiert.

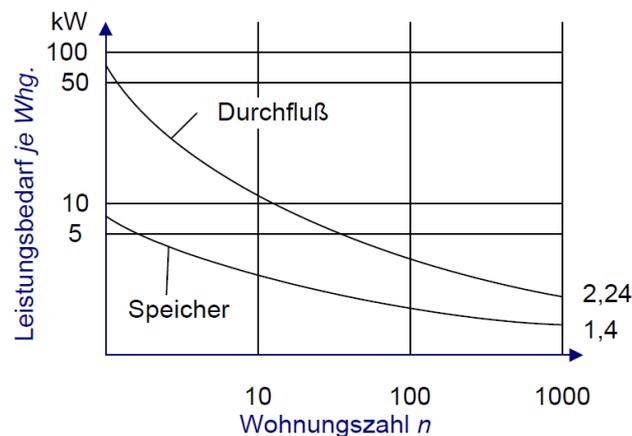


Abbildung 2-2: Leistungsbedarf der Warmwassererzeugung [16]

Im Geschosswohnbau der 1960er Jahre wurden oftmals dezentrale Durchlauferhitzer zur Warmwasserbereitung eingesetzt. Heutige Warmwasserbereitungssysteme sind meist mit der Heizungsanlage gekoppelt und werden mit Speichern installiert.

Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung

Wärmeerzeugungsanlagen können in mehrere Kategorien gegliedert werden. Zum einen in Systeme zentraler Umwandlung (wohnungswise bzw. gebäudeweise) und zum anderen in Systeme dezentraler Umwandlung (Einzelraumheizung). Die Wärmebereitstellung kann also für das gesamte Gebäude, für die gesamte Wohnung oder nur für einen Raum erfolgen. Im Geschosswohnbau der 60er Jahre waren Einzelraumheizungen, wie Kaminöfen oder Nachtspeicheröfen, weit verbreitet. Oftmals wurden sie jedoch durch modernere Öl- bzw. Gasheizanlagen ersetzt. Im Allgemeinen gibt es eine große Bandbreite an möglichen Wärmeerzeugern. Neben den bereits erwähnten konventionellen Öl- oder Gasanlagen können holzbefeuerte Kessel ebenso wie Solarheizungen, Wärmepumpen oder Fernwärme zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Der Wärmetransport vom Wärmeerzeuger zur Wärmeabgabefläche im Raum basiert bei genannten Systemen auf dem Wärmeträgermedium Wasser. Wasser hat eine hohe spezifische Wärmekapazität (c_p) und im Vergleich zu Luft eine hohe Dichte, deshalb können Rohrleitungen mit kleinem Durchmesser für den Transport installiert werden.

Wärmeverteilung

Die Verteilung des Wärmeträgermediums in Mehrparteienhäusern ist für ein Heizungssystem essentiell. Es müssen die Leitungslängen hinsichtlich Leitungsverlusten und Wärmeverlusten möglichst kurz gehalten werden, wodurch ein durchdachtes Gesamtkonzept notwendig ist. Es gibt unterschiedliche Ausführungen. Nachfolgend werden für die Verwendung im

Geschosswohnbau die geeignetsten vorgestellt. Prinzipiell unterscheiden sich Verteilkonzepte bezüglich der Art der Warmwassererwärmung (zentral, dezentral, Temperaturniveau) und der Anzahl der verwendeten Leitungsstränge (Zwei-Leiter-, Drei-Leiter-, Vier-Leiter-Netz). [21] Nachfolgend werden die Verteilmöglichkeiten aufgezeigt.

- **Zwei-Leiter-Netz**

Als Zwei-Leiter-Netz versteht man ein Verteilsystem, bei welchem die Brauchwassererwärmung und Raumwärmeversorgung über zwei Leitungsstränge erfolgt. Ein wesentlicher Vorteil des Zwei-Leiter-Netzes ist die dezentrale Brauchwassererwärmung in den Wohnungen. Dies setzt jedoch ein annähernd gleiches Temperaturversorgungsniveau für Raumwärmeversorgung und Brauchwasserbereitung voraus. Wie Abbildung 2-3 zeigt, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten zur Eingliederung eines Zwei-Leiter-Netzes in ein Heizungssystem. Das Wärmetransportmedium ist meist Heizungswasser, welches die Wärme mit Hilfe von Wärmetauschern an das Trinkwarmwasser abgibt [21, pp. 105-106]. Durch die dezentrale Trinkwarmwasserbereitung ist das Zwei-Leiter-System betreffend der Wasserhygiene unbedenklich. Neben der Verwendung von Speichern (Variante 1 und Variante 2) kann die Brauchwarmwasserbereitung auch mittels Wohnungsstation erfolgen (Variante 3).

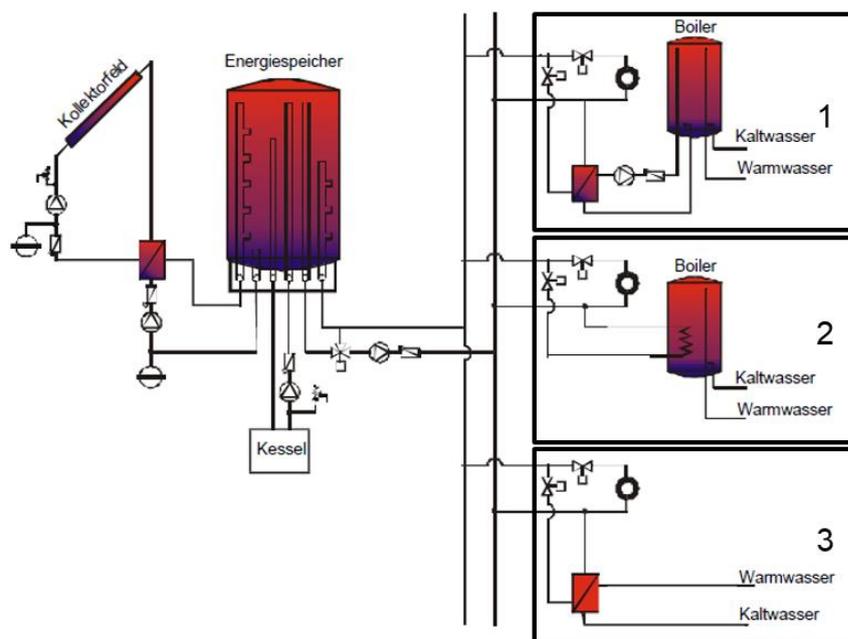


Abbildung 2-3: Zwei-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher und dezentraler Brauchwasserbereitung [21]

Weicht die benötigte Versorgungstemperatur von Raumheizung und Brauchwarmwasser ab, wie dies beispielsweise bei Niedertemperaturheizungen oder bei Schwachlastzeiten der Raumwärmeversorgung der Fall ist, so kann in dieser Zeit ein dezentraler Brauchwasserspeicher geladen werden [21, p. 106].

Die Raumwärmeversorgung ist etwa 22 bis 23 Stunden pro Tag gewährleistet. In der verbleibenden Zeit wird der Brauchwarmwasserspeicher beladen. Ein Speichervolumen von

etwa 150 bis 200 Liter deckt den Tagesbedarf an Brauchwarmwasser für eine Wohnung [22, pp. 58-59].

Die Rücklauftemperaturen in Zwei-Leiter-Netzen sind relativ tief (etwa 30°C), weshalb sich die Wärmeverluste der Rohrleitungen auf die Vorlaufleitungen reduzieren [23, p. 4].

Prinzipiell lassen sich durch die Verwendung von Zwei-Leiter-Netzen wesentliche Vorteile ableiten. Besonders für erneuerbare Energien, etwa "Solarunterstützte Wärmenetze", hat die niedrige Rücklauftemperatur Auswirkungen auf den Systemwirkungsgrad. Der Einsatz von Zwei-Leiter-Netzen ist sowohl für den Neubau als auch für die Sanierung von Vorteil. [22]

Wohnungsstationen ermöglichen eine kompakte, zentral angeordnete Wohnungsübergabe unterschiedlicher Energieströme und Temperaturniveaus. Es wird das Warmwasser auf benötigte Temperaturen gemischt und das Heizungssystem mit passender Vorlauftemperatur gespeist. Abbildung 2-4 zeigt eine typische Wohnungsstation (links) und ein Prinzipschema (rechts).

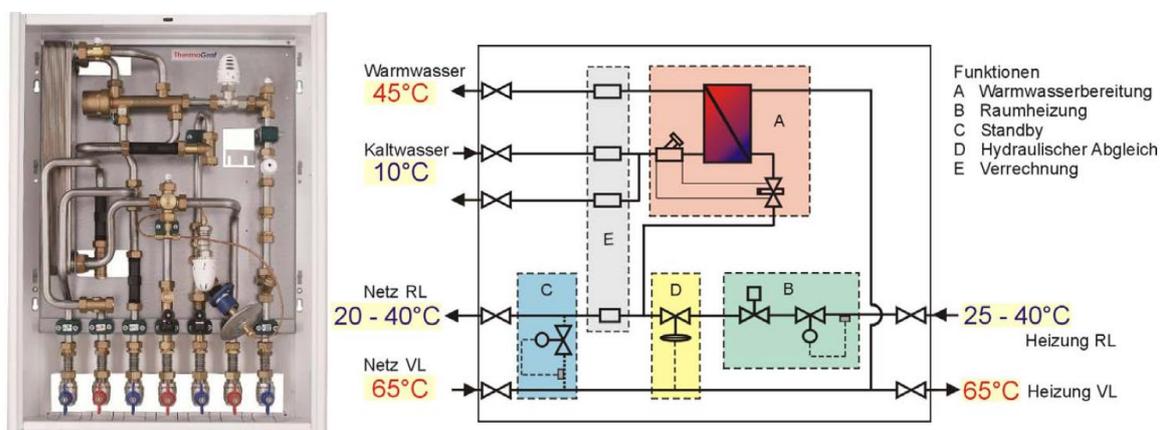


Abbildung 2-4: Wohnungsstation (links), Prinzipschema ein Wohnungsstation (rechts) [23]

Der wesentliche Vorteil von Zwei-Leiter-Netzen ist die verlustarme Leitungsführung gegenüber Drei-Leiter- oder Vier-Leiter-Netzen. Aus diesem Grund werden in der Konzeptfindung Zwei-Leiter-Netze bevorzugt. Zur Vollständigkeit soll das Drei-Leiter und Vier-Leiter-Netz als Alternative gezeigt werden.

- **Drei-Leiter-Netz**

Das Drei-Leiter-Netz verwendet zur Raumwärme und Trinkwarmwassererwärmung drei Leitungsstränge, wie Abbildung 2-5 zeigt. Die Warmwassererzeugung erfolgt dezentral in den Wohnungen und ist wie das Zwei-Leiter-System bezüglich geforderter Wasserhygiene unbedenklich. Abhängig vom Einsatz des Systems wird eine gemeinsame Vorlaufleitung oder eine gemeinsame Rücklaufleitung gewählt. Unterer Fall besteht aus einer gemeinsamen Vorlaufleitung und zwei getrennten Rücklaufleitungen. Das Wärmeträgermedium in den Verteilsträngen ist Heizungswasser [21, p. 105].

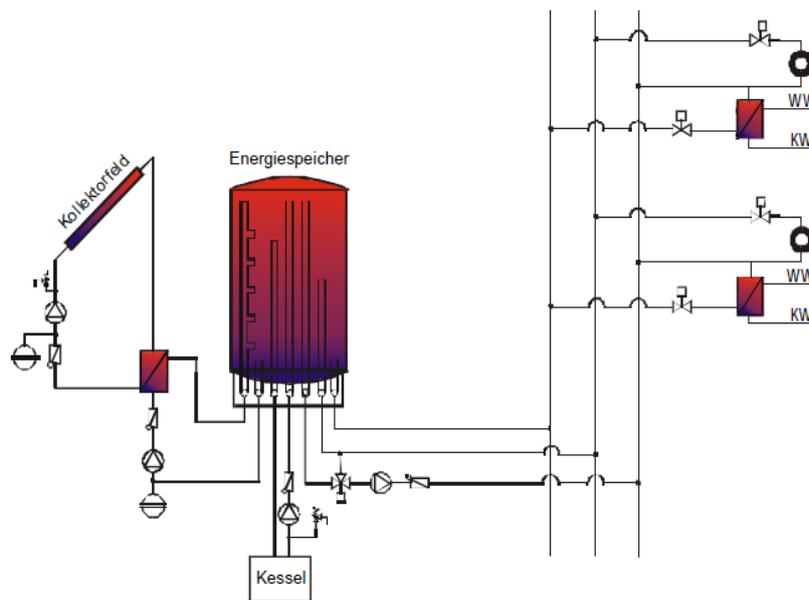


Abbildung 2-5: Drei-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher und dezentraler Warmwasserbereitung [21, p. 105]

Drei-Leiter-Netze sind überall dort sinnvoll, wo große Temperaturunterschiede der Versorgungstemperaturen – Brauchwarmwasser, Raumheizung – notwendig sind. Im Allgemeinen fallen aufgrund des dritten Leitungsstrangs höhere Investitionskosten an [21, p. 105].

- **Vier-Leiter-Netz**

Das Vier-Leiter-Netz verwendet zur Raumwärme- und Trinkwarmwasserbereitung vier Leitungsstränge. Es werden die Systeme Raumwärmebereitung und Trinkwarmwasserbereitung getrennt, wodurch zwei Stränge zur Raumwärme- und zwei Stränge zur Warmwasserbereitung herangezogen werden, siehe Abbildung 2-6. Oftmals sind trinkwasserführende Stränge zur Warmwasserverteilung eingesetzt, wodurch bei zentraler Erwärmung die ÖNORM B 5019 zum Tragen kommt. Dies wirkt sich negativ auf die Leistungsfähigkeit einer eingebundenen Solaranlage (begrenzt kaltes Temperaturniveau für Solaranlage) aus. [21]

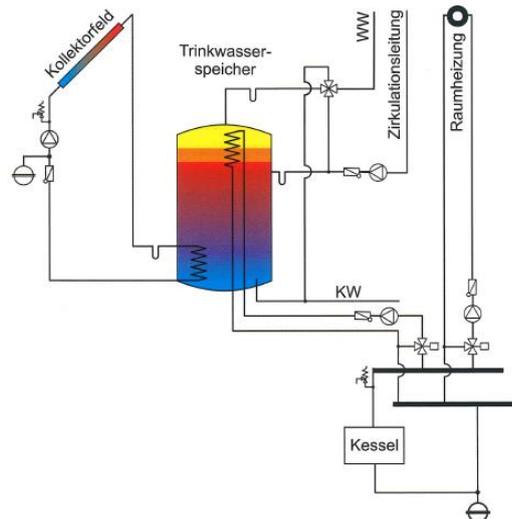


Abbildung 2-6: Vier-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher [22]

Das Verteilnetz wird anhand der Zirkulationsleitungen ständig auf Temperatur gehalten, dadurch entstehen teils große Energieverluste. Diese Wärmeverluste stellen den größten Nachteil des Vier-Leiter-Netzes dar. Als vorteilhaft kann der Wegfall des dezentralen Wohnungsspeichers erwähnt werden [21].

Alternativ zu wassergeführten Heizsystemen können Luftheizregister installiert werden. Luftheizungen sind im Wohnbau bis dato aber eher unüblich, da bei schlecht gedämmten Gebäuden die benötigte Heizleistung über die Luft schwer zugeführt werden kann. Einerseits bedingt durch die Stoffeigenschaften von Luft (geringe Dichte und niedriges c_p), andererseits aus Behaglichkeitsgründen. Es darf die zugeführte Luft eine Temperatur von 55°C (Verschmelzung des Staubes) und eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von $0,15 - 0,024 \text{ m/s}$ nicht überschreiten [24].

Abbildung 2-7 zeigt Möglichkeiten von zentraler und dezentraler Wärmeerzeugung und Verteilung im Gebäude von wassergeführten Systemen.

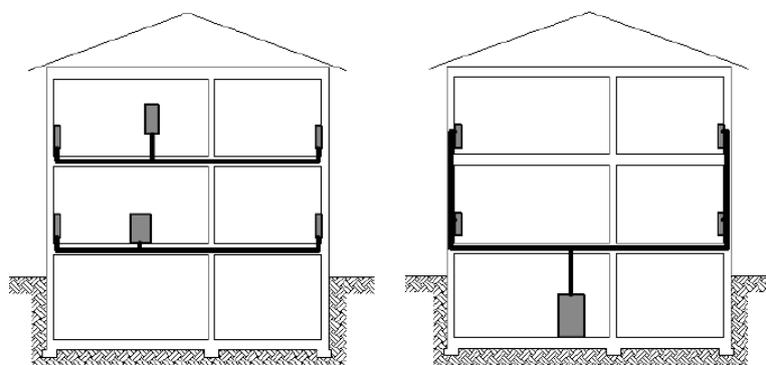


Abbildung 2-7: Mögliche Heizungssysteme [16]

Neben diesen klassischen Verteilssystemen werden in der Konzeptfindung dieser Arbeit auch semizentrale Systemansätze betrachtet. Die Verwendung von sogenannten „HVAC-Points“,

(Systemanbindungspunkten für Heizung, Lüftung und Kühlung zentral für ein Stockwerk), haben hinsichtlich leichter bzw. allgemeiner Zugänglichkeit (Wartung) Potential.

Wärmeabgabesysteme

Wärmeabgabesysteme können unterschiedlich ausgeführt werden. Prinzipiell werden Systeme in konvektive bzw. strahlende Systeme unterschieden. In konvektiven Systemen, wie in Abbildung 2-8 links dargestellt, wird die Raumluft durch den Konvektor erwärmt und die warme Luft anschließend dem Raum zurückgegeben. Strahlende Systeme, wie in Abbildung 2-8 rechts dargestellt, setzen sich sowohl aus einem konvektiven als auch einem strahlenden Anteil zusammen.

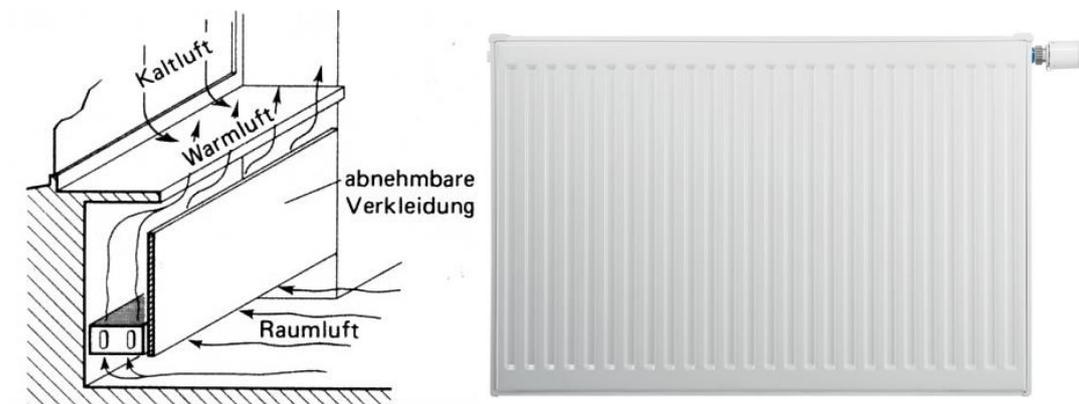


Abbildung 2-8: Konvektor (links), Plattenheizkörper (rechts) [25]

Die Wahl der Heizflächen sollte mit dem Wärmeerzeugungssystem abgestimmt sein und harmonisieren. Speziell Niedertemperaturheizungen benötigen große Wärmeabgabeflächen, um die notwendige Heizleistung an den Raum abgeben zu können. Solar- oder Wärmepumpenheizungen, welche bei niedrigem Temperaturniveau arbeiten, werden oftmals mit Fußboden- oder Wandheizungen kombiniert (große Flächen). Typische optimale Vorlauftemperaturen dieser Heizsysteme betragen 30°C bis 40°C. Sie geben ihre Wärme überwiegend durch Strahlung an den Raum ab [14] [26].

Abbildung 2-9 zeigt eine großflächig verlegte Fußbodenheizung.



Abbildung 2-9: Großflächig verlegte Fußbodenheizung [26]

Im Vergleich zu Fußboden- oder Wandheizung, bei welchen die Wärmeabgabeflächen weitestgehend unbedeckt bleiben müssen, können Deckenheizungen punkten. Meist bleibt die Decke frei und kann daher in der Regel vollständig genutzt werden [24, p. 122].

2.2.2 Behaglichkeit

Da sich der Mensch viel Zeit seines Lebens in geschlossenen Räumen aufhält, ist das Raumklima von besonderer Bedeutung. Der Einfluss von Raumtemperatur, Luftfeuchte oder Luftbewegung auf die Behaglichkeit soll anschließend erörtert werden.

„Die Raumtemperatur wird dann als angenehm empfunden, wenn der menschliche Körper durch Wärmestrahlung und Konvektion gerade soviel Wärme an die Umgebung abgeben kann, wie er je nach Tätigkeit produziert.“ [27, p. 29]

Wie Abbildung 2-10 veranschaulicht, kann die thermische Behaglichkeit in drei Teilbereiche gegliedert werden. Neben räumlichen und raumluftechnischen Faktoren, wie Wandoberflächentemperaturen, Lufttemperaturen oder Luftfeuchte, spielen persönliche Faktoren eine Rolle. Sowohl die Bekleidung als auch die Tätigkeit oder die Aufenthaltsdauer beeinflussen das Wohlbefinden.

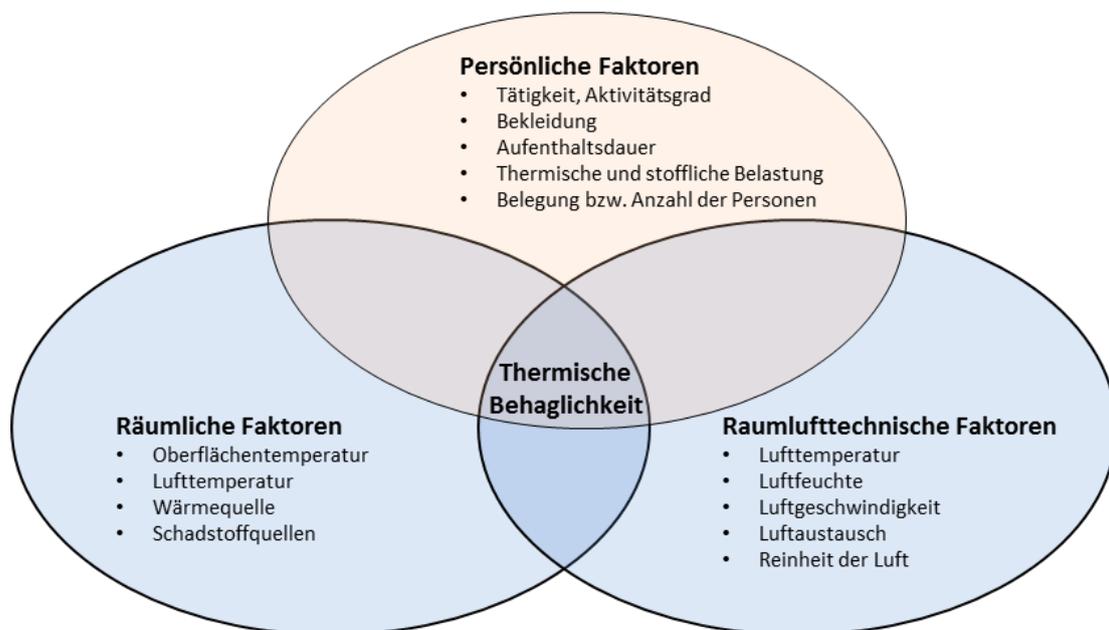


Abbildung 2-10: Einflussfaktoren auf die „Thermische Behaglichkeit“ [16]

Bereits in der Konzeptfindungsphase dieser Arbeit wurde die „Thermische Behaglichkeit“ als eine zentrale Anforderung definiert. Sanierungen machen nur dann Sinn, wenn die Bedürfnisse der betroffenen Bewohnerinnen und Bewohner weitestgehend befriedigt werden. Da die thermische Behaglichkeit ein wesentlicher Bestandteil der Heizungs-, Lüftungs-, und Klimatechnik ist, gibt es Studien über Behaglichkeitszonen für Menschen. Es wurde z.B. der Einfluss der mittleren Lufttemperatur t_L und der mittleren Wandtemperatur t_W auf die Behaglichkeit untersucht. Abbildung 2-11 zeigt den Einfluss der Temperaturen und stellt die „Zone der Behaglichkeit“ dar.

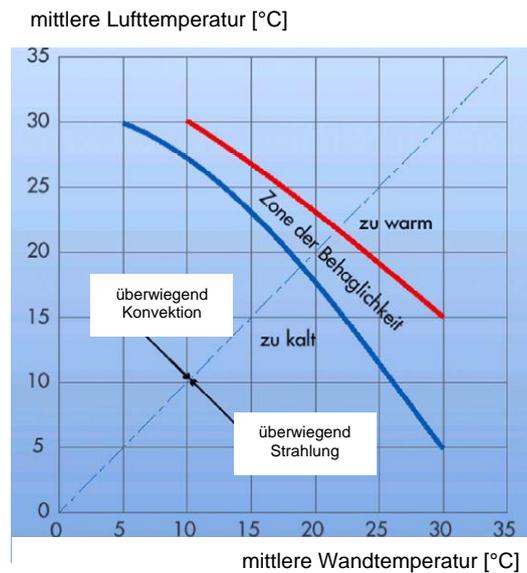


Abbildung 2-11: Operative Raumtemperatur (links) Einflussfaktoren zur thermischen Behaglichkeit (rechts) [16]

Die mittlere Lufttemperatur und mittlere Wandtemperatur müssen so harmonisieren, dass sich eine optimale operative Raumtemperatur (empfundene Raumtemperatur) einstellt. Wohnräume werden bei einer mittleren Lufttemperatur von 20°C und mittleren Wandtemperatur von etwa 17°C-18°C in der Regel als behaglich empfunden [27, p. 29]. Ist die mittlere Wandtemperatur geringer, beispielsweise etwa 15°C, so muss die mittlere Lufttemperatur etwa 25°C haben, um ein behagliches Raumklima garantieren zu können.

Berechnen lässt sich die empfundene effektive Raumtemperatur anhand der Wärmeübergangszahlen für Konvektion α_K und Strahlung α_S .

$$t_e = \frac{\alpha_K t_L + \alpha_S t_W}{\alpha_K + \alpha_S} \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{Gl. 2-5})$$

α_K ... Wärmeübergangskoeffizient (Konvektiv) [W/(m²K)]
 α_S ... Wärmeübergangskoeffizient (Strahlung) [W/(m²K)]
 t_e ... effektive Raumtemperatur [°C]
 t_L ... mittlere Lufttemperatur [°C]
 t_W ... mittlere Wandtemperatur [°C]

Sind die Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen eher kühl, können fallende Luftströme als Zug empfunden werden. Dies kann speziell in Schlafräumen das Risiko von Erkältungen erhöhen [27, p. 29].

Ist die Luftbewegung in einem Raum sehr gering, können $\alpha_K = \alpha_S = \alpha$ gesetzt werden. Die Berechnung der effektiven Raumtemperatur vereinfacht sich dann zu Gleichung (Gl. 2-6).

$$t_e = \frac{t_L + t_W}{2} \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{Gl. 2-6})$$

Nicht nur die Umschließungsflächen und Lufttemperatur des Raumes haben Einfluss auf die Behaglichkeit. Auch die Außentemperatur ist ein Indikator, welcher Einfluss auf die operative Raumtemperatur hat. Abbildung 2-12 zeigt den Einfluss der Außentemperatur auf die operative Raumtemperatur.

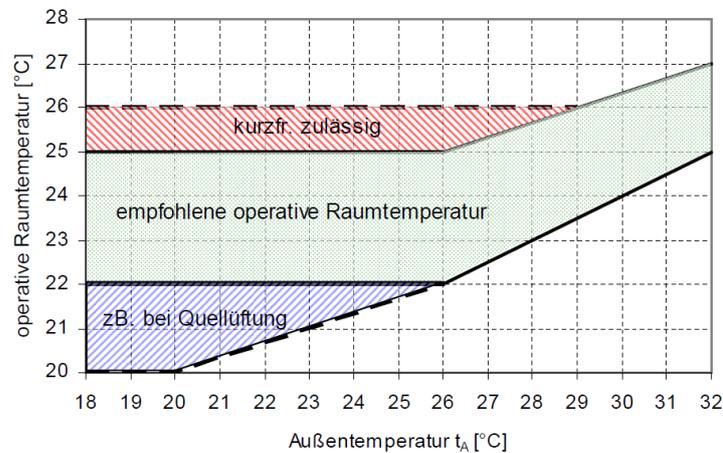


Abbildung 2-12: Operative Raumtemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur [16]

Ist die Außenlufttemperatur niedrig, so liegen die „empfohlenen operativen Raumtemperaturen“ zwischen 22°C und 25°C, wie obere Abbildung zeigt. Steigt die Außenlufttemperatur über 26°C, so steigt auch die zulässige „empfohlene operative Raumtemperatur“ an. Beispielsweise ist bei 31°C Außenlufttemperatur eine operative Raumtemperatur von bis zu 26,5°C zulässig.

2.3 Aktive Solarsysteme

Generell kann die Nutzung der Sonnenenergie in „Aktive“ und „Passive“ Solarsysteme unterscheiden werden. Aktive Solarsysteme sind mit technischen Komponenten ausgerüstet, die das Sonnenlicht in thermische oder elektrische Energie umwandeln und gegebenenfalls speichern. Passive Solarsysteme sind meist Bestandteile der Gebäudekonstruktion wie beispielsweise Wintergärten. [28, p. 124]

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten Komponenten und deren unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten – Solarthermie, Photovoltaik – gegeben. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den Systemen der aktiven Solarnutzung.

Sonnenenergie ist die bedeutendste natürliche Energiequelle der Erde. Sie hat einen Anteil von 99,98% der natürlichen Energiearten, gefolgt von Erdwärme mit 0,018 % und Gezeitenenergie mit 0,002 %. Die Sonneneinstrahlung (1367 W/m^2) welche im Mittel auf die Atmosphäre der Erdoberfläche auftrifft, wird als mittlere extraterrestrische Solarkonstante I_0 bezeichnet. Von dieser Sonneneinstrahlung werden ca. 30% als kurzwellige Strahlung in den Weltraum zurückgestrahlt, 47% werden durch die Atmosphäre, Land- und Wassermassen absorbiert, die restlichen 23% bewirken Verdunstung, Niederschlag und übrige Wettererscheinungen. Abbildung 2-13 zeigt das Spektrum der Sonnenstrahlen im Detail. Es treffen maximal 1000 W/m^2 auf die Erdoberfläche auf. [20, p. 5] In Österreich liegt das jährliche Solarstrahlungsangebot zwischen 1000 kWh/m^2 und 1400 kWh/m^2 [22, p. 14].

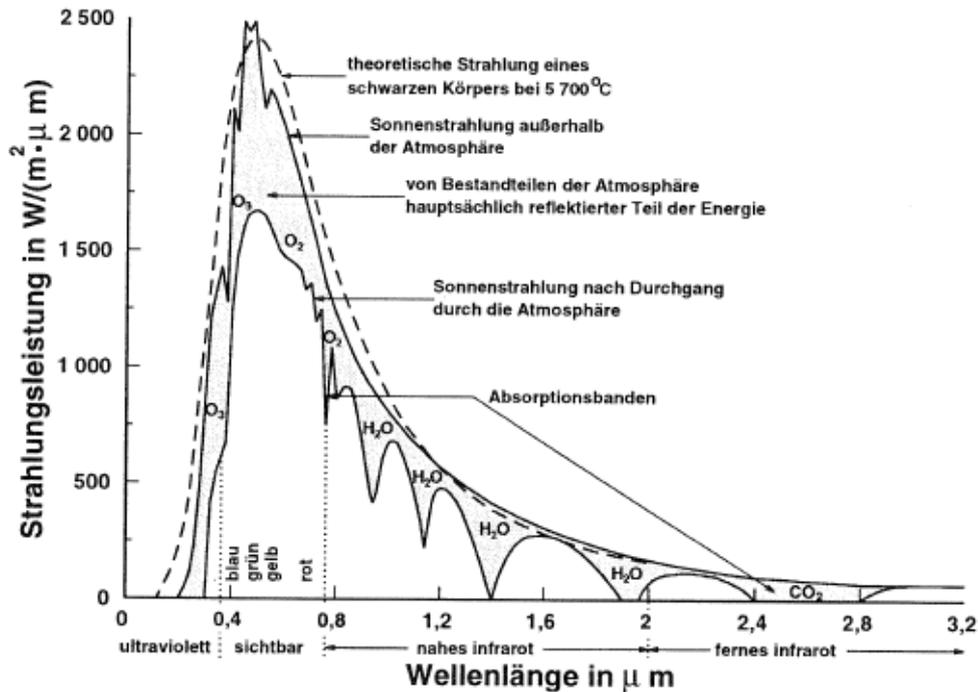


Abbildung 2-13: Spektrum der Sonnenstrahlung [28, p. 54]

Die Strahlungsintensität schwankt stark und ist im Allgemeinen von der geographischen Lage, Jahreszeit, Einfallswinkel der Sonne, Bewölkung, Höhenlage etc. abhängig. Generell setzt sich die Globalstrahlung aus Direktstrahlung und Diffusstrahlung zusammen. [29, p. 40]

Das Angebot und die Nachfrage an Solarenergie wird in Abbildung 2-14 dargestellt. Speziell in Wintermonaten ist der Bedarf an Energie besonders hoch, das Solarangebot hingegen besonders gering. Diesem gegenläufigen Trend können Speicher etwas entgegenwirken.

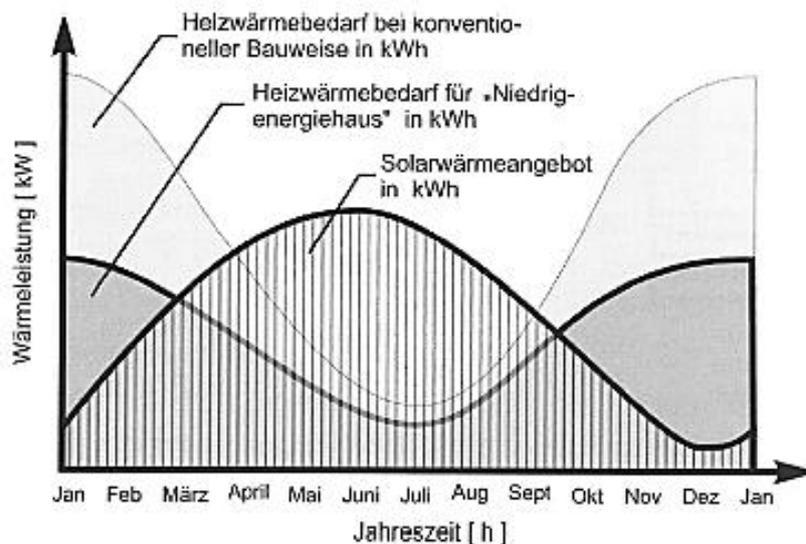


Abbildung 2-14: Verlauf des Solarwärmeangebots und des Heizwärmebedarfs [20, p. 26]

Der zeitliche Verlauf des Solarwärmeangebotes ändert sich mit der Ausrichtung der aufnehmenden Fläche. Oben gezeigte Kurve stellt einen typischen Verlauf für eine nach Süden

ausgerichtete Fläche mit einem Neigungswinkel von etwa 30° zur Horizontalen dar. Je besser der Dämmstandard des Gebäudes ist, desto kleiner ist der Unterschied zwischen solarem Angebot und der Nachfrage nach Energie.

2.3.1 Solarthermie (ST)

Solarthermische Anlagen nutzen die Strahlungsenergie der Sonne, indem sie diese mit Hilfe von Kollektoren absorbieren und anschließend in Wärme umwandeln. Diese Wärme wird mittels Flüssigkeitstransport (Wasser-Glycolgemisch) vom Kollektor in den Speicher geleitet. Anschließend steht die Wärme als nutzbare Energie zur Trinkwarmwasserbereitung oder Raumwärmebereitung zur Verfügung. Prinzipiell findet bei solarthermischen Anlagen eine Unterscheidung in gepumpte und nicht gepumpte Systeme statt. Beide Systeme bedienen sich jedoch eines ähnlichen Kollektoraufbaues. Abbildung 2-15 veranschaulicht die wesentlichen Bauteile. Der Kollektor besteht im Wesentlichen aus einem Absorber, einer transparenten Abdeckung und einem Rahmen mit Isolierung. [28, p. 125]

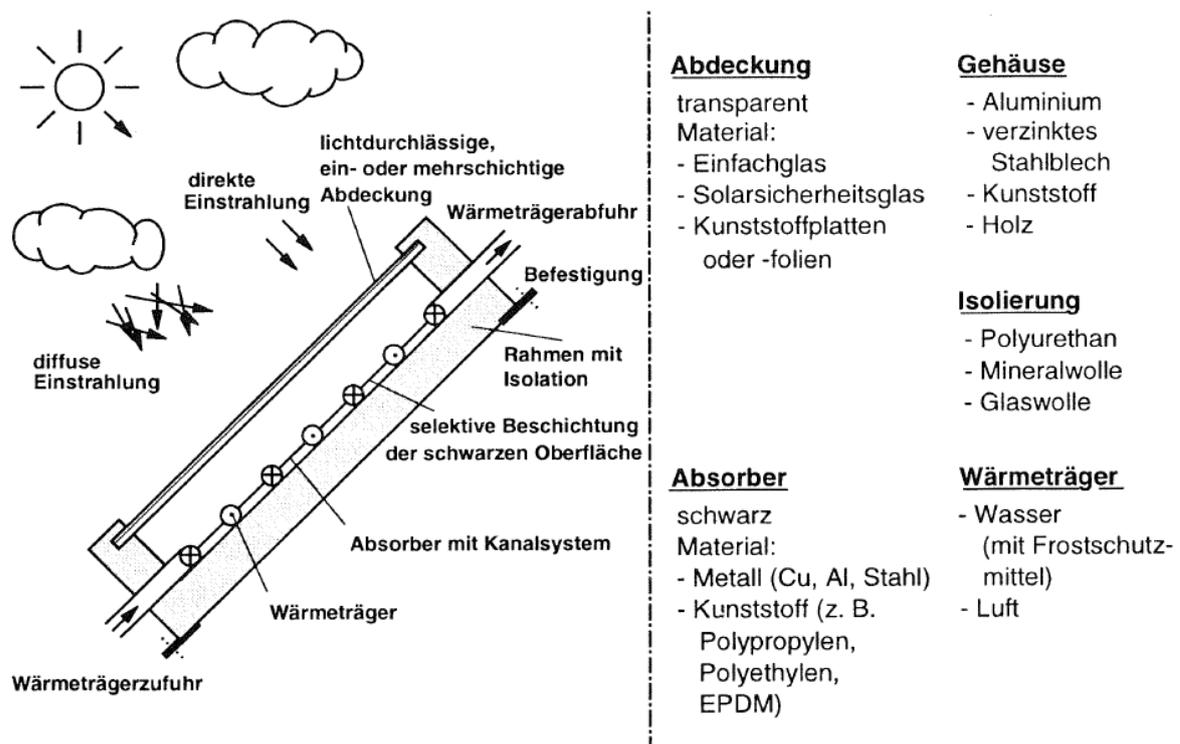


Abbildung 2-15: Solarthermischer Kollektor [28, p. 125]

Für jeden Kollektoraufbau ist die Kollektorkennlinie und daraus folgend der Kollektorwirkungsgrad eine aussagekräftige Kenngröße. Die Kennlinie setzt sich aus den optischen Verlusten, den thermischen Verlusten sowie der Nutzwärme zusammen. Abbildung 2-16 veranschaulicht einen typischen Verlauf einer Kollektorkennlinie.

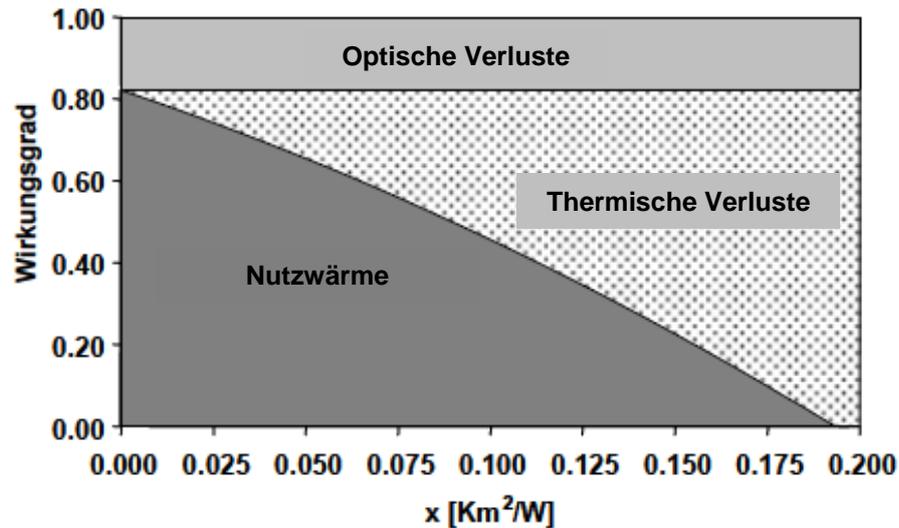


Abbildung 2-16: Kollektorkennlinie [20, p. 26]

Die Abszisse hat die Einheit (m²K)/W und berechnet sich aus der Differenz zwischen der mittleren Absorbtemperatur und der Außentemperatur im Verhältnis zur Einstrahlung, wie (Gl. 2-7) veranschaulicht.

$$x = \frac{T_{Abs} - T_a}{I_g} \quad [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}] \quad (\text{Gl. 2-7})$$

T_{Abs} ...mittlere Absorbtemperatur [K]
 T_a ... Außentemperatur [K]
 I_gEinstrahlung [W/(m²)]

Vorteil dieser Darstellungsform ist, dass die Kennlinien eines Kollektors für verschiedene Einstrahlungen zusammenfallen. Ist die Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Außenluft Null (im Schnittpunkt zwischen Abszisse und Kollektorkennlinie), so kann der beste Wirkungsgrad erreicht werden. [20, p. 25] Der Kollektorwirkungsgrad berechnet sich nach (Gl. 2-8).

$$\eta_{Koll} = \frac{\dot{Q}_{Koll}}{I_g \cdot A_{Koll}} \quad [\%] \quad (\text{Gl. 2-8})$$

η_{Koll} ... Kollektorwirkungsgrad [%]
 \dot{Q}_{Koll} ... vom Kollektor abgegebene Leistung [W]
 I_gEinstrahlung [W/(m²)]
 A_{Koll} ...Kollektorfläche [m²]

Nicht gepumpte Systeme, sogenannte Thermosyphonkollektoren oder Schwerkraftkollektoren, machen sich den spezifischen Dichteunterschied des Wassers bzw. des Wasser-Glykol-Gemisches bei unterschiedlichen Temperaturen zu Nutze [30]. Das Wasser erwärmt sich im

Kollektor, wodurch es aufsteigt und in einen Speicher geleitet wird. Kaltes Wasser fließt aus dem unteren Bereich des Speichers in den Kollektor zurück. Der Speicher muss deshalb oberhalb des Kollektors liegen.

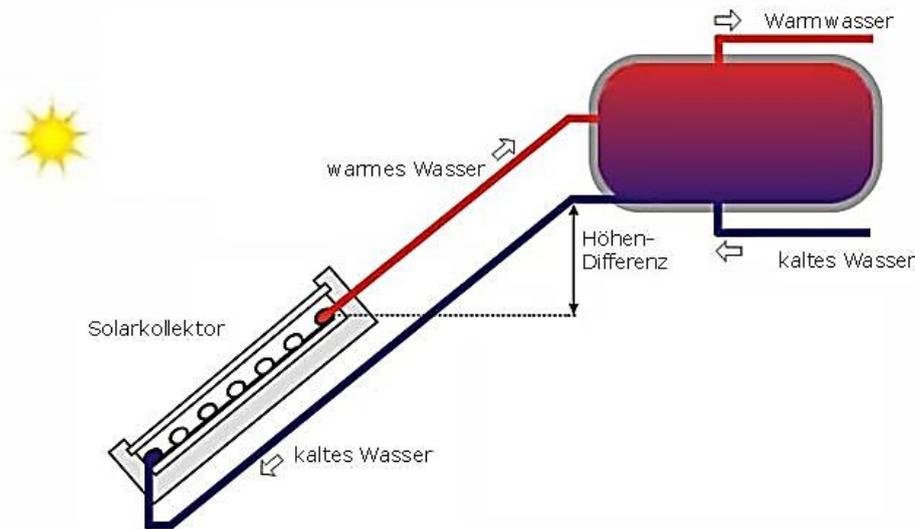


Abbildung 2-17: Thermosyphonkollektor [30]

Im Gegensatz zu gepumpten Systemen benötigen Schwerkraftkollektoren keinen Hilfsstrom zur Speisung der Solarpumpe. Die schematische Darstellung eines gepumpten Solarsystems kann Kapitel 2.2.1 entnommen werden.

Neben den zuvor beschriebenen Eigenschaften eines Solarkollektors hat die solare Deckung des Wärmebedarfs (SD) und der spezifische Ertrag (SE) wesentliche Aussagekraft über die Effizienz einer Anlage. Der spezifische Ertrag der Anlage beschreibt die jährliche Energiemenge, welche pro Quadratmeter Bruttokollektorfläche dem Energiespeicher zugeführt wird [22, p. 37]. Berechnet wird dieser nach (Gl. 2-9).

$SE = \frac{Q_{Solar}}{A_{Bruttokollfl}} \quad [\%] \quad (Gl. 2-9)$
<p><i>SE</i>spezifischer Solarertrag [kWh/(m²K)] <i>Q_{Solar}</i>jährlicher Wärmeinput des Solarsystems [kWh] <i>A_{Bruttokollfl}</i>Bruttokollektorfläche [m²]</p>

Der Quotient aus dem jährlichen Solarenergieeinsatz zum jährlichen Gesamtenergieeinsatz wird als solare Deckung bezeichnet und wie (Gl. 2-10) veranschaulicht berechnet.

$SD = \frac{Q_{Solar}}{Q_{Solar} + Q_{Konv}} \quad [\%] \quad (Gl. 2-10)$
<p><i>SD</i>Solare Deckung [%] <i>Q_{Solar}</i>jährlicher Wärmeinput des Solarsystems [kWh] <i>Q_{Konv}</i>jährlicher Wärmeinput des konventionellen Wärmeerzeugers [kWh]</p>

Wird bei der Nutzung der Solarenergie das Wärmeträgermedium Luft bevorzugt, können sogenannte Luftkollektoren eingesetzt werden. Frische Außenluft wird durch den Absorber geleitet, erwärmt und anschließend gefiltert als solarerwärmte Frischluft dem Wohnraum zugeführt. In manchen Ausführungen bedient eine PV-Zelle den Ventilator mit elektrischem Strom, wodurch ein autarker Einsatz gefördert wird. [31]

Abbildung 2-18 zeigt den Aufbau eines Luftkollektors der Firma Grammer Solar GmbH.

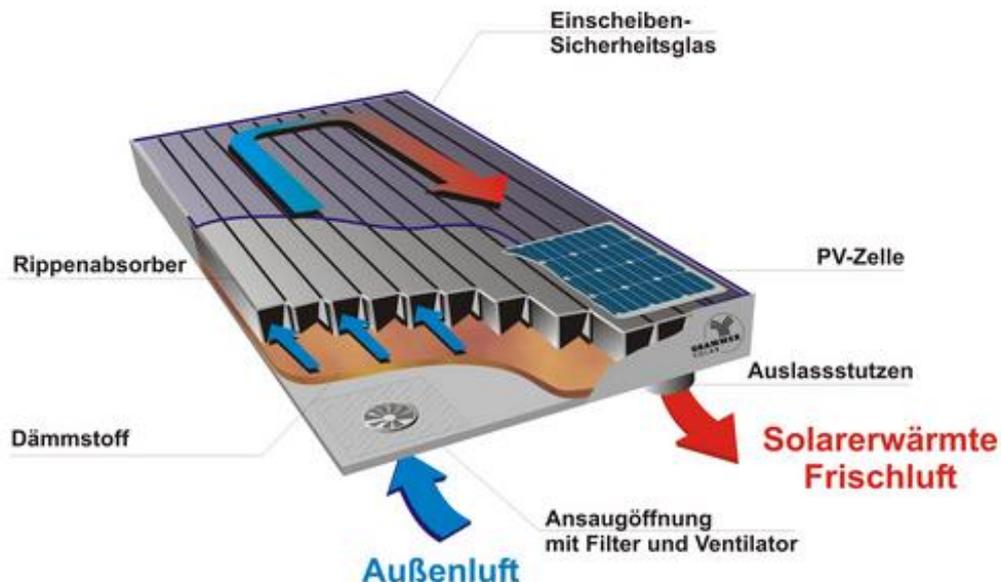


Abbildung 2-18: Luftkollektor [31]

Die direkte Wärmeerzeugung ist eine Möglichkeit der Solarenergienutzung. Eine andere ist die Erzeugung elektrischen Stromes mit Hilfe von Photovoltaikanlagen. Die Kombination aus Solarthermie und Photovoltaik wird als PV-thermisch bezeichnet. Mit einem PVth-Kollektor kann sowohl elektrischer Strom als auch Wärme erzeugt werden.

2.3.2 Photovoltaik (PV)

Die direkte Wandlung von Sonnenenergie in elektrischen Strom wird Photovoltaik genannt [28, p. 177]. Es gibt unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten von Photovoltaik- bzw. Solarzellen, wie beispielsweise eine „Monokristalline“ oder „Polykristalline“ Zelle [28, p. 192]. Meist dient das Halbleitermaterial Silizium als Grundbaustein der Solarzelle. Die Solarzelle generiert elektrischen Strom und nutzt dabei den photoelektrischen Effekt. Dieser bewirkt die Umwandlung von Lichtenergie, den sogenannten Photonen (elektromagnetische Strahlung – Sonnenlicht) auf Elektronen in Materien, wodurch eine elektrische Spannung an den Kontakten der Solarzelle (Abbildung 2-19 rot eingekreist) entsteht. [28, pp. 182-188] [29, p. 30]. Die elektrische Spannung erreicht etwa Werte von 0,5 Volt, der abgegebene Strom variiert und kann je nach Einstrahlung und Zellenfläche Werte zwischen 0 und 10 Ampere erreichen. Durch geeignete Verschaltungen der einzelnen Solarzellen können Spannungen von bis zu 50 Volt generiert werden. [29, p. 30] Abbildung 2-19 zeigt den Aufbau einer Solarzelle sowie die Verschaltung von einzelnen Solarzellen zu einem Solarmodul.

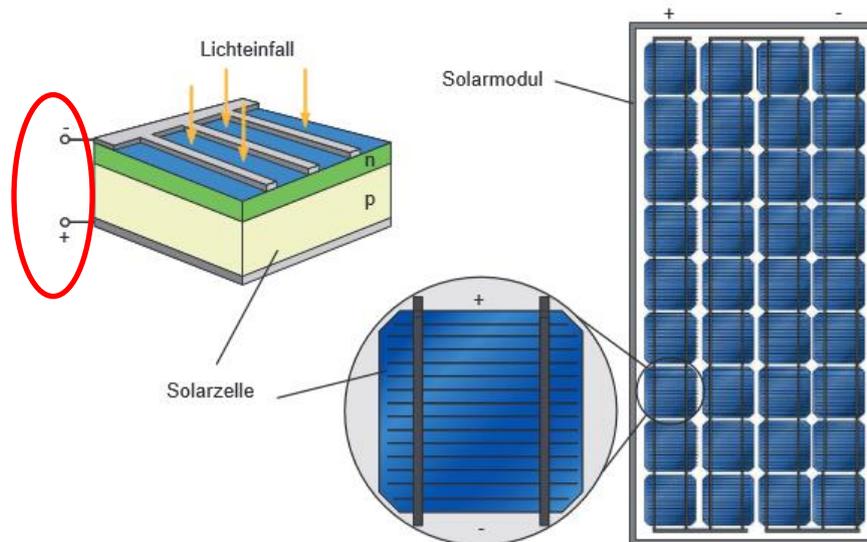


Abbildung 2-19: Solarzelle [29, p. 30]

Verglichen mit solarthermischen Kollektoren, haben Photovoltaikanlagen eher geringe Wirkungsgrade. Erreichen Kollektoren Wirkungsgrade von rund 60% bis 80% [28, p. 133], so liegen die Wirkungsgrade im Labor, bei sogenannten „Standard Test Conditions“⁴ (STC) von Silizium-Solarmodulen bei rund 13% bis 20% [29, p. 31]. Unter „Standard Test Conditions“ versteht sich eine

- Volle Sonneneinstrahlung von 1000 W/m² (E_{STC})
- Temperatur des Solarmoduls von 25°C
- Standard Lichtspektrum AM 1,5⁵. [29, p. 31]

Anhand dieser normierten Testbedingungen wird die Nennleistung des PV-Moduls in Wp (Watt-Peak) angegeben. Neben dem Wirkungsgrad, welcher sich nach (Gl. 2-11) errechnet, ist der spezifische Ertrag eine wichtige Vergleichsgröße eines PV-Moduls.

$\eta_{Modul} = \frac{P_{STC}}{E_{STC} \cdot A} \quad [\%] \quad \text{(Gl. 2-11)}$
<p>η_{Modul}...PV-Modulwirkungsgrad [%] P_{STC}.....PV-Nennleistung bei STC [Wp] E_{STC}.... Sonneneinstrahlung bei STC [W/m²] A_{Modul} ..Modulfläche [m²]</p>

Der spezifische Ertrag ist definiert als gewonnene elektrische Energie pro Nennleistung [Wh/Wp] meist bezogen auf ein Jahr [29, p. 32]. Durch die Angabe des spezifischen Ertrages kann ein schneller Vergleich unterschiedlicher PV-Moduleffizienten und deren jährlichen Erträgen getätigt werden.

⁴ engl. für Standard Test Bedingungen

⁵ Air Mass 1,5: Licht legt im Vergleich zu einem senkrechten Durchtritt durch die Atmosphäre einen 1,5-fachen längeren Weg zurück [29, p. 39]

3 Literaturrecherche / Stand der Technik

In diesem Kapitel wird der Stand der Technik vorgestellt. Es werden bereits verwirklichte Projekte verglichen und bezüglich ihrer Eigenschaften untersucht. Ziel der Literaturrecherche ist es, einen Überblick über bereits verfügbare Technologien und Praktiken zu gewinnen.

Die Bedeutung der thermisch hochwertigen Sanierung nimmt, wie bereits in den einleitenden Worten beschrieben, stetig zu. So wurde bereits 2006 im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ der Startschuss für das „Erste Mehrfamilien-Passivhaus im Altbau“ durch vorgehängte Fassadenelemente in der Linzer Makartstraße gegeben [32]. Folgend wurden weitere Projekte, auf nationaler und internationaler Ebene, umgesetzt.

Dieses Kapitel stellt Projekte vor, die für das Projekt "HVAC via FACADE" inhaltlich relevant sind. Es werden Demoprojekte mit hochwertigen Sanierungen im Bereich des Geschosswohnbaus durch vorgefertigte und vorgehängte Fassadenelemente untersucht. Auch Heizungs-, Lüftungs- und Warmwasserkonzepte werden beleuchtet, um einen Überblick über bereits bestehende, aber auch noch in der Forschung befindliche Technologien zu bekommen.

3.1 Makartstraße Linz

Die erste Altbauanierung zum Mehrfamilien-Passivhaus wurde in der Linzer Makartstraße 2006 durchgeführt. Der Gebäudebestand, wie in Abbildung 3-1 links zu sehen, wurde in den Jahren 1958/59 erbaut und besteht aus 5 Geschossebenen mit 50 Wohneinheiten. Der Haupttrakt des Gebäudes ist Ost-West orientiert (in Abbildung 3-1 rechts mit roten Fassadenelementen), der Nebentrakt Nord-Süd. Die geographische Ausrichtung ist speziell hinsichtlich solarer Erträge, welche über aktive Fassadenelemente generiert werden können, von Bedeutung. [32]



Abbildung 3-1: Makartstraße: Gebäudebestand (links); saniertes Gebäude (rechts) [32]

Ziel der Gebäudesanierung der Makartstraße war die Reduktion des Heizwärmebedarfs auf Passivhausstandard. Auch sollten ein optimales Lüftungs- und Haustechnikkonzept (höchste Luftqualität), Komfort und Behaglichkeit, aber auch ökologische Aspekte wie etwa die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen in die Planung miteinfließen. Der hohe Vorfertigungsgrad der Fassade, wodurch eine schnelle Sanierung möglich wurde, war eine der Voraussetzungen zur Schonung der Bewohnerinnen und Bewohner während der

Sanierungsarbeiten. Neben der thermischen Gebäudesanierung wurde sowohl das Warmwasserkonzept als auch das Lüftungskonzept neu definiert. Wurde im Altbestand das Warmwasser mittels Gasdurchlauferhitzer bereitgestellt, so konnte durch die Sanierung die Energiequelle Gas durch einen Fernwärmedurchlauferhitzer substituiert werden. Hierfür wurden neue Leitungen von der Fernwärmeübergabestation im Keller in die Wohnungen gelegt. Hinsichtlich der Lüftung musste wegen der hohen Dichtheit der Gebäudehülle – dies ist wesentlich für einen niedrigen Heizwärmebedarf – der erforderliche Mindestluftwechsel mittels Lüftungsgeräten gewährleistet werden. Es wurden Einzelraumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (WRG) installiert. Ein wesentlicher Benefit, neben der Betriebskostensparnis, ist der Zuwachs der Wohn- bzw. Nutzfläche des Gebäudes durch die Sanierung. So war eine qualitative Nutzung der Balkone wegen Verschmutzung und Lärmbelastigung der anliegenden, stark befahrenen Straßen, nur bedingt möglich. Durch Einhausung der Balkone konnte diese Fläche als zusätzlicher Wohnraum gewonnen werden. Die Qualität der Balkone sowie die des gesamten Gebäudes wurde durch die neue Fassade nicht nur hinsichtlich thermischer Eigenschaften verbessert, auch Schallschutzmaßnahmen wurden bei der Sanierung berücksichtigt und leisten somit einen weiteren wertvollen Beitrag zu einem optimalen Behaglichkeitsgefühl in den Wohneinheiten [32].

Bevor näher auf die technischen Details der Fassadenelemente eingegangen wird, soll Tabelle 3-1 einen groben Vergleich und Überblick des Altbestandes vor und nach der Sanierung geben.

Tabelle 3-1: Makartstraße - Vergleich des Bestandsgebäudes mit saniertem Gebäude

Bestandsgebäude		saniertes Gebäude	
<i>Baujahr</i>	1957/58	<i>Sanierung</i>	2006/07
<i>Anzahl WE</i>	50	<i>Anzahl WE</i>	50
<i>HWB</i>	179 [kWh/(m ² WNFa)] (Berechneter Wert)	<i>HWB</i>	13,3 [kWh/(m ² WNFa)] (Berechneter Wert)
<i>Wohn-Nutzfläche</i>	2755,68 [m ²]	<i>Wohn-Nutzfläche</i>	3106,11 [m ²]
<i>Bauweise</i>	schwer	<i>Bauweise</i>	schwer
<i>Heizungs-system</i>	Fernwärme	<i>Heizungs-system</i>	Fernwärme (Individuelle Raumtemperaturen sind möglich)
<i>Warmwasser-bereitung</i>	dez. Gasdurchlauferhitzer	<i>Warmwasser-bereitung</i>	dez. Fernwärme - Durchlauferhitzer (neue Leitungen vom Keller bis zu den Wohnungen notwendig)
<i>Lüftungs-System</i>	natürliche Lüftung über Fenster	<i>Lüftungs-System</i>	dez. Einzelraumlüftungsgeräte mit WRG
<i>Aktive Fassaden-elemente</i>	nein	<i>Aktive Fassaden-elemente</i>	GAP - Solarwabe

Technische Details des Fassadenaufbaus

Die Außenwände des 1958/59 erbauten Gebäudes sind aus Schüttnbeton-Mauerwerk und weisen einen U-Wert von etwa 1,4 W/(m²K) auf. Der schlechte U-Wert unterstreicht den Sanierungsbedarf und lässt erkennen, dass hinsichtlich einer thermischen Verbesserung der Gebäudehülle kaum etwas veranlasst wurde. Lediglich die Kellerdecke wurde im Laufe der

Jahre gedämmt und ursprüngliche Holzfenster teilweise durch Kunststofffenster mit 2-fach Isolierverglasung ausgetauscht [32, p. 25]. Heutige Gebäudestandards müssen diesen Wert um ein Vielfaches unterbieten, da die Mindestanforderung laut OIB-Richtlinie 6 für Außenwände bei max. $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegt [6].

Durch die hochwertige Sanierung auf Passivhausstandard konnte der U-Wert der Außenwand auf $0,217 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gesenkt werden [32, p. 48]. Die vorgehängten Fassadenmodule basieren auf einer Holzunterkonstruktion, deren Oberfläche aus Glas besteht. Hinter der transparenten Glasoberfläche wurden sogenannte GAP-Solarwaben in die Fassade integriert, siehe Abbildung 3-2. Diese werden von GAP-Solution GmbH, einem auf Fassadensanierung spezialisierten Unternehmen, hergestellt. Die Integration der dezentralen Einzelraumlüftungsgeräte in die neue Fassadenhülle war bei der Planung und Umsetzung zu bedenken. Tabelle 3-2 zeigt im Überblick Eckdaten der thermischen Sanierung.

Tabelle 3-2: Makartstraße: Vergleich von Materialien und Wärmedurchgangskoeffizient [32]

Bestandgebäude		saniertes Gebäude	
Materialien	Schüttnbeton-Mauerwerk	Materialien	Holzkonstruktion; Glas-Aluminiumoberfläche; GAP - Solarwabe
<i>U - Wert der Außenbauteile</i>	Außenwand: $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Berechneter Wert)	<i>U - Wert der Außenbauteile</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Außenwand Außenluft: $0,217 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ • Fenster GAP-Fassade: $0,158 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ • Decke gegen Außenluft: $0,188 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ • Decke gegen kalten Dachboden: $0,093 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ • Fenster: $0,924 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (Berechnete Werte)

Fassadenaufbau

Die Fassadenelemente wurden in großflächigen Fertigteilen (Abbildung 3-2) an die Baustelle geliefert und montiert. In den vorgefertigten Fassaden befanden sich neben den Solarwaben auch noch die Fenster mit bereits integriertem Sonnenschutz, die Luftkanalführung und notwendige E-Leitungen [32, p. 35].

Die zuvor bereits erwähnten GAP-Solarwabenfassadensmodule, heute GAP:Skin, dienen als Wärmedämmsystem und haben folgenden Aufbau und folgendes Funktionsprinzip:

„Den äußersten Bestandteil des Panels bildet die Verglasung. Dahinter befindet sich ein leicht belüfteter Luftspalt vor der Solarwabe, die auf einer Trägerplatte aufgebracht ist. Zusätzliches Dämmmaterial kann dahinter in das Panel integriert werden. Das Gewicht liegt bei ca. $35 \text{ kg}/\text{m}^2$.“ [33]

Abbildung 3-2 zeigt die Montage eines großflächigen Fassadenelements welches gerade mit einzelnen Solarwabenpaneelen bestückt wird (links) und das Kernstück die Solarwabe (rechts).



Abbildung 3-2: Fertigung Fassadenmodul GAP:Skin (links); Aufbau Solarwabe (rechts) [33]

Das Funktionsprinzip der GAP: Skin-Solarfassade ist eine Wärmedämmung durch passive Solarnutzung. Im Winter, bei flacher Sonneneinstrahlung, dringt das Sonnenlicht tief in die Wabe ein und erwärmt diese. Dadurch steigt die Temperatur an und bildet eine autonome Klimazone im Panel. Die erhöhte Temperatur an der Außenfassade minimiert den Temperaturunterschied zwischen Innenraum und Außenfassade, wodurch die Wärmeverluste reduziert werden. In den Sommermonaten (hochstehende Sonne) verschattet sich die Wabe selbst und schützt so vor Überhitzung [33], wie Abbildung 3-3 zeigt.

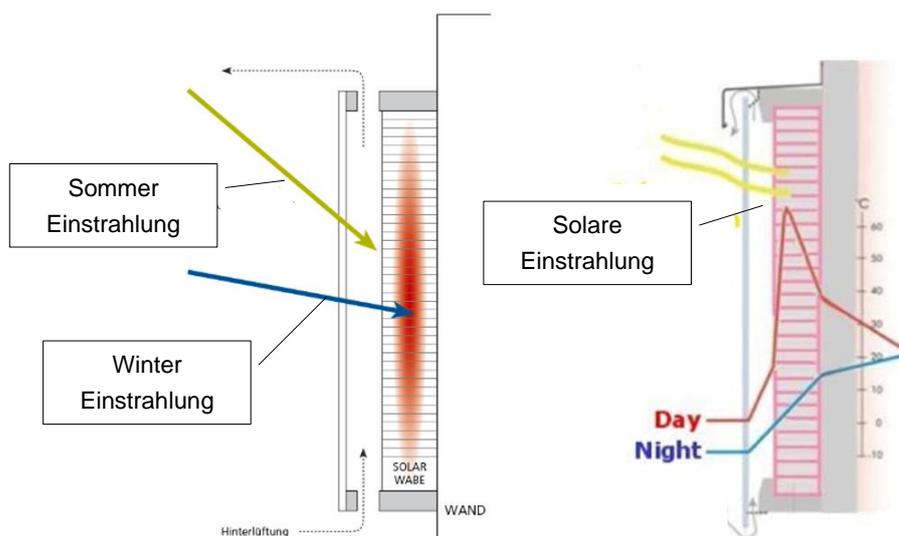


Abbildung 3-3: Funktionsprinzip der GAP - Solarwabe [33] [34]

Je nach geographischer Ausrichtung kann der U-Wert der Außenwand durch Verwendung einer Solarwabe um bis zu 90% verbessert werden. Dies ermöglicht eine Energiereduktion und fördert die Behaglichkeit [33].

3.2 Dieselweg Graz

Die soziale Wohnsiedlung am Dieselweg in Graz-Liebenau wurde in den 1960er Jahren erbaut und besteht aus den Häusern Dieselweg 4, 6, 8, 12, 14 (alle Häuser entsprechen dem gleichen Baustil) sowie dem Dieselweg 3-19 [35]. Abbildung 3-4 zeigt den Gebäudebestand.



Abbildung 3-4: Dieselweg Graz-Liebenau Bestand [35]

Die Siedlung bietet Platz für 204 Wohnungen, welche vor der Sanierung in einem energetisch schlechtem Zustand waren. Ähnlich wie in der Makartstraße wurden auch am Dieselweg in den vergangenen Jahrzehnten kaum Sanierungsarbeiten durchgeführt. Neben nicht gedämmten Außenwänden bzw. nicht gedämmten Dachgeschoßen waren die Fenster sehr sanierungsbedürftig [34].

Die Sanierung am Dieselweg wurde, ähnlich der sanierten Makartstraße, mit vorgefertigten aktiven Fassadenmodulen mit integrierten Solarwaben und mit Solarkollektorflächen durchgeführt. Der Fokus der Sanierung des Gebäudebestandes lag auf einer hochwertigen und optimalen Dämmung, was ein Erreichen des Passivhausstandards erlaubte. Eine Reduktion der Heizenergie um ca. 91% konnte erreicht werden. Insgesamt 610 m² Solarkollektorfläche wurden im Gebäudebestand installiert, dies entspricht ungefähr 3 m² Kollektorfläche pro Wohneinheit. Pro Wohnhaus wurde ein Pufferspeicher installiert, die anschließende Verteilung erfolgt über Fassadenschächte. Als Wärmequellenbackup dient eine Grundwasserwärmepumpe, welche die Solaranlage zur Warmwasser- bzw. Raumwärmebereitung unterstützt. Die Möglichkeiten einer solarautarken Siedlung soll anhand der verwendeten Konzepte aufgezeigt werden. [35]

Die folgende Abbildung zeigt links die sanierte Fassade mittels Solarwabe, rechts die Integration einer Solarkollektorfläche in der Fassade.



Abbildung 3-5: Dieselweg-Graz, Fassade mit integrierter Solarwabe und Solarkollektor [35]

Die Energieversorgung vor der Sanierung bestand aus einem Mix verschiedener Energieträger. Es wurden Festbrennstoff-, Öl-, und Elektro Einzelöfen zur Raumwärmeerzeugung verwendet, wobei 54% der Wohneinheiten eine E-Heizung, 33% eine Ölheizung und 13% eine Festbrennstoffheizung installiert hatten [35].

Die Warmwasserbereitung wurde mittels Elektrodurchlauferhitzer dezentral durchgeführt. Wegen der sehr dichten Fassadenaußenwand wird die geforderte Luftqualität nur durch Lüftungsgeräte gewährleistet. Wie in Linz wurden dezentrale raumweise Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung installiert. Die notwendigen Luftkanäle konnten bereits in die vorgefertigten Fassadenmodule integriert werden [9].

Tabelle 3-3 vergleicht die Unterschiede vor bzw. nach der Sanierung am Dieselweg.

Tabelle 3-3: Dieselweg-Vergleich des Bestandsgebäudes mit saniertem Gebäude [34] [35]

Bestandsgebäude		saniertes Gebäude	
<i>Baujahr</i>	zwischen 1950 bis 1970	<i>Sanierung</i>	2007 - 09
<i>Anzahl WE</i>	204	<i>Anzahl WE</i>	204
<i>HWB</i>	142 - 225 [kWh/(m ² WNFa)] (Berechneter Wert)	<i>HWB</i>	9,6 - 13,6 [kWh/(m ² WNFa)] (Berechneter Wert)
<i>Wohn-Nutzfläche</i>	14 038 [m ²]	<i>Wohn-Nutzfläche</i>	14 038 [m ²]
<i>Bauweise</i>	schwer	<i>Bauweise</i>	schwer
<i>Heizungs-system</i>	<ul style="list-style-type: none"> • E-Heizung (54%) • Ölheizung (33%) • Festbrennstoff (13%) 	<i>Heizungs-system</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Solarheizung • grundwassergespeiste Wärmepumpe als Backup • Klimawandkonzept in Außenhülle (Bauteilaktivierung des Mauerwerks)
<i>Warmwasser-bereitung</i>	dez. mittels Strom	<i>Warmwasser-bereitung</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Solarheizung und Wärmepumpe (gekoppelt mit Heizsystem) • Verteilung über 4-Leiter-Netz • dez. Warmwasserbereitung
<i>Lüftungs-System</i>	natürliche Lüftung über Fenster	<i>Lüftungs-System</i>	dez. Einzelraumlüftungsgeräte mit WRG (Luftkanäle in Fassadenmodul integriert)
<i>Aktive Fassaden-elemente</i>	nein	<i>Aktive Fassaden-elemente</i>	GAP - Solarwabe Solarthermie in Fassade und am Dach
		<i>Bauherr</i>	GIWOG - Gemeinnützige Industrie Wohnungs AG

Energieversorgungskonzept

Das Energieversorgungskonzept am Grazer Dieselweg hatte eine Reduktion des Heizenergiebedarfs um 91% zum Ziel. Es sollten sowohl Kosten als auch CO₂-Ausstoße gesenkt werden [9]. Die aktive Nutzung der Fassadenelemente durch die Integration von Solarkollektoren bzw. die passiven Sonnenenergienutzung durch Solarwaben trugen zum Erlangen der Ziele bei. Wie erwähnt, wird Sonnenenergie über die Kollektoren in einem Pufferspeicher gespeichert. Besteht ein größerer Wärmebedarf, wird eine grundwassergespeiste Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung hinzugeschaltet. Beide Systeme speisen den gleichen zentralen Speicher (5m³). Die anschließende Wärmeverteilung basiert auf einem 4-Leiter-Netz, die Leitungen wurden in einem Fassadenschacht verlegt, wodurch grobe Arbeiten am Gebäude vermieden werden konnten. Die Wärmeabgabe wurde durch ein Klimawandkonzept an der Außenwand verwirklicht. Thermische Bauteilaktivierungen des Mauerwerks sollten den Bewohnerinnen und Bewohnern ein gutes Wohnraumklima geben. Die Nutzung des Mauerwerks als Wärmespeicher, kombiniert mit einer solarthermischen Anlage, wurde am Dieselweg umgesetzt [34].

Abbildung 3-6 zeigt ein verbautes Modul zur Bauteilaktivierung. Leider wurden bis dato keine quantitativen Ergebnisse der Bauteilaktivierung veröffentlicht.

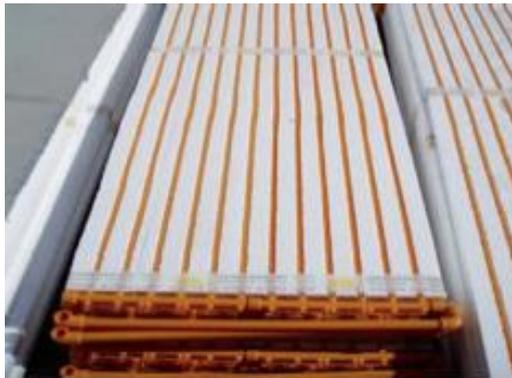


Abbildung 3-6: Klimawandkonzept der Außenmauer [34]

Technische Details des Fassadenaufbaus

Der Fassadenaufbau der vorgefertigten Module besteht aus einem Holzrahmen, welcher mit Steinwolle als Dämmmaterial ausgefüllt ist. Mitteldichte Holzfasadenplatten und Grobspanplatten bedecken die Holzkonstruktion. Darauf ist der Solarwaben Aufbau (GAP:Skin) angebracht. Um eventuelle Unebenheiten der Hausmauer auszugleichen, wurde zwischen bestehender Fassadenmauer und der neuen vorgesetzten Fassade eine Ausgleichsschicht, bestehend aus Steinwolle, angebracht.

Wie Abbildung 3-7 zeigt, wurde die Fassadenkonstruktion in drei Ebenen, die bestehende Wand, die Ausgleichsschicht und das vorgefertigte Fassadenelement, unterteilt.

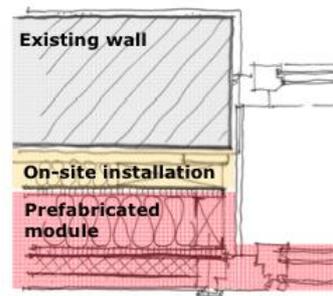
Façade solutions

Abbildung 3-7: Dieselweg: Fassadenkonstruktionsaufbau [34]

In Tabelle 3-4 werden die verwendeten Materialien und Wärmedurchgangszahlen nochmals gegenübergestellt. Leider wurde in der Literatur keine Angabe zum Wärmedurchgangskoeffizienten des Gebäudebestandes gefunden. Es ist anzunehmen, dass dieser ähnlich wie bei dem Gebäude der Makartstraße, also etwa bei $U \sim 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegt.

Tabelle 3-4: Dieselweg: Vergleich der Materialien und Wärmedurchgang

Bestandgebäude		saniertes Gebäude	
Materialien	Hochlochziegel	Materialien	Holzkonstruktion; Glasoberfläche; GAP - Solarwabe; Steinwolle; Grobspanplatte; Mitteldichte Holzfaserplatte
<i>U - Wert der Außenbauteile</i>	Außenwand: $\sim 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	<i>U - Wert der Außenbauteile</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Außenwand Außenluft: $0,169 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ • Fenster Fassade: $0,358 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ • Decke gegen Außenluft: $0,091 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ • Bodenplatte: $0,186 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (Berechnete Werte)

4 Auswahl eines Referenzgebäudes und Bedarfsdefinition nach der Sanierung

Das Referenzsystem soll ein typisches Gebäude des Betrachtungszeitraumes der 1960er – 1980er Jahre abbilden und für möglichst viele Wohngebäude stehen. Typische Haus- und Wohnungsgrundrisse spielen neben dem Standort, der Ausrichtung des Gebäudes sowie der unterschiedlichen Mauerwerke eine besondere Rolle. Auch die Stiegenhausituation, welche hinsichtlich der Installation möglicher zentraler Stockwerksverteilpunkte von Bedeutung ist, sollte entsprechend sorgfältig berücksichtigt werden.

Zur Bewahrung einer möglichst hohen Flexibilität und somit einer vielseitigen Einsatzmöglichkeit der Konzepte wurde ein fiktives Referenzgebäude gewählt. Dieses orientiert sich an einem typischen Geschosswohnbau der 1960er Jahre. Durch die Wahl eines fiktiven Referenzgebäudes können unterschiedliche Randbedingungen, wie oben erwähnt, Betrachtung finden.

Die nachfolgenden Unterkapitel sollen die Beweggründe zur Auswahl des Referenzgebäudes erläutern und anschließend einen Überblick über den Energiebedarf nach der Sanierung darlegen.

4.1 Wahl eines charakteristischen Referenzgebäudes

Wie in den einleitenden Worten erläutert, soll das Referenzgebäude charakteristisch für möglichst viele Gebäude seiner Zeit stehen. Ein typisches Gebäude dieser Zeit befindet sich etwa in der Radegunderstraße in Graz. Abbildung 4-1 zeigt es in einer originalen Darstellung.



Abbildung 4-1: Typisches Gebäude der 1960er Jahre [36]

Neben der im Geschosswohnbau weit verbreiteten Ost-West Orientierung hat dieses Objekt zwei Stiegenaufgänge zu jeweils drei Stockwerken. Jedes Stockwerk bietet Raum für vier Wohnungen, wodurch auf jede Stiege 12 Wohneinheiten kommen. Es ergibt sich eine Gesamtnettowohnfläche von rund 590 m² pro Stiege. Darüber hinaus gibt es pro Stiege einen Keller und einen unausgebauten Dachboden.

Das Referenzgebäude dieser Arbeit wurde in Anlehnung an die Gebäude der Radegunderstraße definiert. Im Gegensatz zu dem realen Bauwerk wurde nur eine Stiege betrachtet, denn dies war für die Konzeptfindungsphase und Bewertung ausreichend. Abbildung

4-2 zeigt das Referenzgebäude, welches anhand des CAD-Zeichenprogramms Google SketchUp angefertigt wurde.

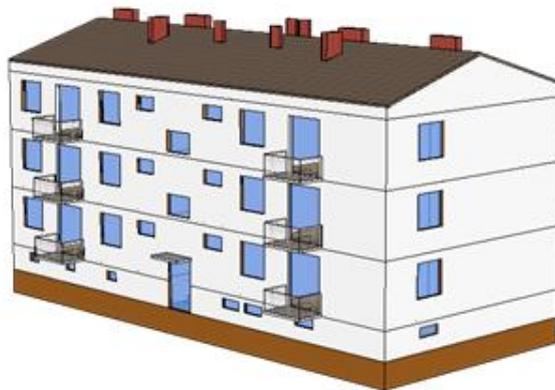


Abbildung 4-2: Referenzgebäude

Die maßstabsgetreue Zeichnung ermöglichte eine schnelle Definition der vorhandenen und verwendbaren Fassaden-, Wohn- und Dachflächen, welche für weitere energetische Betrachtungen von Wichtigkeit sind.

4.1.1 Wohnungsgrundrisse und Wohnflächen

Das Referenzgebäude hat 12 Wohneinheiten, wobei 6 Wohneinheiten etwa 62 m² (Typ A) und 6 Wohneinheiten etwa 38 m² (Typ B) Nettowohnfläche besitzen. Insgesamt ergibt dies eine Nettowohnfläche von rund 590 m², wie Tabelle 4-1 im Detail veranschaulicht.

Tabelle 4-1: Nettowohnfläche des Referenzgebäudes

	Wohnflächen		
	Typ A	Typ B	Summe
Wohneinheit	61,5 m ²	37,5 m ²	
Stockwerk	123 m ²	74 m ²	197 m ²
Haus	369 m ²	222 m ²	591 m ²

Typische Geschosswohnbauten der 60er Jahre haben oftmals eine symmetrische Anordnung der Wohneinheiten, wie in Abbildung 4-3 erkennbar. Die Grundrisse aller Stockwerke sind diesem ident und inkludieren zwei Wohnungen des Typs A und zwei Wohnungen des Typs B. Die dagegen asymmetrische Verteilung der Wohnflächen spiegelt sich bei den Fassadenflächen wider. So besitzen die Wohneinheiten des Typs B neben einer kleineren Fassadenfläche auch keinen direkten Zugang zu den Flächen der Breitseite des Gebäudes. Aus diesem Grund wurden die Fassadenflächen der Breitseiten bei folgenden Berechnungen nicht berücksichtigt.

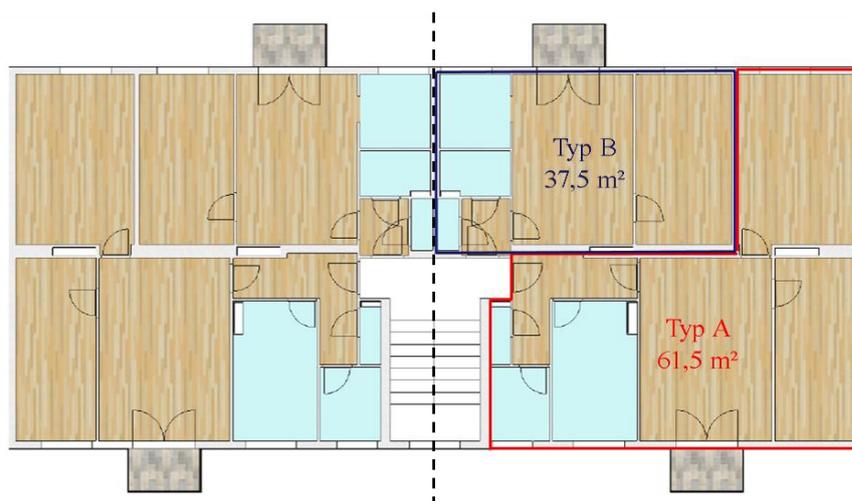


Abbildung 4-3: Wohnungsgrundrisse des Referenzgebäudes

Durch die Sanierung wird die Luftdichtheit der Gebäudehülle verbessert, was auf die Nassräume der Wohnungen Auswirkung hat. Die feuchte Luft wird nicht wie zuvor durch Fugen abtransportiert, als Folge unzureichender Luftwechsel können unhygienische Bedingungen wie Schimmelbildung hervorgerufen werden. Der Grundriss des Referenzgebäudes wurde hinsichtlich leichter Zugänglichkeit der Nassräume über die Fassade analysiert, diese sind in oberer Abbildung Türkis dargestellt. Bei gewähltem Referenzgrundriss sind die Nassräume beider Wohnungstypen (Typ A und Typ B) über die Fassade erschließbar, wodurch eine mögliche Strangführung der sanitären Versorgungsleitungen in den vorgefertigten Fassadenelementen begünstigt wird.

Außerdem hat der Referenzgrundriss bzw. das Referenzgebäude insgesamt sechs Schornsteine, wobei sich hier die asymmetrische Verteilung fortsetzt.

Besonders aus Gründen der asymmetrischen Verteilung der Wohnflächen und der daraus folgenden Verteilung der verfügbaren Fassadenflächen ist dieser Grundriss charakteristisch und gut geeignet als Referenzgrundriss.

4.1.2 Verfügbare Fassaden- und Dachflächen

Speziell die Einbindung solarer Technologien zur Energieerzeugung erforderte eine detaillierte Analyse der dafür verfügbaren Fassaden- sowie Dachflächen. Wie in Tabelle 4-2 erkennbar, stehen grundsätzlich 177 m² Außenwandfläche zur Verfügung. Jede Wohneinheit besitzt ca. 30 m² Nettofassadenfläche.

Tabelle 4-2: gesamt verfügbare Fassadenflächen

	Längsseite	Breitseite
Breite	23,4 m	10,5 m
Höhe	9,8 m	9,8 m
Bruttofläche	229 m ²	103 m ²
Fenster	52 m ²	6 m ²
Nettofläche	177 m ²	97 m ²

Für die Bewertung wurden jedoch nur die Flächen der längsseitigen Fassadenfläche herangezogen und nur jene Flächen, welche leicht zu erschließen waren. Dadurch verkleinerte sich die nutzbare Fassadenfläche auf 13 m² pro Wohneinheit, wie Tabelle 4-3 im Überblick für eine dezentrale, semizentrale und zentrale Betrachtung darlegt.

Tabelle 4-3: sinnvoll nutzbare Fassadenfläche im Detail

	Fassadenflächen		
	Wohnung	Stockwerk	Haus
pro Längsseite	13 m ²	26 m ²	78 m ²
pro Breitseite	15 m ²	30 m ²	80 m ²
pro Dachseite	100 m ²		

In Abbildung 4-4 wird das Referenzgebäude in der Vorderansicht gezeigt, die gelb eingezeichneten Flächen sind jene Flächen, welche leicht erschließbar und direkt der dahinterliegenden Wohneinheit zuordenbar waren. Ausgehend von diesen Flächen wurden Berechnungen zur möglichen solaren Bedarfsdeckung durchgeführt (s. Kap.6).

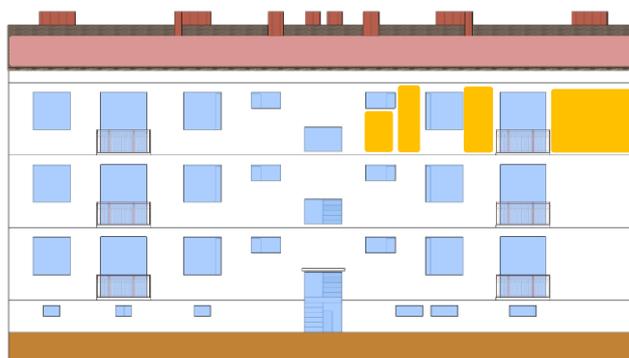


Abbildung 4-4: Referenzgebäude, Vorderansicht

Die verfügbaren Flächen an den Breitseiten des Referenzgebäudes, wie in Abbildung 4-5 gelb dargestellt, können ähnlich wie die des Daches, in Abbildung 4-4 rot dargestellt, bei Bedarf als zusätzliche Installationsflächen herangezogen werden.

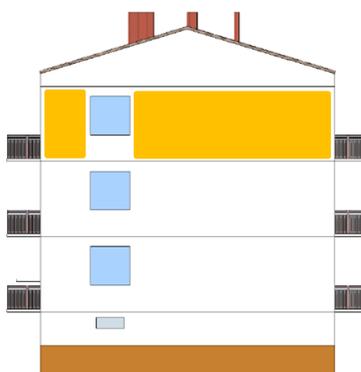


Abbildung 4-5: Referenzgebäude, Seitenansicht

Die nun definierten Fassadenflächen dienen in weiterer Folge als Ausgangssituation für solarthermische Kollektorgößen bzw. mögliche Größen der Photovoltaikmodule.

4.1.3 Altbestand der Haustechnik im Referenzgebäude

Im Referenzgebäude ist im Ausgangszustand ein Hochtemperaturwärmeabgabesystem in Kombination mit einem gas- bzw. ölbefeuertem Kessel (wohnungsweise) installiert. Diese Zentralheizungssysteme waren in den 1960er Jahren weit verbreitet. Üblicherweise dienten diesem System Radiatoren zur Wärmeabgabe. Vorteile dieses Heizungssystems waren verhältnismäßig kleine Heizflächen und ein schnelles direktes Bereitstellen der benötigten Heizleistung. Zur Warmwasserbereitung wurden im Referenzgebäude strombetriebene Boiler mit integriertem elektrischem Heizstab verwendet.

Es konnte somit von bestehenden Warmwasser- und Heizungsverteilleitungen ausgegangen werden.

4.1.4 Wandaufbauten des Referenzgebäudes

Der Wandaufbau des Referenzgebäudes orientiert sich an typischen Mauerwerken der 1960er bis 1980er Jahre. Typischerweise wurden Gebäude dieser Bauepoche mittels Mantelbetonsystemen gefertigt [37].

Um einen Vergleich unterschiedlicher Wandaufbauten zuzulassen, wurden neben Mantelbetonsystemen mehrere Mauerwerke wie Vollziegel-, Hochlochziegel- oder Stahlbetonwände betrachtet. Anhand einer breiten Betrachtung unterschiedlicher Mauerwerke können speziell hinsichtlich einer möglichen Bauteilaktivierung der Außenwände Vor- und Nachteile aufgezeigt werden.

4.2 Referenzgebäude nach der Sanierung

4.2.1 Heizwärmebedarf des sanierten Referenzsystems

Es wurden zwei charakteristische Referenzdämmstandards definiert. Eine umfangreiche und nachhaltige Sanierung verlangte nach Dämmstandards, welche sich möglichst unter den gesetzlichen Mindestanforderungen der OIB-Richtlinie 6 [6] befinden. Aus diesem Anlass wurde ein Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$ als Ziel definiert. Zum Vergleich soll ein Niederenergiestandard mit einem Heizwärmebedarf von $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$ untersucht werden. In Tabelle 4-4 sind die gewählten Dämmstandards für Brutto- bzw. Nettogeschossfläche zusammengefasst.

Tabelle 4-4: Untersuchte Dämmstandards

Standard	Dämmstandard Heizwärmebedarf	
	BGF ⁶	NGF ⁷
	[kWh/(m ² _{BGFa})]	[kWh/(m ² _{NGFa})]
HWB 15	15	18,75
HWB 30	30	37,5

⁶ Bruttogeschossfläche

⁷ Nettogeschossfläche

In weiterer Folge dieser Arbeit ist unter dem Dämmstandard HWB 15 und HWB 30 jener Heizwärmebedarf, welcher sich auf die Nettogeschossfläche bezieht, gemeint. Diese wurden für nachfolgende Berechnungen herangezogen. Für die unterschiedlichen Dämmstandards wird anschließend der Heizwärmebedarf der einzelnen Wohnungen, Stockwerke und des gesamten Hauses berechnet, wie Tabelle 4-1 zeigt.

Tabelle 4-5: Heizwärmebedarf des sanierten Referenzgebäudes

Heizwärmebedarf (HWB) Nettogeschossfläche (NGF)				
Dämmstandard	HWB 15		HWB 30	
Wohnungstyp	Typ A	Typ B	Typ A	Typ B
pro Wohneinheit NGF [kWh/a]	1153	703	2306	1406
pro Stockwerk NGF [kWh/a]	3713		7425	
pro Haus NGF [kWh/a]	11.138		22.275	

Der niedrige Heizwärmebedarf des Referenzgebäudes stellt besondere Anforderungen an die Dämmmaterialien und Dämmdicken (Transmissionsverluste), sowie ggf. an die Lüftungsanlage (Lüftungswärmeverluste) des Gebäudes. Anhand der Gegenüberstellung der Heizwärmebedarfswerte wurde die Auswirkung eines sehr guten Dämmstandards verdeutlicht.

Die notwendigen Dämmmaßnahmen wurden anhand der Energieausweisberechnung für beide Dämmstandards ermittelt und deren technische Machbarkeit überprüft.

Es ist eine optimale Nutzung und Einbindung von solaren Technologien zur Raumwärmeerzeugung nur in Verbindung mit sehr guten Gebäudestandards sinnvoll.

4.2.2 Heizlast des sanierten Referenzgebäudes

Um Aussagen über das sanierte Referenzgebäude machen zu können, wurden für die zuvor vorgestellten Heizwärmebedarfe Energieausweisberechnungen – nach dem Energieausweis (OIB 6) [6] – angefertigt. Die Werte der Heizlast wurden dem Energieausweis entnommen. Folgende Berechnungen, welche in dieser Arbeit durchgeführt wurden, stützen sich auf die Heizlastberechnungen des Energieausweises. Tabelle 4-6 zeigt die Heizlasten der unterschiedlichen Dämmstandards, den Wohnungstypen zugeordnet.

Tabelle 4-6: Heizlasten des sanierten Referenzgebäudes

Heizlasten				
Dämmstandard	HWB 15		HWB 30	
Wohnungstyp	Typ A	Typ B	Typ A	Typ B
Heizlast / Wohneinheit [kW]	1,2	0,7	1,6	0,9
Heizlast / Stockwerk [kW]	3,8		5	
Heizlast / Haus [kW]	11,4		15	

4.2.3 Brauchwarmwasserbedarf des Referenzgebäudes

Bevor der Warmwasserbedarf berechnet werden konnte, musste die Wohnungsbelegung definiert werden. Wie in Kapitel 2.2.1 bereits diskutiert, gibt es für die Personenanzahl pro

Wohneinheit unterschiedliche und stark divergierende Ansätze. Den Berechnungen dieser Arbeit wurde eine durchschnittliche Personenbelegung pro Wohneinheit von 2,5 Personen zugrunde gelegt [22].

Neben der Wohnungsbelegung wurde von einem mittleren Brauchwarmwasserbedarf, 30 Liter pro Person und Tag bei 60°C, ausgegangen. Diese Annahmen sind im Geschosswohnbau üblich [22]. Wie Tabelle 4-7 veranschaulicht, wurden für die Bedarfsberechnungen pro Wohneinheit 75 Liter am Tag angesetzt.

Tabelle 4-7: Warmwasserbedarf

Warmwasserbedarf (WW)			
	Wohnung	Stockwerk	Haus
Wohnungsbelegung [Personen]	2,5	10	30
Bedarf an BWW [Liter/Tag]	75	300	900
Bedarf an BWW [kWh/a]	1.530	6.121	18.363

Eine zentrale Brauchwarmwasserversorgung muss täglich 900 Liter Warmwasser bei 60°C zur Verfügung stellen, dies entspricht bei einer Frischwassertemperatur von 12°C einem jährlichen Energieinhalt von 18363 kWh.

4.3 Solare Einstrahlung auf das Referenzgebäude

Neben den sehr guten Dämm- bzw. Gebäudestandards hatte die Eingliederung solarer Technologien bei der Konzeptentwicklung Priorität. Um ein Bewusstsein für die auf das Referenzgebäude auftreffende Solarstrahlung zu bekommen, werden nachfolgend die solaren Erträge des Referenzstandortes Graz erläutert. Die Einstrahlungsdaten wurden dem Simulationsprogramm T*Sol [38] entnommen. Untenstehende Tabelle zeigt die Einstrahlung auf 30° bzw. 90° geneigte Flächen und der Ausrichtungen Süd, Ost und West.

Tabelle 4-8: Jährliche Einstrahlung auf die Fassadenfläche pro m²

	SÜD 30°	SÜD 90°	Ost 30°	Ost 90°	West 30°	West 90°
	kWh/a					
Jährliche Einstrahlung auf die Fassadenfläche pro m ²	1276,96	898,89	1056,19	694,58	1060,97	700,49

Deutlich lässt sich durch den Vergleich der Einstrahlungsdaten erkennen, dass bei einer 90° geneigten Fläche – gegenüber einer 30° geneigten – um etwa ein Viertel weniger Solarstrahlung auftritt. Bei ost- bzw. westorientierten Flächen kann mit ca. einem Fünftel weniger Solarstrahlung als bei Süd ausgerichteten Flächen gerechnet werden.

5 Entwicklung der Energieversorgungskonzepte

Die Entwicklung von neuartigen, innovativen und vielversprechenden fassadenintegrierten Energieversorgungskonzepten zur thermisch hochwertigen Sanierung mittels vorgefertigter Fassadenmodule ist Schwerpunkt dieses Kapitels. Anhand des gewonnenen Wissens durch Grundlagen und Literaturrecherchen konnten etwa 20 teils sehr divergierende Konzeptideen entwickelt und zu Papier gebracht werden. Da die Vorstellung jedes einzelnen Konzeptes im Rahmen dieser Arbeit nicht sinnvoll wäre, wurden die vielversprechendsten Ideen ausgewählt und werden im Anschluss detailliert erläutert. Jene Konzeptideen, welche in nachfolgenden Kapiteln nicht vorgestellt werden, befinden sich skizzenhaft im Anhang dieser Arbeit.

5.1 Randbedingungen und Vorgangsweise der Konzeptentwicklung

In Kapitel 1.3 wurde erörtert, dass die Konzeptfindung das Ziel der maximalen Integration von Haustechnikelementen in vorgefertigten Fassadenmodulen ist. Neben der Konzeptentwicklung hinsichtlich Energiewandlung, -speicherung, -verteilung und -abgabe mussten Lüftungskonzepte entwickelt werden. Der Fokus liegt auf der aktiven Nutzung der Fassadenflächen zur Energiegewinnung und auf der anschließenden direkten Interaktion mit den dahinterliegenden Wohnräumen. Eine zentrale, semizentrale und dezentrale Betrachtung musste ebenso in die Konzeptentwicklung einfließen wie etwa die Nutzung und Integration bestehender Haustechnik.

Die Konzepte werden in der Entwicklungsphase schematisch dargestellt. Auf eine detaillierte Ausarbeitung und Planung wurde in der Konzeptphase verzichtet.

5.1.1 Rahmenbedingungen der Konzeptfindung

Sowohl bei herkömmlichen als auch bei Sanierungen mittels vorgefertigter Fassaden, muss bei der Sanierungsplanung der künftige Energiebedarf ermittelt werden. Eine möglichst starke Einbindung solarer Technologien in der Konzeptfindungsphase hat zum Ziel, Anteile des Energiebedarfs nachhaltig und erneuerbar zu decken. Da eine gesamte energetische Deckung mittels Solartechnologien nur schwer verwirklichtbar ist, wurden die Konzepte so entwickelt, dass durch energetische Back Ups eine vollständige energetische Deckung möglich ist.

Das Ziel, große Anteile der Brauchwarmwasserbereitung und Raumwärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien zu decken, wurde durch die Anwendung unterschiedlicher Technologien, wie etwa Solarthermie oder Wärmepumpen angestrebt. Eine Gliederung dieser Technologien erfolgt in fünf Kategorien. Technologien zur Energie- und Wärmeerzeugung wie Solarthermie, Photovoltaik, Wärmepumpen, aber auch Technologien zur Wärmeabgabe, -speicherung und -verteilung wie etwa Bauteilaktivierungen und Lüftungen kamen zum Einsatz, wie Abbildung 5-1 im Überblick veranschaulicht.

Konzeptgliederung



Abbildung 5-1: Gliederung der Konzeptkategorien

Technologieübergreifende Energieversorgungskonzepte (wie z.B. die Kombination von Photovoltaik und Wärmepumpe) wurden hinsichtlich der Technologie der Wärmequelle (Wärmepumpe) gegliedert.

Eine hochwertige Gebäudesanierung beinhaltet die Sanierung der Warmwasserbereitung, Raumwärmeerzeugung wie auch die Installation eines Lüftungssystems.

Während der Konzeptfindungsphase wurde jedoch bewusst auf die Erfüllung aller Anforderungen einer hochwertigen Sanierung in jedem Konzept verzichtet. Dies diente dem Zweck eines breiten und offenen Zuganges und ermöglicht bei späterer Bewertung und Analyse die Ableitung neuer ganzheitlicher Konzepte. Aus diesem Grund entstanden Konzepte, welche beispielsweise nur Brauchwarmwasser erzeugen und solche, die sowohl Warmwasser, Raumwärme und Lüftung abdecken. Dadurch u.a. war es möglich, Stärken und Schwächen der Konzepte hervorzuheben.

Da die Konzepte oftmals technologieübergreifend sind, wurde zur besseren und schnelleren Verständlichkeit eine Nomenklatur erstellt, welche in Tabelle 5-1 dargestellt ist.

Tabelle 5-1: Nomenklatur der Konzeptentwicklung

Nomenklatur	
ST	Solarthermie
PV	Photovoltaik
PVth	Photovoltaik und Solarthermie
WP	Wärmepumpe
BTA	Bauteilaktivierung
LÜ	Lüftung
WW	Warmwasser
HZ	Heizung

Anhand der Nomenklatur ist ein Erkennen der involvierten Technologien der Konzepte erkennbar. So hat das zuvor betrachtete Beispiel der Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe die Nomenklatur PV-WP-WW-HZ. An erster Stelle (PV) wird die Energiequelle, an zweiter Stelle (WP) die Kategorie (s.o.), an dritter Stelle (WW) ob Warmwasser gedeckt wird, an vierter Stelle (HZ) ob Heizung gedeckt wird, angeordnet.

Durch das Gliedern und Ordnen der Energieversorgungskonzepte hinsichtlich Technologie und Wärmequelle konnte ein übersichtliches Portfolio an Energieversorgungskonzepten entstehen. Die Nomenklatur ermöglicht ein schnelles Erkennen von möglichen Synergien der Technologien.

5.1.2 Vorgangsweise der Konzeptentwicklung

Die Energieversorgungskonzepte werden schematisch in einer eindimensionalen Darstellung angefertigt. Eine dafür angefertigte Zeichenvorlage des Referenzgebäudes, wie unsere Abbildung zeigt, dient als Ausgangssituation der unterschiedlichen Konzeptdarstellungen.

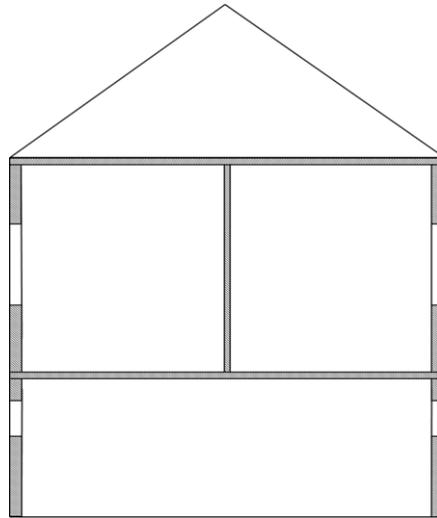


Abbildung 5-2: Vorlage der Konzeptdarstellung

Strombasierende Technologien müssen den Solarstrom direkt in Wärme umwandeln, eine Netzeinspeisung ist zugunsten der Vergleichbarkeit nicht angedacht.

Durch diese Wahl der Randbedingungen können später gezeigte, quantitative und qualitative Bewertungen der Energieversorgungskonzepte durchgeführt und verglichen werden.

5.2 Energieversorgungskonzepte

In diesem Kapitel werden die Energieversorgungskonzepte dieser Arbeit vorgestellt. Durch die Definition der Rahmenbedingungen der Konzeptentwicklung wie Referenzgebäude, Konzeptordnung oder Nomenklatur wurde eine übersichtliche Darstellung fokussiert.

Da viele Konzeptideen entstanden, werden an dieser Stelle, wie bereits in der Einführung des Kapitels erklärt, nur die vielversprechendsten Ideen im Detail vorgestellt und diskutiert. Jene Konzepte, auf welche an dieser Stelle nicht detailliert eingegangen werden kann, finden Erwähnung in der „Übersicht der Energieversorgungskonzepte“.

Neben den innovativen Energieversorgungssystemen wird eine klassische solarthermische Anlage als Referenzsystem definiert, die im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird.

5.2.1 Kategorie: Solarthermie

Das Nutzen der Sonnenenergie zur Warmwasser- und Raumwärmeerzeugung mittels solarthermischer Kollektoren war einer der Schwerpunkte der Konzeptfindungsphase. Hierzu wurden unterschiedliche Energieversorgungskonzepte definiert, die sich im Wesentlichen hinsichtlich gepumpten und nicht gepumpten Systeme unterscheiden. Tabelle 5-2 fasst die Konzepte zusammen.

Tabelle 5-2: Übersicht der solarthermischen Energieversorgungskonzepte

	Konzeptnummer (KNr.)	Auswahl
ST, Speicherkollektor, Brüstungsintegriert	1.1	-
ST, Thermosyphonkollektor	1.2	+
ST, Thermosyphon-Plattenheizkörper	1.3	-
ST, klassische Solarthermieanlage	1.4	+

Neben Speicher- und Thermosyphonkollektoren zur Warmwasserbereitung werden Systeme zur teilsolaren Raumheizung und Systeme, welche sowohl Warmwasser- und Raumwärme erzeugen können, untersucht. Nachfolgend wird auf das Konzept des Thermosyphonkollektors zur Trinkwarmwasserbereitung und auf eine klassisch angeordnete Solarthermieanlage eingegangen.

(KNr. 1.2) Thermosyphonkollektor [ST]

Der Einsatz von fassadenintegrierten Thermosyphonkollektoren zur Warmwasserbereitung könnte einen wesentlichen Beitrag zur Deckung des Warmwasserbedarfs leisten. Neben dem Kollektor bedarf es eines zusätzlichen Speichers, welcher entweder den Bestand ersetzt oder als Vorschalt Speicher eingebunden werden kann (wegen der Verwendung von Frostschutzmittel im Solarkreis ist eine Systemtrennung von der Trinkwasseranlage notwendig). Der Speicher kann sowohl direkt in die vorgefertigte Fassade integriert werden, aber auch im Bereich der innenliegenden Wohnräume Platz finden. Abbildung 5-3 zeigt das Konzept im Detail.

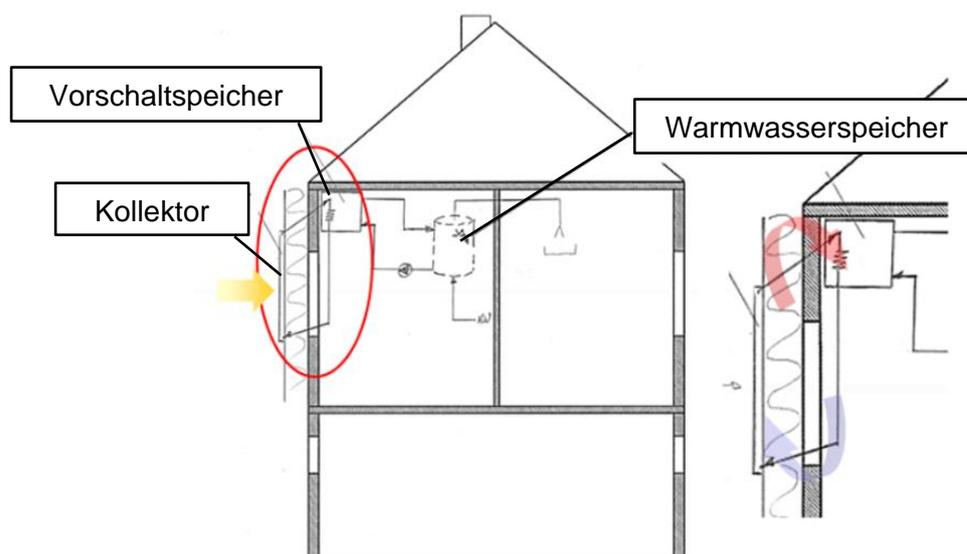


Abbildung 5-3: Thermosyphonkollektor

Reicht die solare Einstrahlung zur Warmwasserbereitung nicht aus, wird die Versorgungssicherheit mit elektrisch betriebenem Heizstab sichergestellt.

Die mögliche Verlegung und Integration des Warmwasserspeichers in die Fassade und der dadurch gewonnene Wohnraum sind wesentliche Vorteile dieses Konzeptes. Eine dezentrale Wohnungsversorgung, welche anhand dieses Konzeptes möglich ist, macht hinsichtlich der

oftmals großen Warmwasserverteilverluste Sinn. Durch das Thermosyphonprinzip kann zusätzlich elektrischer Strom einer Pumpe eingespart werden.

Die Montage bzw. Unterbringung des Speichers in der Fassade hat hinsichtlich der Zugänglichkeit für Instandhaltungszwecke Nachteile. Auch die Speichergröße und Speicherdämmung tragen durch den begrenzten Bauraum der Fassaden und dem außenliegenden Montageort des Speichers Probleme mit sich.

Tabelle 5-3 stellt wesentliche Vor- und Nachteile von fassadenintegrierten Thermosyphonkollektoren als Energieversorgungskonzept dar.

Tabelle 5-3: Vor- und Nachteile Thermosyphonkollektor

Vorteile	Nachteile
Wohnraumgewinn	Zugänglichkeit bezüglich Wartung
Stromersparnis durch Schwerkraftprinzip	Bauraum bezüglich Speichergröße
beherrschbare Technologie	Dämmung nach außen

(KNr. 1.4) Klassische solarthermische Anlage [ST]

Die klassische solarthermische Anlage wurde als energetisches Referenzsystem der Konzeptbewertung ausgewählt.

Das System zeigt wichtige Fragestellungen bezüglich Energiewandlung, Energieverteilung und Speicherung auf. Ein Pufferspeicher dient diesem Konzept als zentrale Verteil- und Speichereinrichtung. Sowohl die Kollektoren als auch ein Kessel als Back Up bedienen den im Keller stehenden Pufferspeicher mit Energie, welche anschließend zur Warmwasserbereitung und Raumwärmeerzeugung in die Wohneinheiten verteilt wird. Die Verteilung basiert auf einem Zwei-Leiter-Netz und die Übergabe in den Wohnungen wird von Wohnungsstationen übernommen.

Die zentrale Anordnung des Speichers und dadurch zentrale Verteilung der Energien haben Vorteile hinsichtlich einfacher Zugänglichkeit und Wartung der Anlage. Der Zugang zu den privaten Wohneinheiten für Wartungszwecke ist nicht notwendig. Auch hat eine zentrale Anordnung der Solaranlage Vorteile bezüglich einer geringeren Anzahl im Gebäude installierter Systeme.

Die optimale Nutzung der solarthermischen Anlage bedarf der Installation großer Pufferspeichervolumen. Oftmals findet dieses Volumen im Bereich des Gebäudes keinen Platz, wodurch ein Gebäudezubau notwendig ist. Außerdem haben zentrale Anlagen den Nachteil langer Rohrleitungen, die Wärme- und Druckverluste verursachen, was wiederum negativen Einfluss auf den Systemwirkungsgrad der Anlagen hat.

Abbildung 5-4 zeigt die Referenzanlage. Die Anordnung der Kollektoren sind symbolhaft auf den Dachflächen, können jedoch auch fassadenintegriert sein.

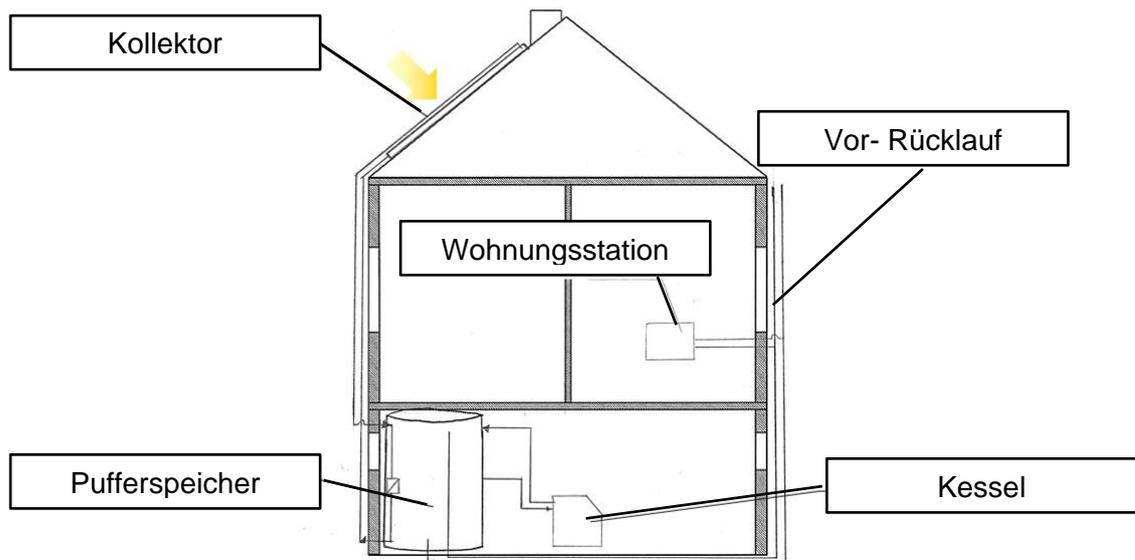


Abbildung 5-4: Referenzanlage, klassisch angeordnete Solarthermieanlage

Die wesentlichen Vor- bzw. Nachteile werden in Tabelle 5-4 zusammengefasst.

Tabelle 5-4: Vor- und Nachteile der klassisch angeordneten Solarthermieanlage

Vorteile	Nachteile
zentraler Zugang zu Haustechnik Monovalenz der Haustechnik nur ein Verteilsystem	Verluste durch lange Leitungsstränge große installierte Leistungen notwendig großer Platzbedarf des Pufferspeichers

5.2.2 Kategorie: Bauteilaktivierung

Besonders interessant könnte die Verwendung aktiver Bauteile, also die Nutzung des Mauerwerks als thermischen Speicher und Wärmeabgabesystem sein. Das im Referenzgebäude bestehende Hochtemperaturwärmeabgabesystem könnte ersetzt werden, wodurch weniger Haustechnikkomponenten im Wohnbereich Platz finden müssten. Auch würden dadurch weniger Sanierungsarbeiten im Wohnbereich anfallen, da das neue System von außen angebracht werden würde.

Es kann die durch Solarkollektoren erzeugte Energie im Schwerkraftprinzip bzw. gepumpt dem Mauerwerk zugeführt werden. Neben der Aktivierung des Fassadenmauerwerkes umfassen die Konzepte die Bauteilaktivierung der Kellerdecke bzw. der Dachbodenflächen, die Nutzung von Luftkollektoren zur thermischen Aktivierung, die thermische Aktivierung von Kaminschächten als auch die Einbindung von hydraulischen Weichen zur Energieverteilung. Dem Gedanken der schnellen, reibungslosen und innovativen Sanierung kann durch den Einsatz von thermisch aktivierten Bauteilen Rechnung getragen werden. Tabelle 5-5 fasst alle entstandenen Energieversorgungskonzepte zusammen.

Tabelle 5-5: Konzeptübersicht Bauteilaktivierung

	Konzeptnummer (KNr.)	Auswahl
ST-BTA-HZ, Thermosyphonkollektor	2.1	-
ST-BTA-WW-HZ, Thermosyphonkollektor	2.2	-
ST-BTA-WW-HZ, hydraulische Weiche	2.3	+
ST-BTA-WW-HZ, Dachboden-Kellerdecke	2.4	-
ST-BTA-WW-HZ, Luftkollektor	2.5	+
BTA-HZ Kaminschacht	2.6	+

Die nachfolgenden Energiekonzepte der Bauteilaktivierung werden in Verbindung mit Solarkollektoren vorgestellt. Eine Substitution dieser kann bei geänderten Rahmenbedingungen, wie beim Einsatz von Wärmepumpen, sinnvoll sein.

(KNr. 2.3) Thermische Bauteilaktivierung in Verbindung mit hydraulischen Weichen zur Wärmeverteilung [ST-BTA-WW-HZ]

Das in Abbildung 5-5 dargestellte Energieversorgungskonzept wird dem Gedanken einer vielseitigen und umfangreichen Fassadenintegration gerecht.

Die hydraulische Weiche dient hier als zentrales Element zur Energieaufnahme und Energieverteilung, also der Entkoppelung mehrerer unterschiedlicher Kreisläufe. Sowohl die Solaranlage als auch das Back Up speisen die Weiche mit thermischer Energie, welche anschließend die unterschiedlichen Komponenten wie Warmwasserbereitung und Raumwärmeerzeugung mit deren benötigten Temperaturniveaus bedient. Hohe Temperaturen werden zur Warmwasserbereitung herangezogen, niedrige Temperaturen zur thermischen Aktivierung des Mauerwerks. Die Wärmeabgabeflächen zur thermischen Aktivierung der Außenwände sind bereits in der vorgefertigten Fassade integriert, die Koppelung der Warmwasserbereitung muss über eine definierte Übergabe in den Wohnbereich erfolgen.

Hohe Vorfertigungsmöglichkeiten und die Integration einer Vielzahl an Haustechnikkomponenten in die Fassade zählen zu den Stärken dieses Konzeptes. Durch ein „legoartiges“, modulhaftes Zusammenbauen des Haustechnikkonzeptes werden vielseitige Einsatzmöglichkeiten begünstigt.

Die Nutzung des Mauerwerks als thermischer Speicher und Wärmeabgabesystem könnte bei Sanierungen dieser Art eine wesentliche Rolle einnehmen. Besonders die niedrigen Aktivierungstemperaturen und die großen Speicherkapazitäten des Mauerwerks bringen Vorteile, wie beispielsweise den möglichen Verzicht auf wasserbasierende Heizungspufferspeicher oder bessere Kollektoreffizienzen, mit sich. Die zur Bauteilaktivierung notwendigen Temperaturen sollten etwa 25°C bis 35°C haben.

Die strahlenden Wärmeabgabeflächen des Mauerwerks wirken sich positiv auf die Behaglichkeit der Räume aus. Kritisch muss die Verwendung von thermisch aktiven Bauteilen jedoch hinsichtlich möglicher Überhitzungen der Wohnräume betrachtet werden. Speziell in Übergangszeiten könnten unbehagliche Raumtemperaturen Folge einer Überhitzung der Innenwände sein.

Geringe bauliche Interaktionen in der Sanierungsphase machen dieses Konzept interessant.

Barrieren stellen die hydraulische Weiche und die Wandaufbauten der Geschosswohnbauten dar.

- Es können Mischvorgänge des Heizungswassers in der hydraulischen Weiche negative Einflüsse auf die Verteilung der optimalen Temperaturniveaus haben
- Es kann bei Wandaufbauten mit schlechtem Wärmedurchgang die benötigte Heizlast nur durch Einsatz von großen Aktivierungsflächen bzw. hohen Aktivierungstemperaturen gedeckt werden.

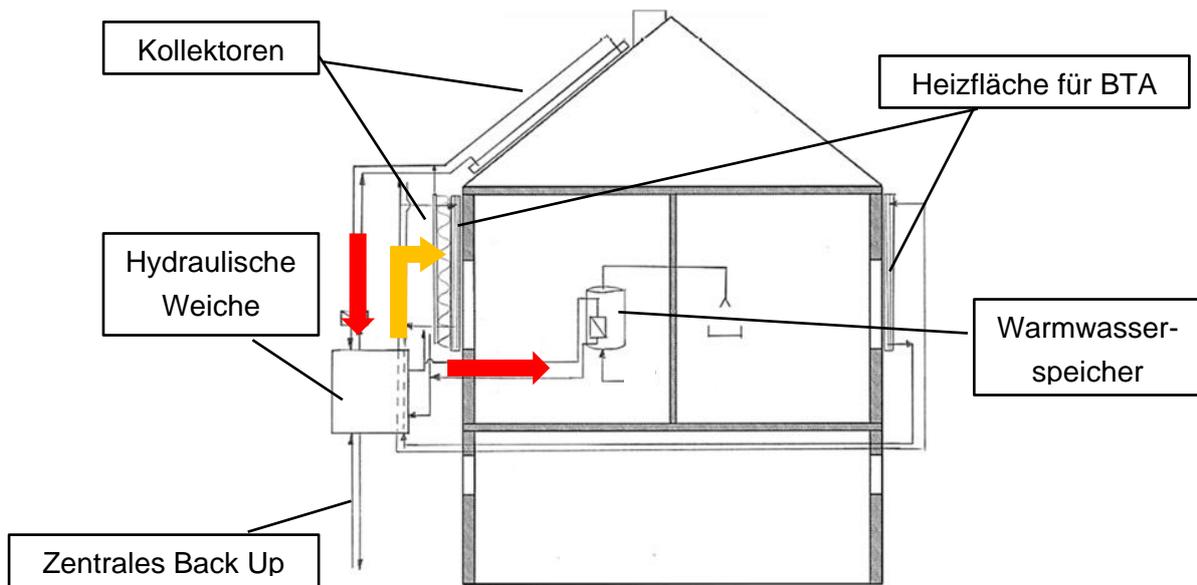


Abbildung 5-5: BTA in Verbindung mit hydraulischen Weichen zur Energieverteilung

Das oben dargestellte Konzept kann sowohl zentral als auch semizentral angeordnet werden. Eine semizentrale Stockwerksanordnung hat den Vorteil von mehreren kleineren Anlagen, eine zentrale Wartung für jedes Stockwerk wäre möglich.

Tabelle 5-6 fasst nochmals die wichtigsten Vor- und Nachteile dieses Energieversorgungskonzeptes zusammen.

Tabelle 5-6: Vor- und Nachteile der BTA in Verbindung mit hydraulischen Weichen

Vorteile	Nachteile
flexibler und vielseitiger Einsatz	Thermische Mischvorgänge in hydr. Weiche
hohe Vorfertigungsmöglichkeit der Haustechnik	nicht für jeden Wandaufbau geeignet
geringer Eingriff in das Bestandsgebäude	komplexe Verrohrung

(KNr. 2.5) Thermische Bauteilaktivierung der Außenwände mittels Luftkollektor [ST-BTA-WW-HZ]

Nachfolgendes Energieversorgungskonzept bedient sich der Luft als Energieträgermedium. Ein fassadenintegrierter Luftkollektor soll Luft erwärmen, welche im Heizbetrieb durch Kanäle an die Außenmauer des Bestandsgebäudes geführt wird. Dort dient die warme Luft als Wärmequelle zur thermischen Aktivierung des Mauerwerks. Anschließend Wärmeleitung durch das

Mauerwerk führt die Wärme den Wohnräumen zu. Abbildung 5-6 zeigt links die Konzeptdarstellung und rechts den Luftkollektor im Heizbetrieb im Detail.

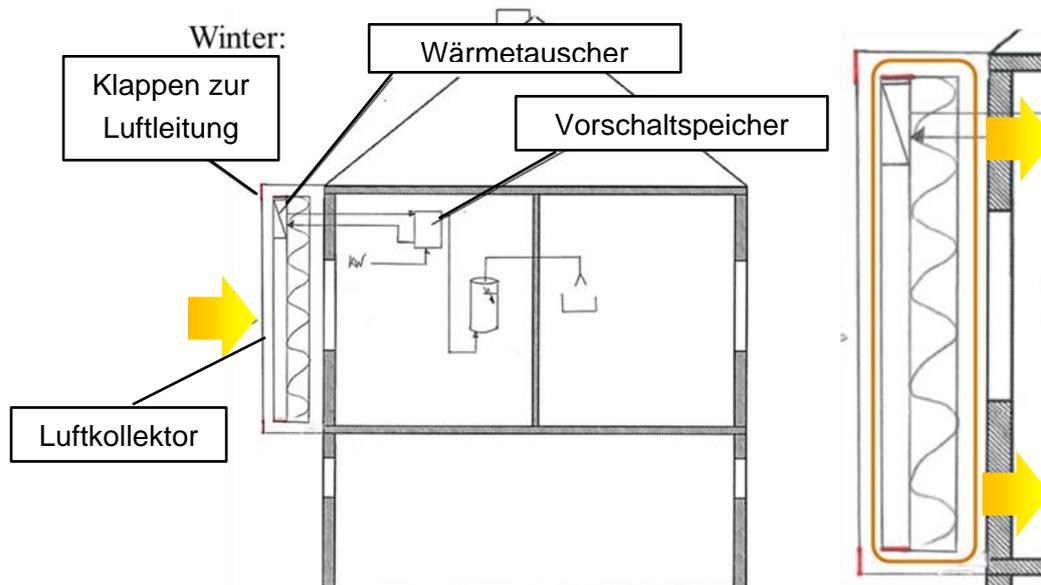


Abbildung 5-6: BTA mittel Luftkollektor (Darstellung für Heizbetrieb)

Besteht kein Heizwärmebedarf, so schalten Klappen die Luftführung um und die warme Luft strömt über einen Wärmetauscher. Dieser bedient die Warmwasserbereitung, welche über einen Vorschalt Speicher mit dem bestehenden Warmwassersystem gekoppelt ist, wie Abbildung 5-7 darstellt.

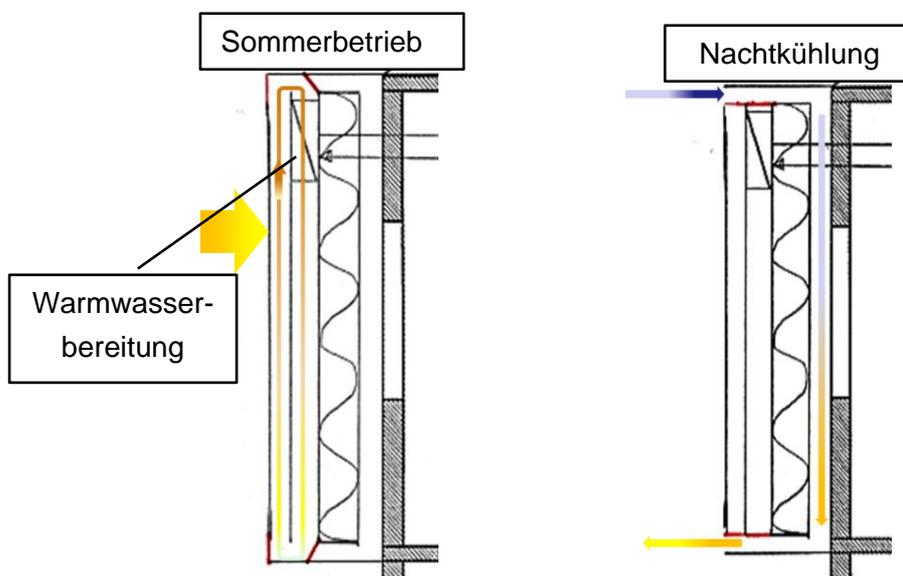


Abbildung 5-7: BTA mittels Luftkollektor (Darstellung Warmwasserbereitung und Nachlüftung)

Um in den Sommermonaten einem Überhitzen des Gebäudes vorzubeugen, besteht die Möglichkeit einer dritten Klappenstellung. Diese bewirkt eine Nachtkühlung der Gebäudehülle, wodurch sich das Mauerwerk nachts thermisch entladen kann. Abbildung 5-7 rechts zeigt die Klappenstellung bei Nachtlüftungsbetrieb.

Auch diese Konzeptanordnung hätte den Vorteil eines hohen Vorfertigungsgrades und eines geringen Eingriffes in das Bestandsgebäude während des Sanierungszeitraums. Im Gegensatz zu wassergeführten Systemen benötigt dieses Konzept keine zusätzlichen Wärmeabgabeflächen zur thermischen Mauerwerksaktivierung und könnte eine kostengünstige Alternative zu wassergeführten Systemen sein.

Speziell die mögliche Nachtkühlung könnte in den Sommermonaten eine natürliche Kühlung der Wohnräume bewirken und somit positiven Einfluss auf die thermische Behaglichkeit nehmen. Durch die Verwendung von ungefilterter Umgebungsluft gelangen Staub und Feuchte in den Kanalkreislauf und könnten zu Verunreinigungen bzw. Kondensatbildung führen. Die daraus resultierende Wartung wirft hinsichtlich der Zugänglichkeit weitere Fragestellungen auf. Tabelle 5-7 fasst die wesentlichen Vor- und Nachteile der BTA mittels Luftkollektor zusammen.

Tabelle 5-7: Vor- und Nachteile BTA mittels Luftkollektor

Vorteile	Nachteile
Nachtkühlung in Sommermonaten	Zugänglichkeit bei Instandhaltung
hohe Vorfertigungsmöglichkeit der Haustechnik	Verschmutzungs- und Kondensationsgefahr
Geringer Eingriff in das Bestandsgebäude	Effektivität der BTA abhängig von Wandaufbau

(KNr. 2.6) Thermische Bauteilaktivierung der Kamine [BTA-HZ]

Neben den thermischen Aktivierungen des Fassadenmauerwerks besteht die Möglichkeit einer zusätzlichen Aktivierung der innenliegenden Kaminschächte, wie Abbildung 5-8 links zeigt. Eine Koppelung an eine hydraulische Weiche mit Solarenergie als Wärmequelle ist ebenso möglich wie eine Koppelung mit beispielsweise einem Fernwärmeanschluss.

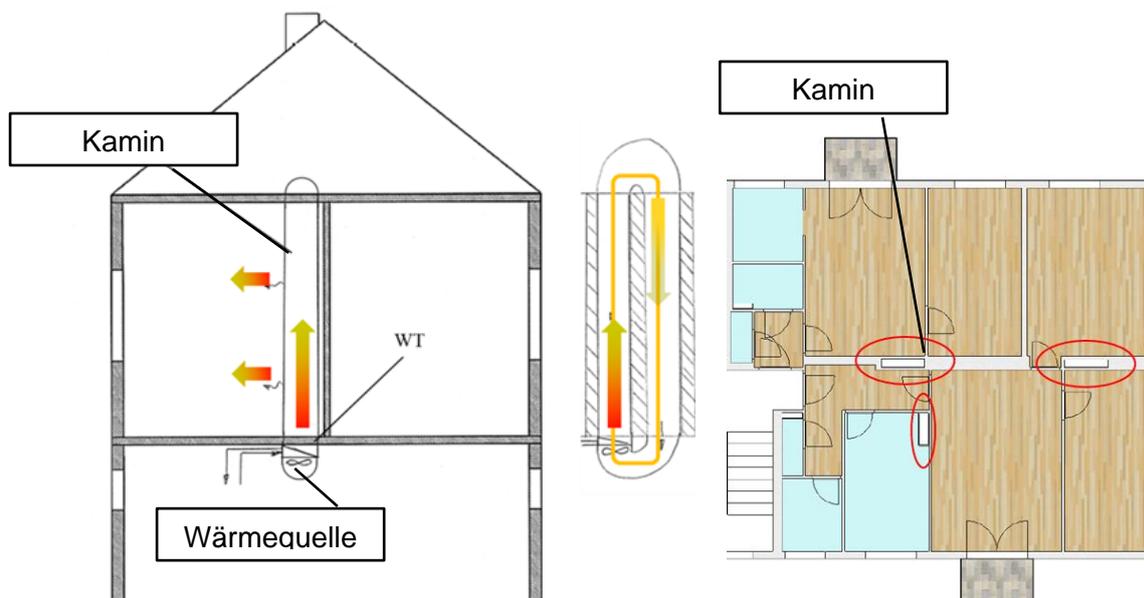


Abbildung 5-8: BTA der Kaminschächte, links Konzept, rechts Grundriss

Die Nutzung der Kaminschächte könnte, bei größeren Heizlasten und damit verbundenen größeren notwendigen Aktivierungsflächen, eine optimale Ergänzung zur thermischen Aktivierung des Fassadenmauerwerks bilden. Neben der Nutzung des Kaminbestandes - dies

hätte positiven Einfluss auf die Kosten - könnte in den Wohnräumen durch die strahlenden Wärmeabgabeflächen eine optimale Behaglichkeit geschaffen werden.

Besonders behutsam muss bei thermischer Aktivierung der Kamine auf deren Lage im Grundriss eingegangen werden. Sie müssen so verteilt sein, dass die Erreichbarkeit möglichst vieler Wohnräume gewährleistet wird. Die Kaminsituation des in dieser Arbeit herangezogenen Referenzgebäudes kann Abbildung 5-8 rechts entnommen werden. Es sind drei Kaminschächte vorhanden, wobei 2 ½ Schächte Wohnungstyp A und ein halber Schacht Wohnungstyp B zur Verfügung stehen.

Da die Kamine oftmals seit Jahren keine Verwendung mehr finden, könnte die Beschaffenheit dieser in einem schlechten Zustand sein. Auch ist ein hydraulischer Abgleich, welcher zur gleichmäßigen Wärmemengenversorgung der Wohneinheit notwendig ist, in den bereits bestehenden Schächten schwierig. Des Weiteren können sich mögliche Leckagen negativ auf die Behaglichkeit auswirken. Zusammenfassen soll Tabelle 5-8 die wesentlichen Vor- und Nachteile.

Tabelle 5-8: Vor- und Nachteile: BTA der Kaminschächte

Vorteile	Nachteile
Ergänzung zur thermischen Fassadenaktivierung	Erreichbarkeit möglichst vieler Räume
Kostengünstig durch Bestandsnutzung	Aufwendiger Hydraulischer Abgleich
geringer Eingriff in das Bestandsgebäude	Kaminanordnung bei Gebäuden unterschiedlich

5.2.3 Kategorie: Photovoltaik

Der Einsatz von Photovoltaik und der anschließenden direkten Nutzung zur Wärmeherzeugung ist Schwerpunkt dieses Kapitels. Wie in Kapitel 5.1.2 bereits erwähnt, muss der gewonnene Solarstrom direkt in Wärme umgewandelt und darf nur als thermische Energie gespeichert werden. Netzeinspeisung bzw. elektrische Speicherung des Solarstromes ist hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Energieversorgungskonzepte keine Option.

Die nachfolgenden Energieversorgungskonzepte umfassen die direkte Umwandlung des Solarstromes in Wärme mittels elektrischen Heizstabes. Für Heizungszwecke wurde auf die Umwandlung des Solarstromes in Infrarotstrahlung fokussiert. Tabelle 5-9 gibt eine Übersicht über die Energieversorgungskonzepte.

Tabelle 5-9: Konzeptübersicht Photovoltaik

	(KNr.)	Auswahl
PV-WW, direkt in WW-Speicher	3.1	+
PV-WW, mit Vorschalt Speicher	3.2	-
PV-HZ, mit Infrarotheizung	3.3	-

(KNr. 3.1) Photovoltaik und direkte Nutzung des Solarstromes zur Warmwasserbereitung [PV-WW]

Dieses Energieversorgungskonzept wurde in Anlehnung an das Energieversorgungskonzept GAP:water der Firma Gap-Solutions angefertigt. Der in Kapitel 5.1.2 folgende quantitative Vergleich der Technologien erforderte die Betrachtung der direkten Nutzung des Solarstromes

zur Warmwasserbereitung, weshalb diese Konzeptanordnung in das Portfolio der Energieversorgungskonzepte aufgenommen wurde.

Wie in den einleitenden Worten dieses Kapitels bereits erwähnt, soll der Solarstrom nur in Form von thermischer Energie gespeichert werden.

Ein fassadenintegriertes PV-Modul erzeugt Solarstrom, welcher zu einem Warmwasserboiler geleitet wird. Da der Solarstrom als Gleichstrom vorliegt, gibt es zwei Möglichkeiten zur direkten Nutzung. Einerseits könnte ein zweiter, gleichstrombetriebener elektrischer Heizstab die Umwandlung in thermische Energie übernehmen, andererseits könnte anhand eines Wechselrichters die Umwandlung in Wechselstrom erfolgen. Dies würde die Nutzung des bestehenden Heizstabes begünstigen. Abbildung 5-9 zeigt schematisch die Nutzung von Solarstrom zur Warmwasserbereitung.

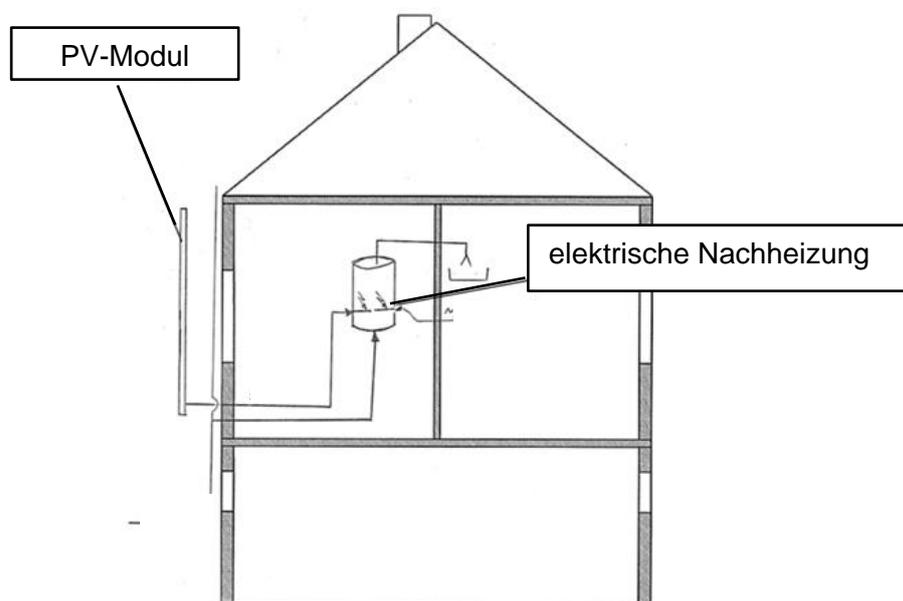


Abbildung 5-9: Photovoltaik zur direkten Warmwasserbereitung

Wesentliche Vorteile von strombasierenden Systemen gegenüber wasserbasierenden sind der geringere Installationsaufwand und geringere Risiken hinsichtlich möglicher Leckagen. Auch können Warmwasserverteilverluste und bauliche Eingriffe in das Bestandsgebäude minimiert werden.

Die direkte Nutzung von Strom zur Wärmeerzeugung ist energetisch nicht sinnvoll, da die elektrische der thermischen Energie gleichwertig wird. Wird eine gleichstrombasierende Warmwasserbereitung gewählt, müsste der Boiler durch einen nicht handelsüblichen Boiler mit zwei Heizstäben ersetzt werden. Dies könnte sich negativ auf die Kosten auswirken.

Tabelle 5-10 fasst die wichtigsten Vor- und Nachteile zusammen.

Tabelle 5-10: Vor- und Nachteile: Photovoltaik zur direkten Warmwasserbereitung

Vorteile	Nachteile
Geringer Installationsaufwand	Umwandlung hochwertiger elektrischer in thermische (minderwertigere) Energie
Geringe Verteilverluste	Boiler mit zwei Heizstäben
Keine Leckagen in Fassade	Kosten für Boiler

5.2.4 Kategorie: Wärmepumpe

Die Integration von Wärmepumpen in vorgefertigte Fassaden könnte einen wesentlichen Beitrag zur effizienten thermischen Versorgung von Geschosswohnbauten leisten. Aus diesem Anlass wurden Energieversorgungskonzepte mit Einsatz von Wärmepumpen definiert. Eine Kombination von solarthermischen und elektrischen Technologien ist ebenso möglich wie die Nutzung der Wohnungsabluft durch die Wärmepumpe. Ziel aller technologischen Kombinationen und Maßnahmen ist die Steigerung der Effizienz der Wärmepumpe und der dadurch geringere Bedarf an Primärenergie.

Neben einer Luft-Wasser-Wärmepumpe wurde die Kombination mit luftgeführten PVth-Kollektoren, unabgedeckten Kollektoren und der Abluftnutzung als Wärmequelle der Wärmepumpe untersucht. Die direkte Nutzung des Solarstromes durch Wärmepumpen und sehr kleine Wärmepumpen in direkter Verbindung mit Warmwasserspeichern wurde ebenso untersucht, wie etwa Luft-Luft-Wärmepumpen zur Zulufterwärmung bzw. -kühlung. Eine Übersicht der Energieversorgungskonzepte gibt Tabelle 5-11.

Tabelle 5-11: Konzeptübersicht Wärmepumpen

	(KNr.)	Auswahl
WP-WW-HZ	4.1	+
PV-WP-WW-HZ	4.2	+
PVth-WP-WW-HZ	4.3	+
PV-WP-WW, brüstungsintegriert	4.4	-
PV-WP-WW-HZ, unabgedeckter Kollektor	4.5	-
WP-WW-HZ, Abluftnutzung und Zuluftkühlung	4.6	-

Unterschiedliche Größen und Leistungen von Wärmepumpen machen zentrale, semizentrale und dezentrale Anordnungen möglich. Abbildung 5-10 veranschaulicht im Bild links eine mögliche zentrale Anordnung der Wärmepumpe in Kombination mit PVth-Kollektoren, mittig eine Installation als Stockwerksanordnung (semizentral), rechts dezentral mit PVth-Kollektoren.

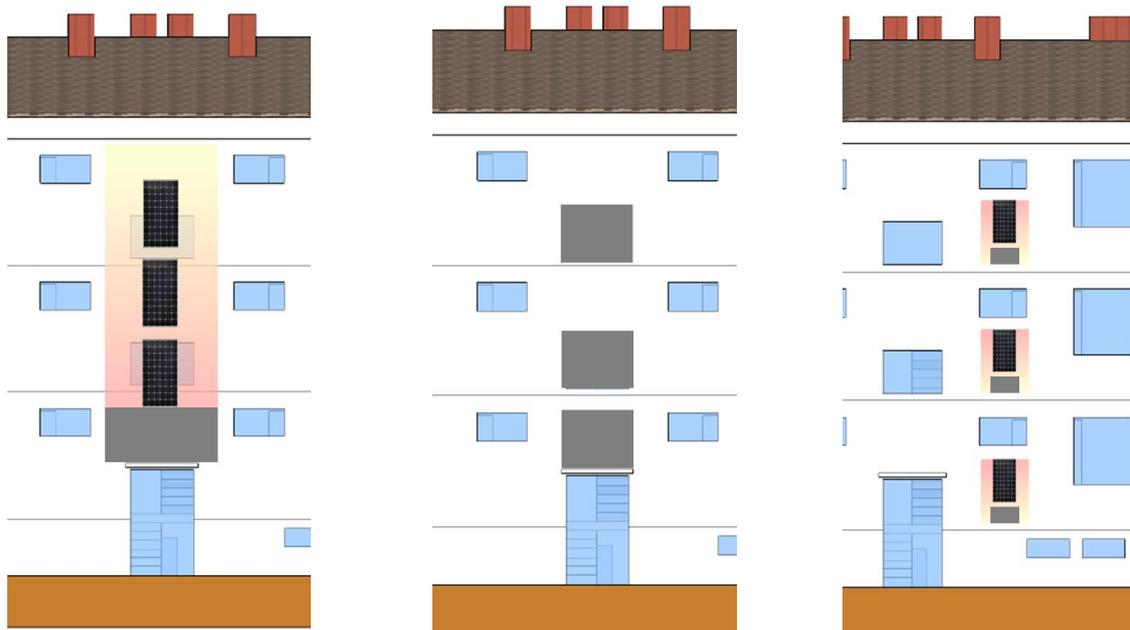


Abbildung 5-10: Installationsmöglichkeiten von Wärmepumpen

In weiterer Folge werden die Energieversorgungskonzepte der Wärmepumpe vorgestellt. Eine Beurteilung, ob sie sich als zentrale, semizentrale oder dezentrale Anordnung eignen, muss individuell untersucht werden. Speziell brandschutztechnische Fragen, aber auch Fragen der Zugänglichkeit bei dezentraler bzw. semizentraler Anordnung müssen diskutiert werden. Diese detaillierten Fragestellungen konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden.

(KNr. 4.1) Luft-Wasser Wärmepumpe [WP-WW-HZ]

Nachfolgendes Energieversorgungskonzept (Abbildung 5-11) zeigt eine mögliche Anordnung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe. Die direkte Integration der Wärmepumpe in die Fassade wurde in dieser Phase der Konzeptentwicklung als möglich erachtet. Eine Realisierung bedarf einer detaillierten Betrachtung der gesetzlichen Rahmenbedingungen wie auch möglicher technischer Anpassungen.

Umgebungsluft dient als thermische Energiequelle des Verdampfers der Wärmepumpe. Die benötigte elektrische Energie wird aus dem elektrischen Netz entnommen. Die Wärme wird anhand von Wohnungsstationen an das Heizungssystem bzw. Warmwassersystem übergeben. Der Einsatz von Wärmepumpen hat den Vorteil eines monovalenten Systems. Warmwasserbereitung und Raumwärmeerzeugung können von einem System bedient werden. Elektrischer Strom wird nicht mehr direkt in Wärme umgewandelt, sondern erfährt anhand der Wärmepumpe eine thermische Veredelung. Diese hängt von der Leistungszahl der Wärmepumpe ab.

Der Vorfertigungsgrad der Fassade könnte durch die Installation der Wärmepumpe sehr groß sein. Eine definierte Anschlussstelle zur Wärmeübergabe würde die einzig notwendige bauliche Maßnahme im Wohnbereich sein, wodurch der Eingriff in den privaten Teil des Bestandsgebäudes minimiert werden könnte.

Problematisch könnte der Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpen bezüglich der Schallbelastung des Gerätes sein. Der Kompressor der Wärmepumpe, aber auch der Ventilator

des Verdampfers emittiert Schall, wodurch ein unbehaglicher Zustand entstehen könnte. Speziell hinsichtlich dieser Thematik bedarf es genauer Untersuchungen, die jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit sind.

Da die nachträgliche Änderung des Wärmeabgabesystems nicht vorgesehen ist, muss die Wärmepumpe für Heizungszwecke auf hohen Vorlauftemperaturen betrieben werden. Hohe Vorlauftemperaturen haben wesentlichen Einfluss auf die Leistungszahl der Wärmepumpe und damit die Effizienz der Anlage [39].

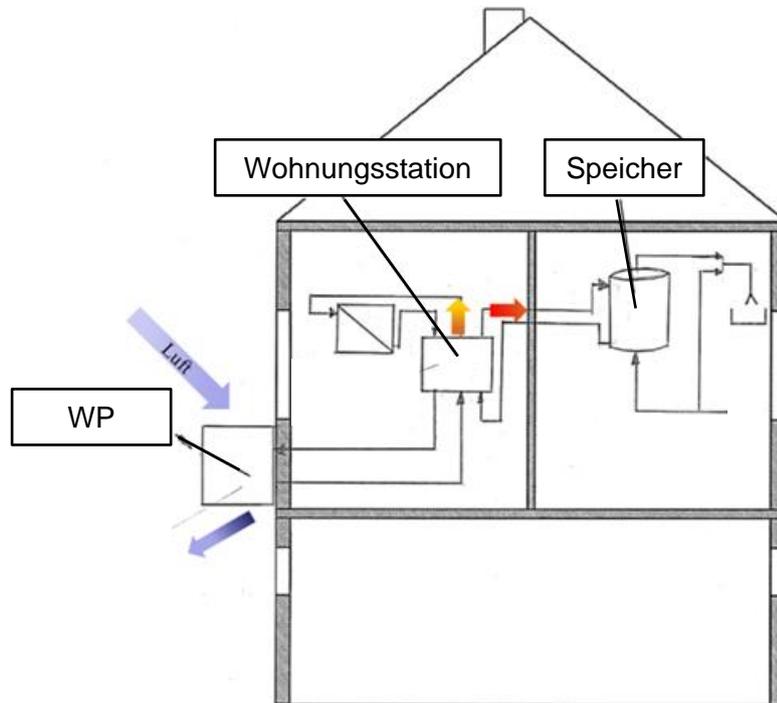


Abbildung 5-11: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Tabelle 5-12 fasst die wichtigsten Vor- und Nachteile beim Einsatz von fassadenintegrierten Wärmepumpen zusammen.

Tabelle 5-12: Vor- und Nachteile: Wärmepumpe

Vorteile	Nachteile
Monovalentes System	Schallbelastung
Effiziente Wirkungsweise der Wärmepumpe	Fragliche Zugänglichkeit für Instandhaltung
Hoher Vorfertigungsgrad	Verbindung mit Hochtemperatur-Wärmeabgabesystem

(KNr. 4.2) PV kombiniert mit Luft-Wasser-Wärmepumpe [PV-WP-WW-HZ]

Nachfolgende Konzeptanordnung unterscheidet sich zur vorherigen nur dahingehend, dass dieses Energieversorgungskonzept den Solarstrom einer PV-Anlage nutzen kann. Prinzipiell gilt auch bei der PV-Wärmepumpenkombination, dass der Solarstrom nur in Form von Wärme gespeichert werden kann.

Wesentliche Vorteile gegenüber solarthermischen Anlagen sind die geringeren Verteilverluste der elektrischen Solaranlage. Weiters haben elektrische Systeme hinsichtlich baulicher Toleranzen (Passgenauigkeit) Vorteile. Abbildung 5-12 zeigt die Konzeptanordnung.

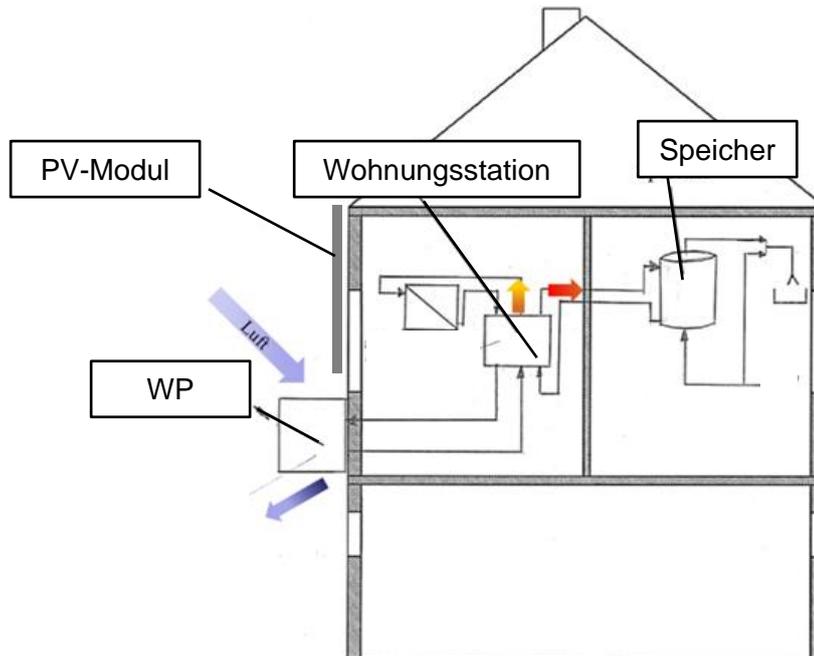


Abbildung 5-12: Kombination PV-WP-WW-HZ

Im Wesentlichen bleiben die Vor- und Nachteile ähnlich dem zuvor beschriebenen Energieversorgungskonzept und sind nachfolgend nochmals zusammengefasst.

Tabelle 5-13: Vor- und Nachteile: PV-WP

Vorteile	Nachteile
Solare Erträge durch PV-Nutzung	Schallbelastung
Geringe Leitungsverluste der PV-Anlage	Fragliche Zugänglichkeit für Instandhaltung
größere bauliche Toleranzen	Verbindung mit Hochtemperatur-Wärmeabgabesystem

(KNr. 4.3) PVth kombiniert mit Luft-Wasser Wärmepumpe [PVth-WP-WW-HZ]

Zum Erreichen einer effizienteren Wärmepumpe könnte die Installation von luftgeführten PVth-Kollektoren beitragen. Es soll die Solaranlage die Wärmepumpe mit elektrischem Strom speisen und die im Kollektor erwärmte Luft dem Verdampfer der Wärmepumpe zugeführt werden. Da die Wärmepumpe nun nicht mehr Luft bei Umgebungstemperatur, sondern erwärmte Luft des Kollektors zur Verdampfung des Kältemittels heranzieht, kann die Wärmepumpe öfters im Bereich besserer Leistungszahlen effizienter arbeiten. Abbildung 5-13 zeigt eine mögliche Konzeptanordnung.

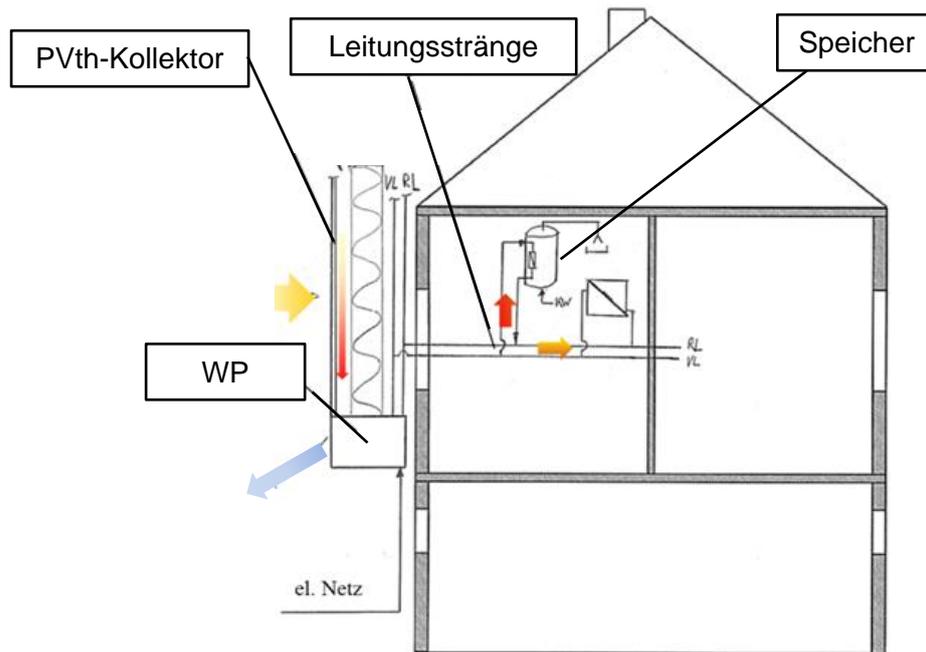


Abbildung 5-13: PVth-Wärmepumpe

Anhand der Kombination von Photovoltaik und vorgewärmter Luft, also der Erhöhung der Wärmequelle der Wärmepumpe, soll die Effizienz dieser gesteigert werden (s. Kapitel 6.2.3). Schwachstelle dieser Systemanordnung könnte, neben den in den zuvor beschriebenen Konzepten, der große notwendige Luftvolumenstrom des Wärmepumpenverdampfers sein.

Tabelle 5-14: Vor- und Nachteile: PVth-WP

Vorteile	Nachteile
Leistungszahlerhöhung durch Lufterwärmung	Schallbelastung
größere solare Erträge	Zugänglichkeit für Instandhaltung
hoher Vorfertigungsgrad	Verbindung mit Hochtemperatur-Wärmeabgabesystem

5.2.5 Kategorie: Lüftung

Die sehr dichte Gebäudehülle hat ein Unterbinden der natürlichen Infiltration zur Folge. Dadurch gewinnt der Einsatz einer Lüftungsanlage an Bedeutung.

In diesem Kapitel werden innovative, aber auch bereits verwirklichte Lüftungskonzepte untersucht und in das Konzeptportfolio aufgenommen. Neben dezentralen Einzelraumlüftungen und zentralen Lüftungsanlagen werden Lüftungskonzepte mit zentraler Abluft und dezentraler Zuluft untersucht. Tabelle 5-15 gibt eine Übersicht aller Lüftungskonzepte.

Tabelle 5-15: Konzeptübersicht Lüftung

	Konzeptnummer	Auswahl
LÜ, dezentrale Einzelraumlüftung)	5.1	+
LÜ, zentrale Lüftungsanlage	5.2	-
LÜ, dezentrales Lüftungsgerät mit Luftkollektor	5.3	-
LÜ, zentrale Abluft, dezentrale Zuluft mittels Luftkollektor	5.4	+

Die Lüftungskonzepte haben als Energieversorgungskonzept eine eher untergeordnete Rolle, da sie keine aktive Energiequelle sind. Trotzdem kann durch Abluftwärmerückgewinnung ein wesentlicher Beitrag zur Deckung des Heizwärmebedarfs geleistet werden.

(KNr. 5.1) dezentrale Lüftungsanlage [LÜ]

Dezentrale Lüftungsanlagen, wie sie schematisch in Abbildung 5-14 dargestellt sind, dienen zur Lüftung der Wohneinheiten. Durch ihre dezentrale Anordnung kann der bauliche Eingriff in das Bestandsgebäude klein gehalten werden und die Vorfertigung hoch sein.

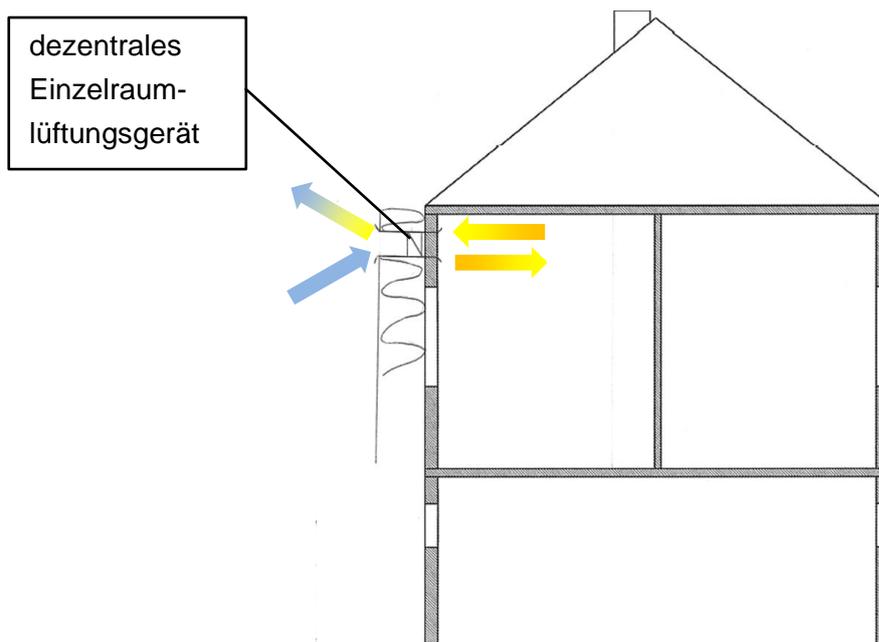


Abbildung 5-14: Dezentrale Lüftungsanlage

Die Wärmerückgewinnung findet direkt im Gerät statt, wodurch ein Vorwärmen der Zuluft für einen behaglichen Luftwechsel sorgt. Dezentrale Lüftungsgeräte können raumweise oder in definierten Abluft- bzw. Zulufräumen installiert werden.

Der Einsatz dezentraler Lüftungsgeräte ermöglicht eine gute Kombinationsmöglichkeit mit den Energieversorgungskonzepten der vorhergehenden Kapitel. Nachteilig sind Wartung und Zugänglichkeit. Die Bewohnerinnen bzw. Bewohner müssen allfällige Filterwechsel selbst durchführen, andernfalls können unhygienische Zustände entstehen. Tabelle 5-16 fasst Vor- und Nachteile zusammen.

Tabelle 5-16: Vor- und Nachteile: dezentrale Lüftungsanlage

Vorteile	Nachteile
Direkte Wärmerückgewinnung	Wartung durch Bewohner
Hoher Vorfertigungsgrad	Zugänglichkeit im privaten Bereich
Gute Kombinationsmöglichkeit mit Heizungs- und TWW-Konzepten	Mögliche Hygieneproblematik

(KNr. 5.4) Zentrale Abluft, dezentrale Zuluft mittels Luftkollektor [LÜ]

In diesem Lüftungskonzept wird die Abluft ohne Wärmerückgewinnung den Räumen entzogen und als Fortluft in die Umgebung geführt. Dies kann zentral über Kaminschächte verwirklicht werden wie Abbildung 5-15 veranschaulicht.

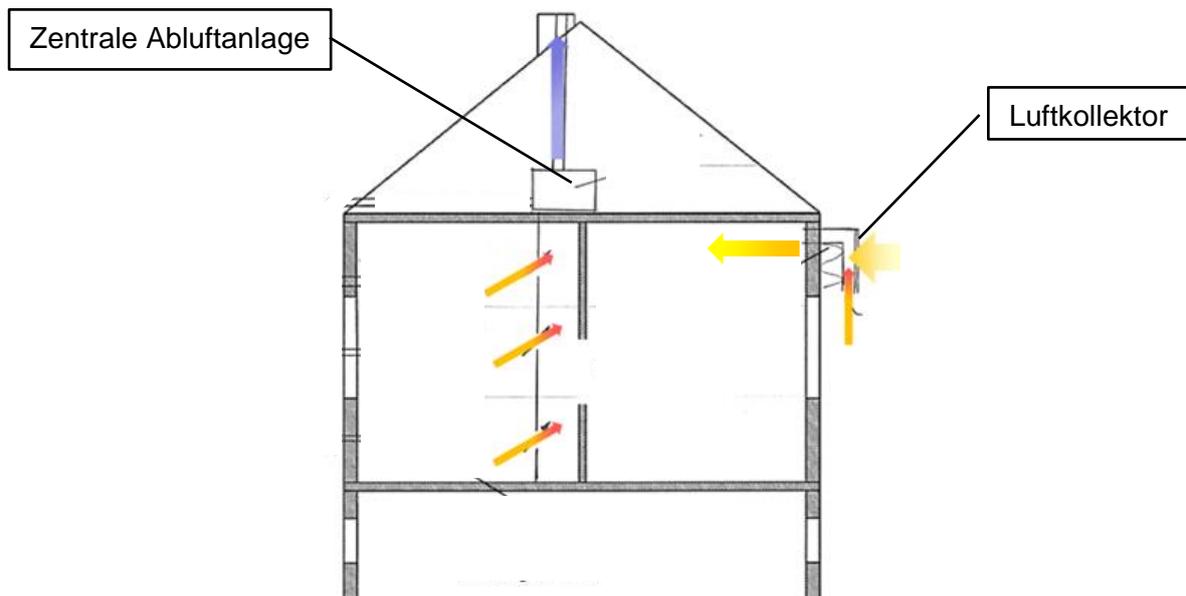


Abbildung 5-15: Zentrale Abluft als Quelle für WP, dezentrale Zuluft mittels Luftkollektor

Die Frischluft wird in den Wintermonaten bzw. der Übergangszeit mittels fassadenintegrierten Luftkollektoren erwärmt und dem Wohnraum als warme Zuluft übergeben. In Sommermonaten, in welchen die Zuluft möglichst kühl sein sollte, dient ein Bypass als Überbrückung des Luftkollektors. Der durch den Auftrieb der Abluftanlage erzeugte Unterdruck und die dichte Gebäudehülle machen ein ventilationsloses Überströmen der Frischluft durch den Luftkollektor möglich.

Zentrale Abluftanlagen können kosteneffiziente Alternativen zu zentralen Zu- und Abluftanlagen sein. Nicht zuletzt deshalb, da keine Enteisierung von Wärmetauschern in den Wintermonaten garantiert werden muss. Die Nutzung bestehender Schächte für Lüftungszwecke und die Integration der Luftkollektoren in den vorgefertigten Fassaden machen eine schnelle Sanierung möglich. Außerdem besteht die Möglichkeit der Abluftnutzung durch beispielsweise Wärmepumpen (wie in Abbildung 5-15 dargestellt).

Tabelle 5-17: Vor- und Nachteile: zentrale Abluft, dezentrale Zuluft

Vorteile	Nachteile
Erwärmung der Frischluft durch Luftkollektoren zentrale Zugänglichkeit der Abluftanlage Kombinationsmöglichkeit mit Wärmepumpe	Kühle Zuluft an sonnenarmen Wintertagen Zugänglichkeit Luftkollektor im Privatbereich Keine Filterung der Zuluft

Die Vorstellung der Konzepte soll als Grundlage für nachfolgende Konzeptbewertung dienen. Weitere Kapitel beinhalten eine Bewertungsmethode, anhand welcher eine Konzeptauswahl durchgeführt wird.

6 Beschreibung des Bewertungsprozesses

Das dritte Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Entwicklung des Bewertungsprozesses zur quantitativen und qualitativen Bewertung der Energieversorgungssysteme. Zuerst erfolgt die Darstellung der Entwicklung der Bewertungsmethoden, beinhaltend quantitative, qualitative Bewertungsmethoden sowie Methoden der Bewertungsanalyse. Anschließend erfolgt die Auseinandersetzung mit der quantitativen Beurteilung der Energieversorgungskonzepte, beinhaltend Berechnung der solarthermischen Anlage, Berechnung PV-gekoppelter Technologien sowie Berechnungen zur Bauteilaktivierung. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die qualitative Beurteilung.

Der Einsatz dieser Methoden soll die Wahl der geeignetsten Konzepte vereinfachen und eine objektive Auswahl ermöglichen. Auf die Interpretation der Bewertungsergebnisse wird in Kapitel 7 im Detail eingegangen.

6.1 Entwicklung der Bewertungsmethoden

Die Bewertung der Energieversorgungskonzepte soll einerseits quantitativ und andererseits qualitativ erfolgen. Jede dieser Bewertungsarten soll parallel stattfinden, sodass die Konzepte aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden können. Die jeweiligen Ergebnisse aus quantitativer und qualitativer Bewertung werden analysiert und auf mögliche Synergien mit anderen Konzepten verglichen. Anschließend können jene Konzepte, welche sowohl quantitativ als auch qualitativ positiv bewertet wurden, ausgewählt werden und in weiterer Folge im Detail Betrachtung finden. Abbildung 6-1 zeigt den Konzeptschaffungsprozess, der Bewertungsprozess ist rot umrandet.

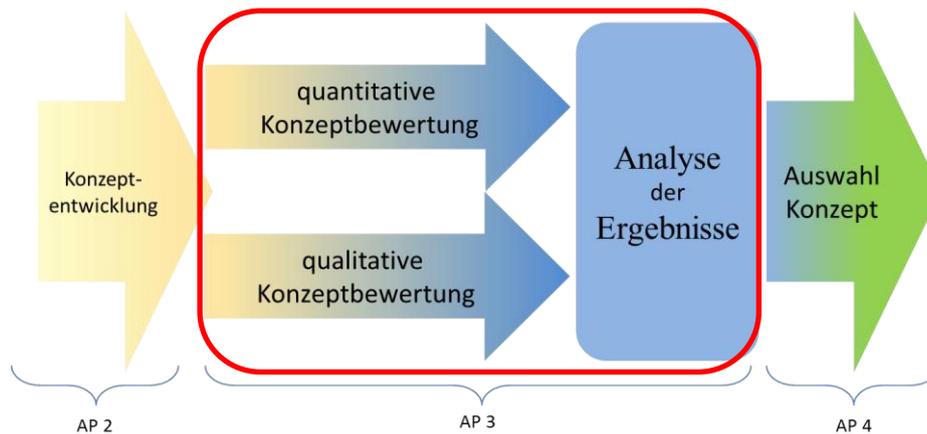


Abbildung 6-1: Bewertungsprozess

Nachfolgend werden die angewandten Methoden des Bewertungsprozesses vorgestellt.

6.1.1 Quantitative Bewertungsmethode

Die quantitative Bewertung hat die Definition und Berechnung vergleichbarer energetischer Kenngrößen zum Ziel. Es sollen nicht die Energieversorgungskonzepte im Detail abgebildet, sondern eine Leistungsabschätzung der Technologie gegeben werden. Der Fokus liegt auf jenen Konzepten, welche eine Nutzung der Solarenergien über die Fassade vorsehen. Die Grobabschätzung des Konzeptpotentials dient als Entscheidungsgrundlage der Konzeptauswahl. Eine rechnerisch detaillierte Abbildung jedes einzelnen Konzeptes wäre in der Konzeptfindungsphase nicht zielführend und würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen.

Definition der energetischen Vergleichsgrößen

Das Ziel der rechnerischen Abschätzung der Energieversorgungskonzepte bedarf der Definition von vergleichbaren Kenngrößen. Solare Technologien sollen hinsichtlich der benötigten Flächen und spezifischen Anlagenenerträgen bei einer solaren Deckung von 20 % bzw. 30 % verglichen werden. Auch dienen die Jahresarbeitszahlen (s. Kapitel 6.2.3) der Wärmepumpen als Vergleichsindikator dieser Technologie.

Charakteristisch werden die Ergebnisse für die Gebäudeausrichtung N-S durchgeführt. Ändernde Orientierung der Fassadenfläche beeinflussen die solaren Erträge. Eine Systemabschätzung und eine „größenordnungsmäßige“ Aussage über die Energieversorgungskonzepte kann jedoch anhand dieser Systemannahme gemacht werden.

Vorgangsweise der Berechnung quantitativer Ergebnisse

Ausgehend von den in Kapitel 5.1.1 vorgestellten Kategorisierungen der Technologien wurden besonders interessante und betrachtungswürdige Energieversorgungskonzepte ausgewählt, wie Abbildung 6-2, rot eingekreist, darstellt.

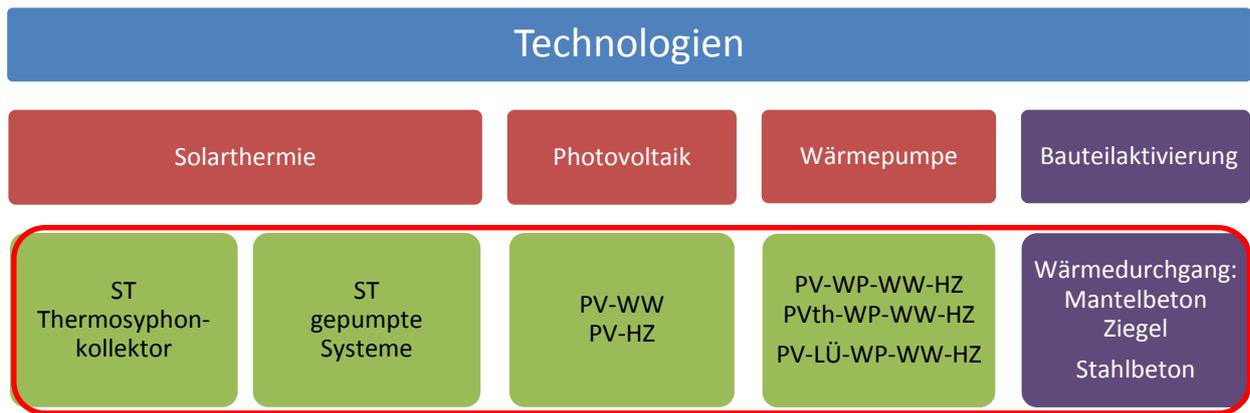


Abbildung 6-2: Definition der Technologie zur quantitativen Betrachtung

Die Berechnung der quantitativen Vergleichskennwerte soll mittels konventionell verfügbarer Simulationssoftware, wie T*Sol der Firma Valentin Software [38], Polysun der Firma Vela Solaris [40] oder TRNSYS [41], aber auch durch eigens angefertigte Berechnungsumgebungen in Microsoft Excel, durchgeführt werden. Jene Simulationen welche in TRNSYS durchgeführt wurden, waren kein Teil dieser Masterarbeit. Im Detail wurde in TRNSYS ein PVth-Kollektor simuliert, die Ergebnisse wurden anschließend in Microsoft Excel implementiert und für weitere Berechnungen verwendet.

Tabelle 6-1 zeigt den Einsatz der Berechnungssoftware. Die anschließende Darstellung der Ergebnisse erfolgt in einer Ergebnismatrix.

Tabelle 6-1: Berechnungssoftware zur quantitativen Bewertung

	T*Sol	Polysun	TRNSYS	Excel
ST, Thermosyphonkollektor	x			
ST, gepumpte Systeme	x			
PV-WW		x		x
PV-HZ		x		x
PV-WP-WW-HZ		x		x
PVth-WP-WW-HZ		x	x	x
PV-LÜ-WP-WW-HZ		x		x
BTA-HZ		x		x

Neben den Berechnungen hinsichtlich der solaren Erträge werden unterschiedliche Wandaufbauten auf ihre Eignung zur Bauteilaktivierung hin untersucht.

Auf die Bewertung der Material- und Fertigungskosten wurde in diesem frühen Stadium der Konzeptausarbeitung bewusst verzichtet.

6.1.2 Qualitative Bewertungsmethode

Die qualitative Konzeptbewertung soll eine ganzheitliche Einschätzung des Konzeptpotentials als Ziel haben. Es dient die Methode der Nutzwertanalyse als Bewertungsgrundlage.

Um der Subjektivität qualitativer Bewertungen entgegenzuwirken, werden die Energieversorgungskonzepte unter verschiedenen Sichtweisen und Gesichtspunkten bewertet. So können die Konzepte nach Bewohner- bzw. Bauträgeranforderungen sowie technischen

Aspekten (Warmwasserbereitung, Raumwärmeerzeugung und Lüftung) kategorisiert und beurteilt werden. Bevor die Funktionsweise der Bewertung detailliert erläutert wird, zeigt Abbildung 6-3 die qualitative Bewertungsmethode in einer Prozessdarstellung.

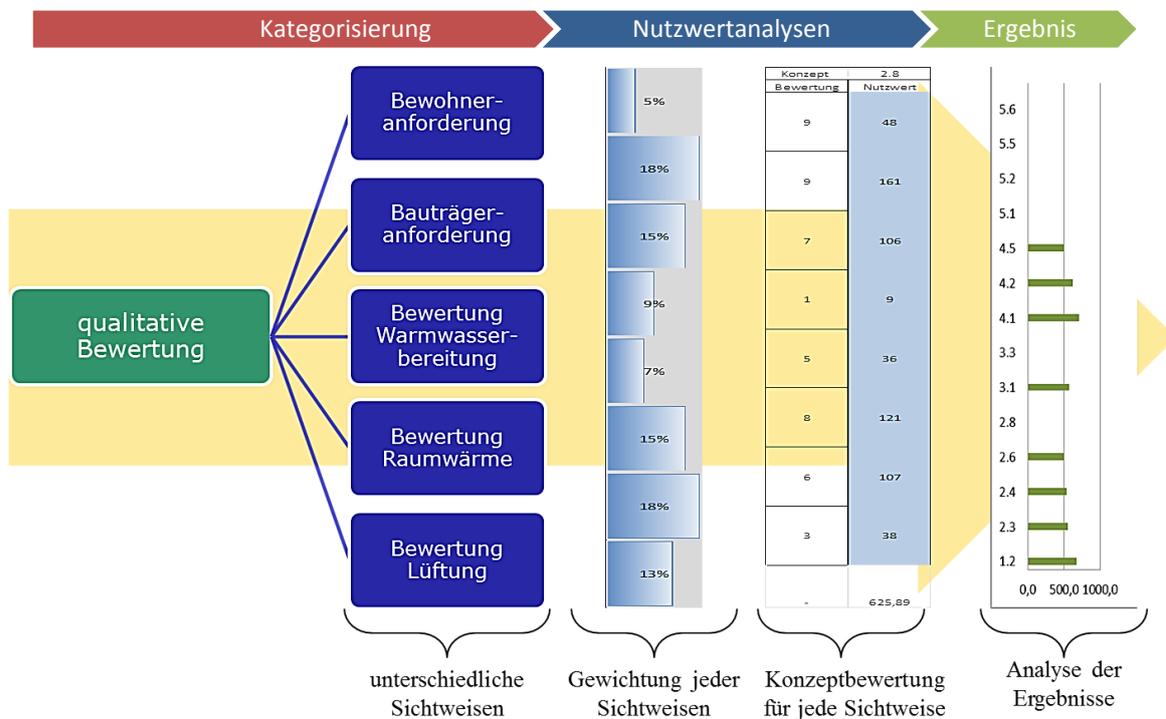


Abbildung 6-3: Qualitative Bewertungsmethode

Die unterschiedlichen Sichtweisen machen das Bewerten unvollständiger Konzeptideen sowie vollständiger Konzepte (Warmwasserbereitung, Raumwärmeerzeugung und Lüftung) mit nur einem Bewertungswerkzeug möglich. Es kann beispielsweise die Qualität der Warmwasserbereitung all jener Konzepte, welche die Möglichkeit der Warmwasserbereitung bieten, verglichen werden. Der strenge Vergleich unterschiedlicher Konzepte und Technologien lässt Stärken und Schwächen dieser erkennen.

Neben den unterschiedlichen Beurteilungssichtweisen hat die Wahl der Bewertungskriterien wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis. Sie müssen so gewählt werden, dass eine umfangreiche und objektive Beurteilung möglich ist. Eine individuelle Kriterienwahl der einzelnen Sichtweisen ist unumgänglich und wird nachfolgend vorgestellt.

Nutzwertanalyse und Definition der Bewertungskriterien

Nachfolgend wird die Methode der Nutzwertanalyse als Bewertungswerkzeug vorgestellt und jene Bewertungskriterien erläutert, welche die Grundlage der qualitativen Bewertung bildet.

Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein Verfahren, welches bei Alternativbewertungen und anschließender Alternativenauswahl Anwendung findet. Es werden Alternativen anhand von Bewertungskriterien gemessen, die beispielsweise nicht in Geldeinheiten ausdrückbar sind. Technische und soziale Bewertungskriterien werden berücksichtigt. [42]

- Erster Schritt: **Bewertungskriterien**

Definition der Bewertungskriterien und anschließende Gewichtung durch einen paarweisen Vergleich der Kriterien. Tabelle 6-2 zeigt die Bewertungskriterien, zugeordnet den jeweiligen Kategorien.

Tabelle 6-2: Bewertungskriterien im Überblick

Bewohneranforderungen	Bauträgeranforderungen	Warmwasser	Heizung	Lüftung
Imagegewinn durch Ästhetik & Innovation	Imagegewinn durch Ästhetik & Innovation	Umsetzungspotential der WW-Bereitung	Umsetzungspotential der Heizungsanlage	Umsetzungspotential der Lüftungsanlage
Behaglichkeit / Komfort	Umsetzungspotential des technischen Konzeptes	Monovalenz der WW-Bereitung	Monovalenz der Heizungstechnik	Ästhetik der Lüftungsanlage
Belastung während der Sanierung	Bewohnerbelastung während der Sanierung	Integration bzw. Kopplung an bestehende Haustechnik	Heizen/Kühlen möglich	Behaglichkeit
Nutzer- Bedienfreundlichkeit	Leichte Schnittstellendefinition mit bestehender Haustechnik	Wohnraumgewinn	Integration bzw. Einbindung der bestehenden Haustechnik	Erreichbarkeit aller Räume
Wohnraumgewinn	Monovalenz der Haustechnik (geringe Komponentenzahl)	Effizienz der Energiewandlung	Effizienz der Energiewandlung	Effizienz der Lüftungsanlage
Zugänglichkeit der Haustechnik außerhalb der Wohnung	Zugänglichkeit der Haustechnik	Effizienz der Speicherung, Verteilung	Effizienz der Speicherung, Verteilung	Zugänglichkeit der Lüftungsanlage
geringe wirtschaftliche Risiken	geringe wirtschaftliche Risiken	geringe wirtschaftliche Risiken	geringe wirtschaftliche Risiken	geringe wirtschaftliche Risiken
geringe technische Risiken	geringe technische Risiken	geringe technische Risiken	geringe technische Risiken	geringe technische Risiken

Neben eher sozialen Bewertungskriterien wie Ästhetik oder Belastung während der Sanierung sind technische Kriterien definiert, anhand deren eine umfangreiche Bewertung möglich gemacht werden soll.

- Zweiter Schritt: **Gewichtung der Bewertungskriterien**

Nachdem die Bewertungskriterien definiert wurden, erfahren diese eine Gewichtung durch einen paarweisen Vergleich, wie in Abbildung 6-4 durch rote Pfeile dargestellt. Die Bewertungsskala geht von 0 bis 4, wobei 4 bedeutet, dass das Kriterium in der gelben Spalte wesentlich wichtiger als das Kriterium in der roten Spalte ist. Eine Bewertung von 2 bedeutet,

dass beide Kriterien gleich wichtig sind, 0 bedeutet, dass das in der roten Spalte stehende Kriterium wesentlich wichtiger als das in der gelben ist.

Durch diesen paarweisen Vergleich aller Bewertungskriterien kristallisierten sich die wichtigsten Kriterien heraus. Die Gewichtung errechnet sich aus der Summe aller Bewertungen - in unterer Abbildung grün dargestellt.

als wichtiger	Umsetzungspotential der WW-Bereitung	Monovalenz der WW-Bereitung	Integration bzw. Kopplung an bestehende Haustechnik	Wohnraumgewinn	Effizienz der Energiewandlung	Effizienz der Speicherung, Verteilung	geringe wirtschaftliche Risiken	geringe technische Risiken		
Umsetzungspotential der WW-Bereitung		4	2	↑	0	1	0	1	11	10%
Monovalenz der WW-Bereitung	0		1	↑	0	1	2	1	7	6%
Integration bzw. Kopplung an bestehende Haustechnik	→	→		2	→	→	→	→	10	9%
Wohnraumgewinn	1	2	2		1	0	1	2	9	8%
Effizienz der Energiewandlung	4	4	3	3		1	0	2	17	15%
Effizienz der Speicherung, Verteilung	3	3	3	4	3		2	1	19	17%
geringe wirtschaftliche Risiken	4	2	4	3	4	2		1	20	18%
geringe technische Risiken	3	3	3	2	2	3	3		19	17%

Abbildung 6-4: Gewichtung der Bewertungskriterien

Nachdem die Gewichtung der Bewertungskriterien durchgeführt wurde, müssen die Energieversorgungskonzepte hinsichtlich der Erfüllung der Kriterien beurteilt werden.

- Dritter Schritt: **Beurteilung der Energieversorgungskonzepte**

Die Beurteilung der Konzepte soll anhand einer Bewertungsskala von 1 bis 10 stattfinden. Die Bewertung von 1 bedeutet eine Nichterfüllung und eine Bewertung von 10 eine maximale Erfüllung des Kriteriums durch das Konzept. Nachdem die Beurteilung durchgeführt wurde, wird der Nutzwert anhand (Gl. 6-1) errechnet.

$$\text{Nutzwert} = \text{Gewichtung} \cdot \text{Bewertung} \quad (\text{Gl. 6-1})$$

Die Summe aller einzelnen Nutzwerte ergibt den Gesamtnutzwert, welcher in Abbildung 6-5 rot eingekreist ist. Des Weiteren zeigt die Abbildung das Bewertungsschema für den

Thermosyphonkollektor und die Bauteilaktivierung mit hydraulischer Weiche zur Warmwasserbereitung.

Warmwasserbereitung	Gewichtung	Rang	ST Thermosyphon		BTA	
			Konzept	1.2	Konzept	2.3
			Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert
Umsetzungspotential der WW-Bereitung	21%	1	9	185	8	164
Monovalenz der WW-Bereitung	8%	6	3	24	4	32
Integration bzw. Kopplung an bestehende Haustechnik	5%	8	9	48	5	27
Wohnraumgewinn	7%	7	3	21	1	7
Effizienz der Energiewandlung	16%	3	7	113	5	80
Effizienz der Speicherung, Verteilung	9%	5	8	71	7	63
geringe wirtschaftliche Risiken	18%	2	10	179	6	107
geringe technische Risiken	16%	3	7	113	6	96
				735		576

Abbildung 6-5: Konzeptbewertung

Nachdem alle Energieversorgungskonzepte hinsichtlich Bewohner-, und Bauträgeranforderungen, der Warmwasserbereitung, Raumwärmeerzeugung und Lüftung beurteilt wurden, folgt die Auswertung der Ergebnisse. Die Methode wird in nachfolgendem Kapitel erläutert.

6.1.3 Methode der Ergebnisanalyse

Die Ergebnisanalyse und Interpretation soll die Auswahl der besten Konzepte ermöglichen. Es sollen Synergien zwischen den Konzepten zugelassen werden, wodurch neue Konzeptanordnungen entstehen können. Anhand des kategorischen Vergleichs der Sichtweisen können Stärken und Schwächen hervorgehoben und im Bedarfsfall durch besser passende Komponenten ersetzt werden. Neben der qualitativen Betrachtung der Ergebnisse sollen die quantitativen Ergebnisse der Konzepttechnologie die Auswahl untermauern.

Methode der Analyse der quantitativen Ergebnisse

Die Analyse der quantitativen Ergebnisse erfolgt parallel zu den qualitativen. Ergebnisse der Berechnungen werden in einer Ergebnismatrix übersichtlich zusammengefasst und dienen als Entscheidungsgrundlage. Tabelle 6-3 zeigt die prinzipielle Darstellung der Ergebnismatrix für die Deckung eines Heizwärmebedarfs von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$ bei einer Süd-Orientierung und 90° -Neigung der Kollektor- bzw. PV-Modulfläche.

Tabelle 6-3: Analysematrix der quantitativen Ergebnisse

		HWB 15						
		SÜD 90						
		Ergebnis ST		PV				
		ST SÜD 90		Abluft PV-	PV-direkt	PV-direkt	PV-direkt	
		A12	PV-WP	PVth-WP	WP	WW	HZ	WW&HZ
SD Gesamt		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
spez.Anlagenertrag th [kWh/(m ² a)]		190 - 280	300,6	315,6	332,6	101,7	107,0	107,0
spez.Anlagenertrag el		107 kWh/(m ² a)						

Die Analyse der Ergebnisse findet in Kapitel 6.2 statt.

Methode der Analyse der qualitativen Ergebnisse

Die Zusammenführung aller qualitativen Ergebnisse in einer Bewertungsmatrix ermöglicht eine übersichtliche Analyse dieser. Tabelle 6-4 zeigt schematisch den Aufbau der Matrix und beispielhaft drei bewertete Konzepte und deren Ergebnisse pro Sichtweise.

Tabelle 6-4: Qualitative Analysematrix der Ergebnisse

KNr.:	Konzepte	Bewohner-anforderung	Bauträger-anforderung	Warmwasser	Heizung	Lüftung
1.2	ST Thermosyphon	600	664	753	0	0
		-	-	-	-	-
2.2	BTA Thermosyphon	621	629	576	631	0
		-	-	-	-	-
2.3	BTA hyd.Weiche	760	658	479	524	0
		-	-	-	-	-

Der Vergleich der Konzepte kann einzelne Bewertungskategorien oder eine Analyse der Gesamtbewertung umfassen.

Für eine gesamtheitliche Betrachtung wird die Summe der Konzeptnutzwerte gebildet und einerseits auf die maximal mögliche Punkteanzahl der bewerteten Kategorien (1000 pro Kategorie) und andererseits auf die insgesamt möglichen Punkte (5000 Punkte) bezogen. Dies ermöglicht den prozentuellen Vergleich des spezifischen und absoluten Ergebnisses.

Eine Betrachtung hinsichtlich des Ranges der Beurteilung kann eine klarere Aussage über das Ergebnis unterstützen und zeigt Trends der Gesamtbewertung auf.

Auf eine detaillierte Analyse und Diskussion der Ergebnisse wird in Kapitel 6.3 eingegangen.

Ziel der gesamtheitlichen Betrachtung der Konzeptbewertung ist eine möglichst vielseitige Bewertung der Stärken und Schwächen. Durch die parallele Herangehensweise, welche in dieser Bewertungsmethode fokussiert wird, kann eine objektive Konzeptauswahl folgen.

6.2 Quantitative Beurteilung der Energieversorgungskonzepte

Zur quantitativen Beurteilung werden unterschiedliche Energieversorgungssysteme untersucht, welche unter Kapitel 6.1.1 bereits vorgestellt wurden.

Es werden neben der Untersuchung von Wandaufbauten zur Bauteilaktivierung sowohl solarthermische Anlagen als auch die Kombination von Photovoltaik und Wärmepumpen bzw. direkte Wärmeerzeugung durch Photovoltaik betrachtet. Um möglichst gleichwertige Systeme vergleichen zu können, wird nachfolgend die Systemauslegung und die Berechnung erörtert. Die Interpretation der Ergebnisse ist Teil der unter Kapitel 7 durchgeführten „Interpretation der Bewertungsergebnisse und Konzeptauswahl“.

6.2.1 Berechnung der solarthermischen Anlage

Ausgehend von einer klassischen solarthermischen Anlage (Kollektoren auf dem Dach, zentraler Pufferspeicher und Energieverteilung durch Zwei-Leiter-Netz), wird die Komponentenauslegung eines Referenzsystems für solare Deckungen von 20% und 30% (s. Kapitel 2.3.1) definiert. Erste Benchmarks der Komponentengrößen sind dem Buch „Solarunterstützte Wärmenetze im Geschosswohnbau“ [22] entnommen. Anhand dieser werden in der Simulationsumgebung T*Sol passende Systeme gewählt und hinsichtlich solarer Deckungsgrade optimiert. Anschließend werden die Kollektoren in die Fassade verlegt und ebenfalls hinsichtlich solarer Deckung optimiert.

Durch die Berechnung der Systeme in der Dachanordnung können die Simulationsergebnisse Benchmarks unterzogen und auf Sinnhaftigkeit überprüft werden.

Auslegung der solarthermischen Anlage und Berechnungsergebnisse

Im Wesentlichen hängt die Größe der Kollektorflächen von der gewünschten solaren Deckung und dem Energiebedarf des Gebäudes (Warmwasserbedarf und Heizwärmebedarf) ab. Für möglichst hohe solare Deckungen werden spezifische Solarspeichervolumina von 60 bis 100 Liter pro Quadratmeter installierter Kollektorfläche empfohlen [22, p. 71].

Es werden zwei Systeme betrachtet: ein System mit zentralem Pufferspeicher und Zwei-Leiter-Verteilung und ein System mit zwei Speichern (Warmwasser-, Heizungsspeicher) und Vier-Leiter-Verteilung. Bei Systemen mit zwei Speichern soll der Warmwasserspeicher mindestens einen Tagesbedarf speichern können, dies entspricht einem Warmwasserspeichervolumen von etwa 900 Litern. Das restliche Speichervolumen steht der teilsolaren Raumheizung zur Verfügung.

Da die Auswahl eines passenden Systems im Stadium der Konzeptfindung schwierig ist, wurden diese zwei unterschiedlichen Systeme simuliert. Es ergaben sich je nach Systemwahl divergierende Ergebnisse. Die Ergebnisse der Simulation für HWB 15 und einer Süd 30°-Orientierung der Kollektoren sind in Tabelle 6-5 zusammengefasst.

Tabelle 6-5: Auslegungskriterien der solarthermischen Anlage bei 30° Dach

		Auslegung Solaranlage HWB 15 - SÜD 30°			
SD		23,5%	23,2%	30%	30%
Verteilung		Zwei-Leiter	Vier-Leiter	Zwei-Leiter	Vier-Leiter
Ausrichtung		SÜD 30	SÜD 30	SÜD 30	SÜD 30
Kollektorgröße [m ²]		18	14	30	23
Spez. Ertrag [kWh/(m ² a)]		405	527	309	421-
Speichergröße		1600	1600	2400	2400
Wärmeabgabesystem		45/35	45/35	45/35	45/35

Ausgehend von zuvor definierten Annahmen werden Fassadenkollektoren (SÜD 90°) untersucht und ebenfalls auf solare Deckungen von 20% bzw. 30% optimiert. Dies hatte eine Erhöhung der Kollektorfläche zur Folge. Die Speicherauslegung änderte sich hingegen nicht, wie Tabelle 6-6 Veranschaulicht.

Tabelle 6-6: Auslegungskriterien der solarthermischen Anlage bei 90° Fassade

		Auslegung Solaranlage HWB 15 - SÜD 90°			
SD		20%	20%	27%	30%
Verteilung		Zwei-Leiter	Vier-Leiter	Zwei-Leiter	Vier-Leiter
Ausrichtung		SÜD 90	SÜD 90	SÜD 90	SÜD 90
Kollektorgröße [m ²]		34	22	78	50
Spez. Ertrag [kWh/(m ² a)]		190	280	110	190
Speichergröße [Liter]		1600	1600	2400	2400
Wärmeabgabesystem [°C]		45/35	45/35	45/35	45/35

Die Vorgehensweise der Auslegung bei ändernden Randbedingungen ist ident dieser Auslegung. Die Speichergrößen der solarthermischen Anlage dienen als Ausgangssituation der weiteren Berechnungen unterschiedlicher Technologien.

Analyse der Ergebnisse solarthermischer Wärmeerzeugung

Die Ergebnisse der solarthermischen Simulationen zeigen, dass die Systemwahl wesentlichen Einfluss auf die Kollektorfläche, den spezifischen Ertrag und die solare Deckung hat. Anhand der zur Verfügung stehenden Fassadenflächen können solare Deckungen von 20 % erreicht werden. Ist die Anforderung das Erreichen solarer Deckungen von 30%, so stößt das System der Zwei-Leiter-Verteilung durch das Erreichen der maximalen Bebauungsfläche an ihre Grenzen.

Neben dem solaren Deckungsgrad ist der spezifische Ertrag eine wichtige Kenngröße, um Aussagen über die Effizienz des Systems machen zu können. Wie in Tabelle 6-6 dargestellt, unterscheiden sich die Systeme hinsichtlich ihrer spezifischen Anlagenerträge stark. So hat das System der Zwei-Leiter-Verteilung um etwa 80 kWh/(m²a) bis 90 kWh/(m²a) geringere spezifische Erträge gegenüber der des Vier-Leiter-Verteilungssystems. Dies könnte auf die Systemtrennung von Trinkwasser und Heizungswasser zurückzuführen sein. In den zentralen Speicher des Zwei-Leiter Systems gehen sowohl die Rücklauftemperaturen der Heizungsanlage (35°C), als auch jene der Warmwasserbereitung. Durch das höhere

Temperaturniveau der Warmwasserbereitung verringert sich die Temperaturspreizung im Speicher und ein geringeres Energievolumen kann gespeichert werden.

Bei der Vier-Leiter-Verteilung sind der Trinkwasserspeicher und der Heizungsspeicher voneinander getrennt. Dadurch steht dem Kollektor das gesamte Volumen des Trinkwasserspeichers zur Verfügung. Es ergibt sich eine größere Temperaturspreizung durch die Frischwasserzufuhr (8°C bis 12°C). Daraus folgt eine größere mögliche Speicherkapazität und somit können die Kollektoren mehr Nutzenergie dem System zuführen.

6.2.2 Berechnung PV-gekoppelter Technologien

Der Vergleich solarthermischer und stromgeführter Systeme ist wesentlich für eine fundierte Konzeptauswahl. Aus diesem Anlass werden unterschiedliche stromgeführte Systeme untersucht und berechnet. Bilanziert wird auf thermische Größen, anhand welcher die Vergleichbarkeit der Konzepttechnologien möglich wird.

Es werden Systeme mit direkter Umwandlung des Solarstromes in Wärme bzw. Systeme mit Wärmepumpenkoppelung zur Warmwasserbereitung und Raumwärmeerzeugung untersucht. Der Solarstrom muss in allen Variationen direkt oder anhand von Wärmepumpen in Wärme umgewandelt und darf auch nur als diese gespeichert werden. Überschüssiger Solarstrom wird in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

Bevor die Ergebnisse der Berechnungen dargestellt werden, soll die Berechnungsmethode vorgestellt und erläutert werden.

Die Bilanzierung der direkten Nutzung des Solarstromes in Form von Wärme kann anhand der dieser Arbeit zur Verfügung stehenden Simulationssoftware nicht berechnet werden. Aus diesem Grunde wurde eine Berechnungsumgebung in Microsoft Excel implementiert, welche die Bilanzierung von Solarstrom in Verbindung mit Heizstäben, Infrarotheizungen bzw. Wärmepumpen ermöglicht.

Nachfolgend werden das PV-Modul und das zur Berechnung notwendige Wärmespeichermodell erläutert.

PV-Modul

Es wurde ein PV-Modul der Firma Upsolar gewählt. Das Modul wurde anhand der Simulationsumgebung Polysun simuliert und die Ergebnisse der Simulation, d.h. der erzeugte Solarstrom anschließend in Microsoft Excel exportiert. Sie bilden die energetischen Ausgangssituationen späterer Berechnungen. Die Zeiteinheiten der Berechnung basieren auf Stundenwerten. Tabelle 6-7 veranschaulicht die Moduldaten.

Tabelle 6-7: Daten des PV-Moduls

	PV-Modul
Hersteller	Upsolar
Modulbezeichnung	UP-M185M-T
Modultype	Monokristallin
Nennleistung STC	185 W/m ²
Nettofläche / kWp	5,5 m ² / kWp
Bruttofläche / kWp	7 m ² / kWp

Das PV-Modul kann bei einer Bruttofläche von 7m² eine Spitzenleistung von einem Kilowatt-Peak (kWp) erreichen.

Warmwasser- und Heizungsspeichermodell

Neben der Energieerzeugung spielt die Speicherung der Energie eine wesentliche Rolle in der Berechnung. Die Speicher — Warmwasser- und Heizungsspeicher — werden energetisch bilanziert, der energetische Speicherinhalt berechnet sich nach (Gl. 6-2).

$$Q = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{oben} - T_{unten}) \cdot (1 - b) \quad [\text{Wh}] \quad (\text{Gl. 6-2})$$

Q ...Wärmeinhalt [Wh]

c_p ...Wärmekapazität [kWh/(kg*K)]

V ...Speichervolumen [m³]

ρ ... Dichte [kg/m³]

b ...Zuschlagfaktor für toten Raum unterhalb der Speicherheizfläche ~10%

ΔT ..Temperaturdifferenz über die Speicherhöhe [K]

Die Speichertemperatur des Warmwasserspeichers an der Entnahmestelle wird mit 60°C, die des Heizungsspeichers mit 45°C definiert.

Da thermische Speicher immer mit Wärmeverlusten über die Oberfläche und Durchmischungsverlusten einhergehen, werden diese in der Berechnung durch Verkleinerung der Temperaturspreizung berücksichtigt.

Die Speicherverluste werden anhand von Benchmarks eruiert, wie etwa aus Untersuchungen des Forschungsprojektes „SolPumpEff-Hocheffiziente Kombinationen von Solarthermie- und Wärmepumpenanlagen“ [43], und aus diesem abgeleitet. Die Jahresspeicherverluste wurden im Rahmen des Forschungsprojektes mit etwa 10% bis 15% beziffert. Zur Validierung dieser literaturbezogenen Verlustgrößen werden die solarthermischen Simulationen herangezogen. Diese stimmten in ihrer Größenordnung gut überein, weshalb dem Speichermodell Jahresverluste von ca. 15% zugrunde liegen.

Neben den thermischen Verlusten haben Speicher tote Räume, also Volumen, welche außerhalb der Reichweite des Wärmetauschers liegen und deswegen nicht der Wärmespeicherung zur Verfügung stehen. Dadurch wird das Speichervolumen in etwa um 10% minimiert [10, p. 1739].

Für ein optimales Ausnutzen der Solarenergie bedarf es bei solarem Angebot möglichst energetisch entleerte Speicher. Es soll der Speicher also tagsüber möglichst leer sein, aber trotzdem bei Wärmebedarf genügend Energie zur Verfügung stellen können. Daher wird ein

Bereitschaftsvolumen im Speicher definiert, welches zu jeder Zeit die gewünschte Temperatur zur Verfügung stellen kann. Das Volumen soll mindestens so groß gewählt werden, dass der statistische Warmwasserbedarf einer Stunde, beziehungsweise der statistisch maximal auftretende Heizwärmebedarf einer Stunde gedeckt ist. Wird das Bereitschaftsvolumen unterschritten und ist keine ausreichende Sonneneinstrahlung vorhanden, dient elektrischer Strom aus dem Netz als Back Up.

Das Zapfprofil des Warmwasser- bzw. Heizwärmeverbrauchs wurde für ein Mehrfamilienhaus gewählt, die Profile wurden dem Simulationsprogramm T*Sol entnommen.

Direkte Solarstromnutzung durch elektrische Heizstäbe zur Warmwasserbereitung und Infrarotheizungen zur Raumwärmeerzeugung

Die direkte Nutzung des Solarstromes zur Warmwasserbereitung bedient sich des zuvor beschriebenen Speichermodells. Die Umwandlung der elektrischen Energie in thermische Energie erfolgt durch elektrische Heizstäbe. Die hochwertige elektrische wird direkt in niederwertigere Wärmeenergie umgewandelt.

Den Berechnungen liegt die Annahme zugrunde, dass die gesamten Erträge der PV-Anlage in Wärmeenergie umgewandelt werden können. Es wird davon ausgegangen, dass die Heizstäbe keine Mindestleistung zur Wärmeerzeugung benötigen, sie also den gesamten Solarstrom umwandeln können.

Die Auslegung der Warmwasserbereitung basiert auf einer installierten Heizstabileistung von 2 kW pro Wohneinheit. Das bedeutet eine installierte Gesamtleistung von 24 kW für das Gebäude.

Eine Abschätzung der Nutzung des Solarstromes für Heizungszwecke wurde anhand der Modellierung einer Infrarotheizung durchgeführt. Diese kann den Solarstrom direkt in Raumwärme umwandeln.

Da keine Möglichkeit der elektrischen Speicherung gegeben ist, basieren die Berechnungen auf der Bilanzierung des Solarstromes mit dem aktuellen Heizwärmebedarf. Das heißt, es kann nur dann Solarwärme zur Verfügung gestellt werden, wenn solare Erträge vorhanden sind und Heizwärmebedarf besteht. Auch diesen Berechnungen liegt die Annahme zugrunde, dass keine Mindestleistung der Infrarotheizung benötigt wird.

Die Größe des Warmwasserspeichers orientiert sich an jenen der solarthermischen Anlage. Es soll, wie in Kapitel 6.2.1 dargestellt, zumindest der Warmwasserbedarf eines Tages gespeichert werden können. Dies entspricht etwa 900 Litern pro Tag bei 60°C.

Tabelle 6-8 zeigt die Berechnungsergebnisse im Überblick. Es wird deutlich, dass bei solaren Deckungen von 20% und einer Süd 90° Ausrichtung der Modulflächen die maximal mögliche Installationsfläche für Warmwasserbereitung und Heizung bereits beinahe ausgeschöpft ist (s. Kapitel 4.1.2).

Tabelle 6-8: Berechnungsergebnisse der direkten Solarstromnutzung für 20% solare Deckung

	Direkte Solarstromnutzung HWB 15 - SÜD 90°		
	PV-WW	PV-HZ	PV-WW-HZ
	SD 20%		
PV-Modulfläche [m ²]	45	42	68
Maximale Leistung der PV [kWp]	5,2	4,8	7,8
spez. Ertrag th [kWh/(m ² a)]	98	54	100
spez. Ertrag el [kWh/(m ² a)]	107	107	107

Besonders positiv kann bei der direkten Nutzung des Solarstromes zur Wärmeerzeugung für SD 20% die PV-Verbrauchsquote genannt werden. Diese besagt, wieviel des gewonnenen Solarstroms eingesetzt werden kann. Tabelle 6-9 gibt einen Überblick über den Solarstromeinsatz, den Solarstromüberschuss und die PV-Verbrauchsquoten zur direkten elektrischen Warmwasserbereitung, zur direkten elektrischen Heizung als auch deren Kombination.

Die gute PV-Verbrauchsquote spiegelt jedoch nicht den Einsatz des gesamten elektrischen Stromes wider. So kann bei der Solarstromnutzung für Warmwasser und Heizung zwar rund 90% des Solarstromes verbraucht werden, die Anlageneffizienz verglichen mit der PV-Wärmepumpe (s. Kapitel 6.2.3) ist hingegen schlecht. Es muss rund 3-mal so viel elektrischer Strom aufgewandt werden als wenn der Solarstrom eine Wärmepumpe speisen würde.

Tabelle 6-9: Benötigter elektrischer Stromeinsatz für direkte Solarstromnutzung

	Direkte Solarstromnutzung HWB 15 - SÜD 90°		
	PV-WW	PV-HZ	PV-WW-HZ
	SD 20%		
Solarstromeinsatz [kWh/a]	4432	2253	6832
Solarstromüberschuss [kWh/a]	385	2242	447
PV-Verbrauchsquote [%]	92	50	94
Gesamter Stromeinsatz [kWh/(m ² a)]	22432	11079	33644

Wird eine solare Deckung von 30% angestrebt, so muss bei gleichbleibenden Speichergrößen damit gerechnet werden, dass sich die Fläche in etwa verdoppelt bzw. sogar verfünffacht. Neben dem erheblichen Anstieg der Modulflächen sinkt die PV-Verbrauchsquote um bis zu 70% ab (PV-HZ), wie Tabelle 6-10 zeigt.

Das Absinken der PV-Verbrauchsquote kann auf die gleichbleibende Warmwasserspeichergroße (900 Liter) zurückgeführt werden. Durch das größere Solarstromangebot müsste der thermische Speicher ein größeres Volumen haben. Elektrische Speicher könnten bei der PV-HZ Vorteile bringen. Der Gesamtstromeinsatz bleibt sowohl bei SD 20% als auch bei SD 30% in etwa ident. Tabelle 6-10 zeigt die wichtigsten Ergebnisse für SD 30% im Überblick.

Tabelle 6-10: Berechnungsergebnisse der direkten Solarstromnutzung für SD 30%

		Direkte Solarstromnutzung HWB 15 - SÜD 90°		
		PV-WW	PV-HZ	PV-WW-HZ
		SD 20%		
SD [%]		30	30	30
PV-Modulfläche [m ²]		80	230	140
PV-Verbrauchsquote [%]		88	15	74
Gesamter Stromeinsatz [kWh/(m ² a)]		22424	11079	33346

Abbildung 6-6 stellt den Vergleich zwischen Stromeinsatz und Modulfläche dar. Diese haben wesentlichen Einfluss auf die direkte Solarstromnutzung. In blau dargestellt sind der gesamte Stromeinsatz sowie der PV-Flächenbedarf für SD 20%, in rot ist der gesamte Stromeinsatz sowie der PV-Flächenbedarf für SD 30% dargestellt.

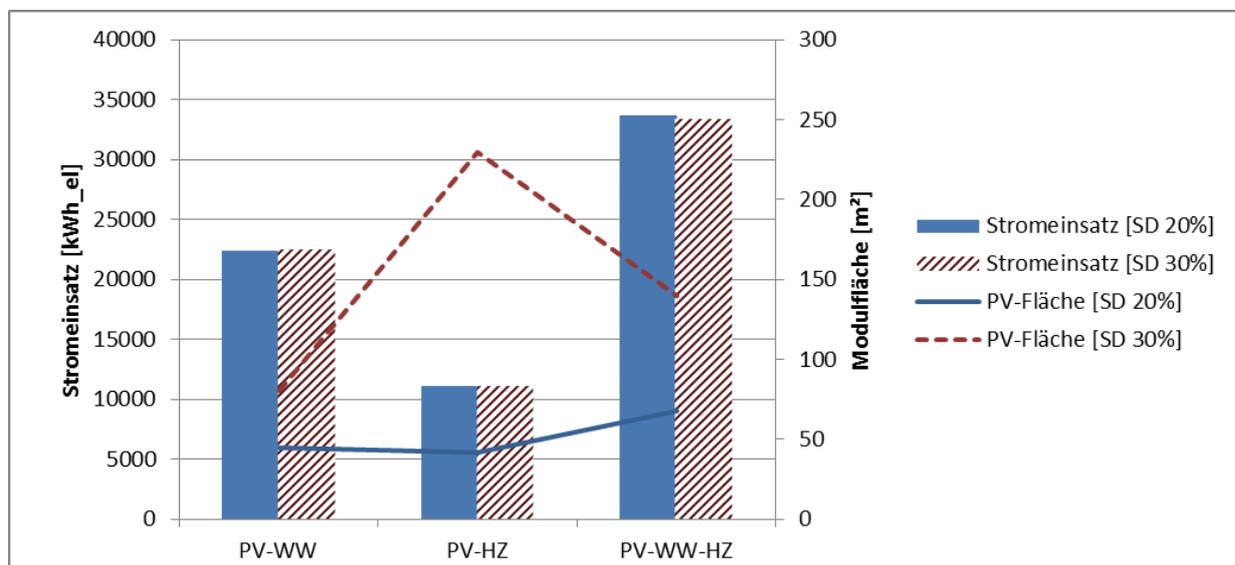


Abbildung 6-6: Vergleich direkte Solarstromnutzung bei SD 20% und SD 30%

Eine Steigerung der solaren Deckung von 20% auf 30% hat speziell auf die Solarstromheizung große Auswirkungen. Es müsste eine Modulfläche von ca. 230 m² installiert werden, was hinsichtlich der verfügbaren Fassadenfläche nicht möglich ist. Eine Installation von elektrischen Speichern könnte dieser Problematik entgegenwirken.

Analyse der Ergebnisse

Die Verwendung von Solarstrom zur Warmwasser- bzw. Raumwärmeerzeugung bedarf für solare Deckungen von 20% bzw. 30% weit größere Flächen, als sie eine solarthermische Anlage benötigt. Werden Warmwasser und Raumwärme elektrisch erzeugt, so müsste für dieselbe solare Deckung (z.B. 20%) eine etwa zwei Mal größere Modulfläche installiert werden. Entsprechend sind die thermischen spezifischen Anlagenerträge der direkten Solarstromnutzung etwa 90 kWh/(m²a) bzw. 180 kWh/(m²a) geringer als jene der solarthermischen Anlage (s. Kapitel 6.2.1).

Wie zuvor erwähnt, kann der Einsatz des Solarstromes positiv gesehen werden. Die Berechnungen ergeben, dass bis zu 94% des durch die Solaranlage erzeugten Stromes als Warmwasser gespeichert bzw. als Raumwärme genutzt werden kann. Eine Verbesserung der PV-Verbrauchsquote für solare Deckungen von 30% würden größere thermische Speicher bewirken.

6.2.3 Berechnung der PV-,PVth- und PV-Abluft-WP gekoppelten Technologien

In nachfolgendem Kapitel werden PV-gekoppelte Wärmepumpen untersucht. Einerseits soll die direkte Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe analysiert, andererseits soll anhand von PVth-Kollektoren bzw. der Wohnungsabluftnutzung die Effizienz der Wärmepumpe gesteigert werden.

Luft/Wasser-Wärmepumpenmodell

Zur Analyse der Wärmepumpenleistung wurde ein Wärmepumpenkennfeld in Microsoft Excel implementiert. Es wird eine Wärmepumpe, deren Leistung sowohl von der Außenlufttemperatur als auch von der zu erzeugenden Vorlauftemperatur abhängig ist [39], modelliert. Durch die elektrisch aufgenommene Leistung sowie die Leistungszahlen — kurz COP (Coefficient of Performance) —, errechnet sich die thermische Leistung, wie Gleichung (Gl. 6-3) zeigt. Die Leistungszahl ist das Verhältnis aus erzeugter Wärme und eingesetzter Antriebsenergie. Sie ist ein Momentanwert der Effizienz der Wärmepumpe und wie folgt definiert [44, p. 9].

$$COP = \frac{\dot{Q}_H}{P_{el}} \quad (\text{Gl. 6-3})$$

COP...Coefficient of Performance

\dot{Q}_H ... Wärmeleistung der Wärmepumpe [W]

P_{el} ... Elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe [W]

Neben der Leistungszahl dient die Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe als Kenngröße der Effizienz ihres Jahresbetriebes [44, p. 10]. Sie errechnet sich aus dem Quotienten aus der jährlichen erzeugten Wärme und der jährlichen eingesetzten elektrischen Antriebsenergie, wie nachfolgende Gleichung zeigt.

$$JAZ = \frac{Q_{JH}}{E_{Jel}} \quad (\text{Gl. 6-4})$$

JAZ... Jahresarbeitszahl

Q_{JH} ...Jährlich von der Wärmepumpe erzeugte Wärme [Wh]

E_{Jel} ...Jährlicher Stromverbrauch der Wärmepumpe [Wh]

Als Wärmepumpenkennfeld wurde jenes der Luft/Wasser-Wärmepumpe LA 11TAS der Firma Dimplex [45] gewählt. Dieses wurde hinsichtlich ihrer Nennleistung normiert, was ein anschließendes Skalieren auf unterschiedliche Leistungsbereiche ermöglichte. Die

Abweichungen und Fehler, welche durch die Änderungen der Kennlinie gegenüber der realen Kennlinie entstanden, wurden im Stadium der Konzeptentwicklung in Kauf genommen.

Neben der Außenlufttemperaturabhängigkeit der Wärmepumpe hat die Vorlauftemperatur wesentlichen Einfluss auf die Leistungszahl [39]. Den Berechnungen liegen Vorlauftemperaturen von 45°C bzw. 60°C zugrunde.

Die Dimensionierung der Wärmepumpenleistung orientiert sich an den Heizlastberechnungen (s. Kapitel 4.2.2) und berücksichtigt die Warmwasserbereitung mit ca. 0,25 kW pro Person.

Wie bereits des Öfteren in dieser Arbeit erwähnt, kann elektrische Energie im Rahmen dieser Betrachtungen nur in Form thermischer Energie gespeichert werden. Es wurde definiert, dass die Leistung der PV-Anlage mindestens 30% der benötigten Wärmepumpenleistung liefern muss, damit der Wärmepumpenbetrieb startet. Dies entspricht in etwa der minimalen Leistung, welche Inverterwärmepumpen (stufenlose Leistungsregelung) benötigen [46] [47]. Steht keine oder nicht ausreichende PV-Leistung zur Verfügung, dient das elektrische Netz als Energiequelle. Überschüssiger Solarstrom bzw. Solarstrom, welcher aufgrund voller Speicher nicht in Wärme umgewandelt werden kann, wird bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

PV-Wärmepumpe, PVth-Wärmepumpe, PV-Abluft-Wärmepumpe

Die Berechnung der Nutzung des Solarstromes zur Wärmeerzeugung durch eine Wärmepumpe bedient sich der zuvor beschriebenen Modelle der Speicher, der PV-Module als auch der Wärmepumpe. Neben der Bilanzierung der Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe wurde der Fokus auf die Verbesserung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe gelegt. Die Verbesserung der Jahresarbeitszahl kann einerseits durch die Senkung der Vorlauftemperatur, andererseits durch die Erhöhung der Verdampfertemperaturen beeinflusst werden [44]. Als Faustformel gelten folgende Annahmen:

- Senkung der Vorlauftemperatur um 1 K bewirkt eine Steigerung der Leistungszahl der Wärmepumpe um etwa 2,5 %
- Erhöhung der Quelltemperatur um 1 K bewirkt eine Steigerung der Leistungszahl der Wärmepumpe um etwa 2,7 % [39]

Durch die Verwendung von luftgeführten PVth-Kollektoren mit Außenluft als Wärmequelle bzw. der Wohnungsabluftnutzung soll die Quelltemperatur der Wärmepumpe erhöht und eine Steigerung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe erreicht werden. Aufgrund der wärmeren Wärmequellentemperaturen kann die Wärmepumpe effizienter arbeiten und benötigt weniger Primärenergie.

Die Berechnung des PVth-Kollektors fand in der Simulationsumgebung TRNSYS statt, die Ergebnisse wurden zur Verfügung gestellt und waren kein Teil dieser Arbeit.

Wie nachfolgende Abbildung zeigt, hat die Wärmequellentemperatursteigerung durch den PVth-Kollektor Potential. Blau dargestellt ist die Außenlufttemperatur, gelb dargestellt die Wärmequellentemperatur, also die Temperatur der durch den PVth-Kollektor geführten Außenluft. Erkennbar ist, dass die Quelltemperatur meist über jenen der Außenlufttemperatur liegt.

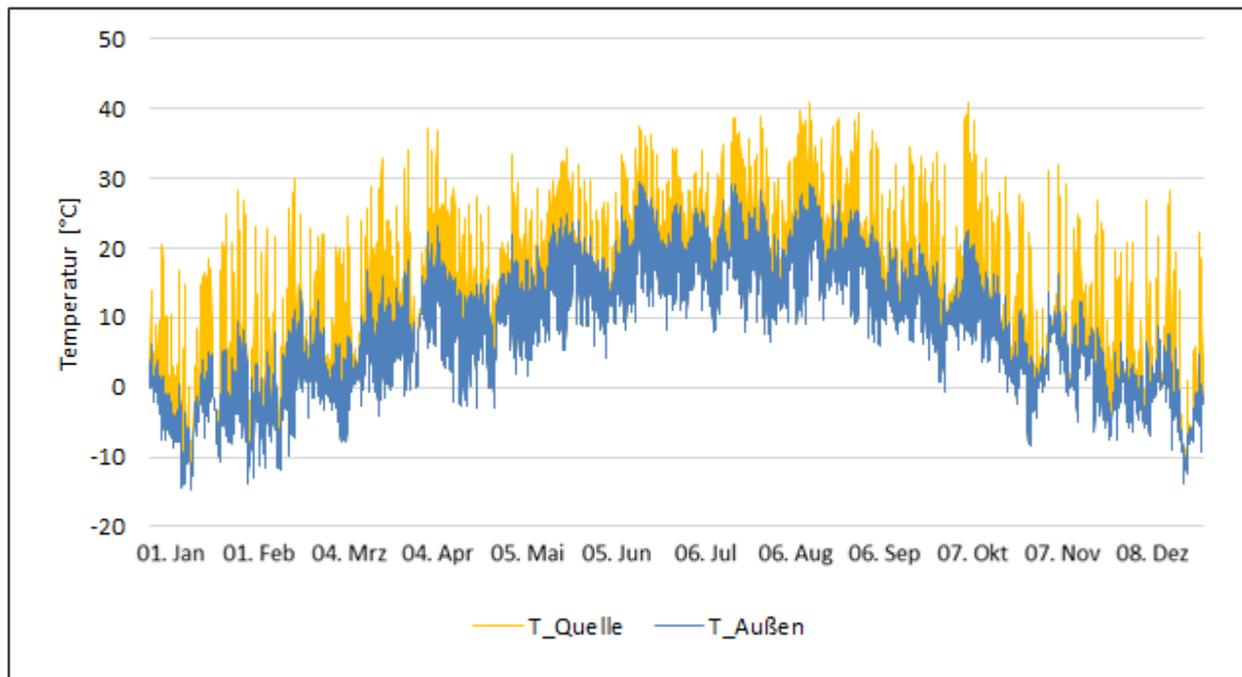


Abbildung 6-7: Erhöhung der Quelltemperatur durch PVth-Kollektor

Neben der Nutzung solarer Energien zur Temperaturerhöhung der Wärmequelle soll die Nutzung der Wärme aus der Wohnraumabluft forciert werden. Eine durchschnittliche Quelltemperatur von etwa 15°C wurde als statisch definiert. Diese berücksichtigt Transportwärmeverluste und wird in erster Näherung abgeschätzt. Außerdem muss der Luftvolumenstrom des Verdampfers berücksichtigt werden. Die Wohnräume haben definierte Luftwechselraten, die den Abluftvolumenstrom bestimmen. Als erste Schätzung wurde ein mittlerer Gebäudeabluftvolumenstrom von rund 950 m³/h angenommen. Da der Verdampferstrom der Wärmepumpe eher einen Luftdurchsatz von 2500 m³/h benötigt, ergibt sich die Quelltemperatur des Verdampfers aus einer Mischung von Außenluft- und Wohnungsablufttemperatur.

Abbildung 6-8 zeigt gelb dargestellt die Quelltemperatur der Wärmepumpe bei Nutzung der Wohnraumabluft und blau dargestellt zum Vergleich die Außenlufttemperatur.

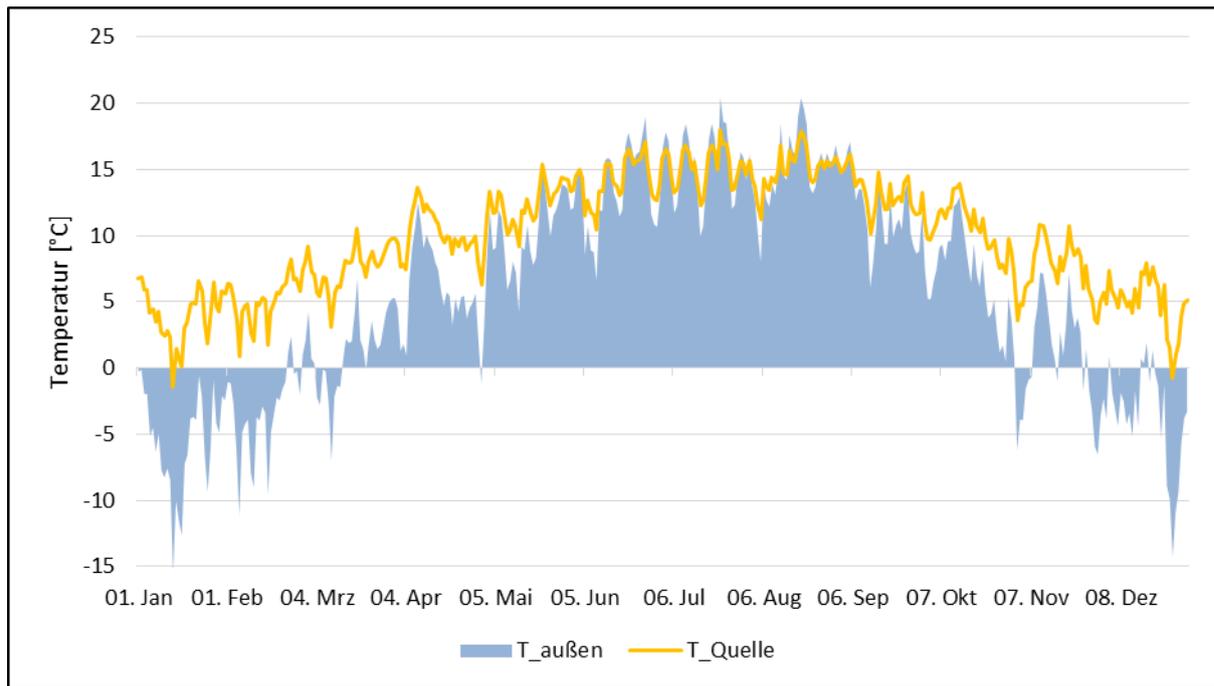


Abbildung 6-8: Vergleich Außenlufttemperatur im Fall von Abluftnutzung als Wärmequelle

Die Untersuchungen und Berechnungen des Einflusses der Erhöhung der Quellentemperaturen auf die Effizienz der Wärmepumpe sind nachfolgend dargelegt.

Die Berechnungen wurden für ein zentrales System mit HWB 15 und einer Modulausrichtung von SÜD 90° durchgeführt. Änderungen der Gebäudeausrichtungen (Ost-West) oder aber auch die Erhöhung des Heizwärmebedarfs haben negativen Einfluss auf die solare Deckung, einerseits durch die geringere solare Einstrahlung, andererseits durch erhöhten Energiebedarf.

Ergebnisse bei 20%-iger solaren Deckung

Die Kombination Solarstrom-Wärmepumpe wird anhand nachfolgender quantitativer Ergebnisse veranschaulicht. Zuerst findet ein Vergleich zwischen Außenluftwärmepumpe, PVth-Wärmepumpe und Abluftwärmepumpe bei 20%-iger solarer Deckung statt, anschließend werden vergleichend höhere solare Deckungen sowie wirtschaftliche Faktoren der unterschiedlichen Technologien beleuchtet.

Interessant ist, dass bei solaren Deckungen von 20% bei Außenluft-, PVth-, als auch Abluftwärmepumpen beinahe dieselbe Modulfläche benötigt wird. Dies zeigt, dass die Steigerung der Effizienz der Wärmepumpe durch die Temperaturerhöhung der Wärmequelle nur einen geringen Einfluss auf die Größe der Modulfläche hat.

Verglichen mit solarthermischen Anlagen ist der Modulbedarf (s. Kapitel 6.2.1) mehr als doppelt so groß, was sich negativ auf die Investitionskosten auswirken kann.

Tabelle 6-11 zeigt neben der Modulfläche weiters die maximale Leistung der PV-Anlage sowie den thermischen als auch elektrischen spezifischen Ertrag. Die Steigerung des spezifischen thermischen Ertrages durch Quellentemperaturerhöhung der Wärmepumpe liegt bei etwa 6% (Abluftnutzung) gegenüber der Außenluftnutzung.

Tabelle 6-11: Solarstromnutzung durch Wärmepumpen: PV Leistung und Erträge bei SD 20%

	Solarstromnutzung durch Wärmepumpen bei HWB 15 - SÜD 90°		
	PV-WP-WW-HZ	PVth-WP-WW-HZ	PV-Abluft-WP-WW-HZ
	SD 20%		
PV-Modulfläche [m ²]	48	47	47
Maximale Leistung der PV [kWp]	5,5	5,4	5,4
spez. Ertrag th [kWh/(m ² a)]	134	140	142
spez. Ertrag el [kWh/(m ² a)]	107	107	107

Bessere spezifische Erträge sind Folge einer besseren und effizienteren Anlage. Das Zusammenwirken der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe und des thermischen spezifischen Ertrages veranschaulicht Abbildung 6-9. Die höhere Wärmepumpenquellentemperatur im Fall der Nutzung von Abluft hat eine ca. 10%-ige Erhöhung der Jahresarbeitszahl zur Folge.

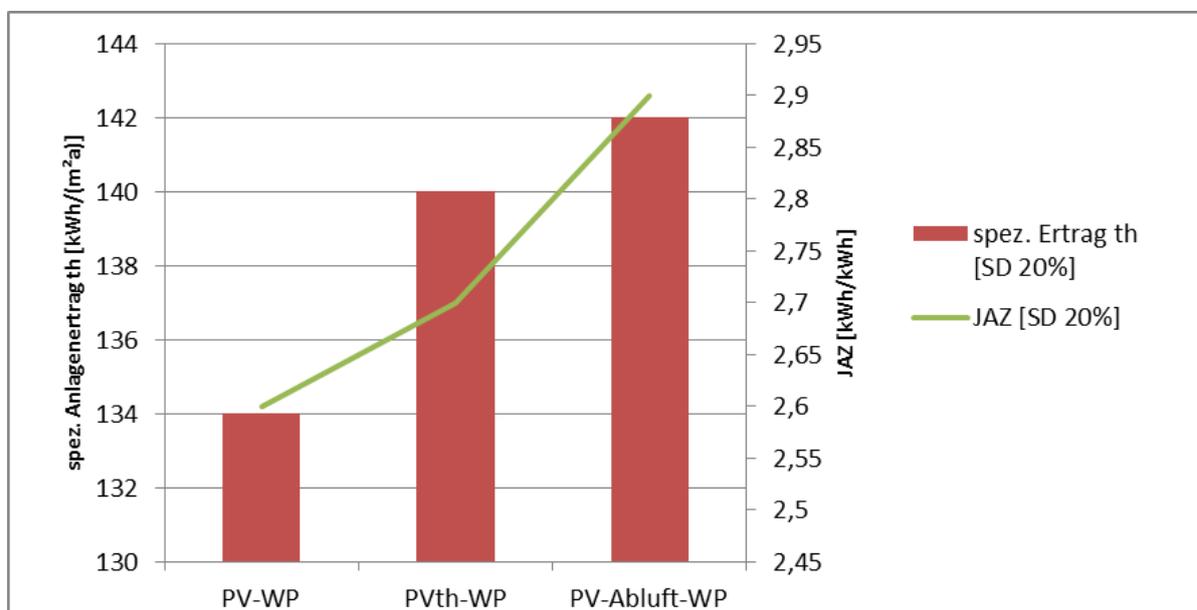


Abbildung 6-9: Vergleich der thermischen spez. Anlagenerträge und JAZ

Neben besseren spez. Erträgen hat die Effizienzsteigerung der Wärmepumpe direkten Einfluss auf den notwendigen Strombedarf der Wärmepumpe zur Deckung des gesamten Wärmebedarfs. Durch die besseren Jahresarbeitszahlen bei Abluftnutzung ergibt sich eine Reduktion des gesamt eingesetzten Strombedarfs von rund 10%.

Negativ hingegen ist das Absinken der PV-Verbrauchsquote gegenüber der Außenluftwärmepumpe. Es kann etwas weniger Solarstrom vom System verbraucht werden, wie Tabelle 6-12 im Überblick zeigt.

Tabelle 6-12: Solarstromnutzung durch Wärmepumpen: Stromeinsatz bei SD 20%

	Solarstromnutzung durch Wärmepumpen bei HWB 15 - SÜD 90°		
	PV-WP-WW-HZ	PVth-WP-WW-HZ	PV-Abluft-WP-WW-HZ
	SD 20%		
Solarstromeinsatz [kWh/a]	2485	2383	2314
Solarstromüberschuss [kWh/a]	2653	2648	2717
PV-Verbrauchsquote [%]	48	47	46
Gesamter Stromeinsatz [kWh/(m ² a)]	12553	12222	11394
WP Leistung [kW]	17	17	17
JAZ [kWh/kWh]	2,6	2,7	2,9

Bei höheren solaren Deckungen bzw. unterschiedlich ausgerichteten Modulflächen und höherem Energiebedarf bleiben die Ergebnisse qualitativ ähnlich denen der gerade vorgestellten Varianten. Das heißt im Detail, dass die PV-Abluftwärmepumpe bei solaren Deckungen von 30% bzw. einem größeren Heizwärmebedarf immer die höchsten Jahresarbeitszahlen, die besten spezifischen thermischen Anlagenerträge als auch den geringsten Gesamtstrombedarf hat.

Beispielhaft für die drei PV-Wärmepumpentechnologien sollen nachfolgend die quantitativen Ergebnisse der PV-Abluftwärmepumpe bei unterschiedlichen solaren Deckungen und Modulausrichtungen gezeigt werden.

Vergleich unterschiedlicher solarer Deckungen und Modulausrichtungen anhand der PV-Abluftwärmepumpe

Die Berechnungen der PV-Abluftwärmepumpe für solare Deckungen von 20% bzw. 30% wurden bei einem Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m²a), sowie einer Süd 90°-Ausrichtung der Modulflächen durchgeführt. Wie auch bei den solarthermischen Anlagen wurde die Speichergröße den unterschiedlichen solaren Deckungen angepasst. Der Brauchwarmwasserspeicher bleibt für solare Deckungen von 20% bzw. 30% mit 900 Litern bestehen, jener der Heizungsanlage erhöht sich um 800 Liter auf 1500 Liter. Neben dem Vergleich der Modulflächengrößen zeigt Tabelle 6-13 die spezifischen thermischen Anlagenerträge, die PV-Verbrauchsquote sowie den benötigten gesamten Stromeinsatz.

Tabelle 6-13: Vergleich PV-Abluftwärmepumpe bei SD 20% und SD 30%

	PV-Abluft-WP-WW-HZ	PV-Abluft-WP-WW-HZ
	SD 20%	SD 30%
PV-Modulfläche [m ²]	46	61
spez. Ertrag th [kWh/(m ² a)]	142	165
PV-Verbrauchsquote [%]	46	53
Gesamter Stromeinsatz [kWh/(m ² a)]	11394	11001
Warmwasserspeicher [l]	900	900
Heizungsspeicher [l]	1600	2400

Sind für solare Deckungen von 20% etwa 46 m² notwendig, so benötigt eine 10%-ige Erhöhung der solaren Deckung nur mehr eine rund 15 m² größere Modulfläche (61 m²). Dies kann auf die leistungsstärkere PV-Anlage und der damit häufigeren Übersteigerung der minimal notwendigen PV-Leistung zum Betrieb der Wärmepumpe (30% der Nennleistung) und auf die größeren Heizungsspeichervolumina zurückgeführt werden. Auch steigt die PV-Verbrauchsquote bei SD 30% gegenüber jenen mit SD 20% um ca. 7%, was bedeutet, dass durch die größeren Speichervolumina und leistungsstärkere PV-Anlage mehr Solarstrom verwendet werden kann. Weiters bewirkt die Erhöhung der solaren Deckung eine Steigerung des spezifischen thermischen Ertrages von rund 14%, von 142 kWh/(m²a) auf 165 kWh/(m²a). Bessere spezifische Erträge machen ein effizientes und wirtschaftlicheres Betreiben der Anlage möglich. Es macht daher Sinn, die PV-Wärmepumpenkombinationen auf größere solare Deckungen zu dimensionieren.

Abbildung 6-10 zeigt die Erhöhung der PV-Verbrauchsquote sowie die spezifischen thermischen Erträge und die PV-Modulflächen für 20%-ige und 30%-ige solare Deckung.

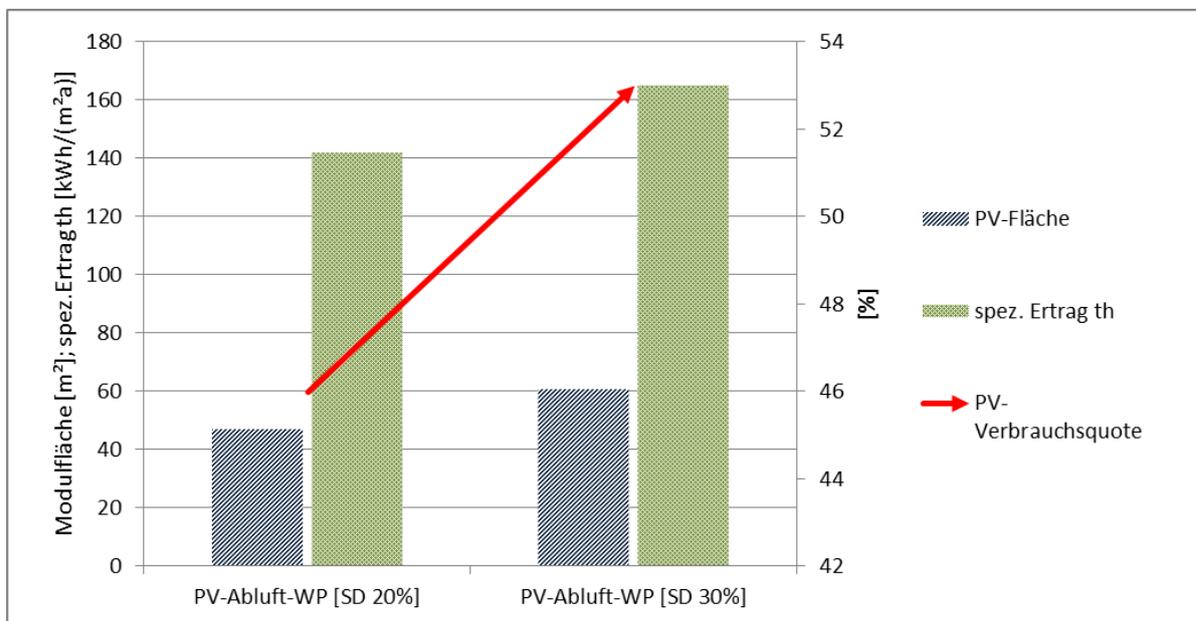


Abbildung 6-10: Vergleich Modulfläche, spez. therm. Ertrag und Strombedarf der PV-Abluft-WP

Nicht nur die Steigerung der solaren Deckungen hat Einfluss auf die Anlagendimensionierung, auch die Modulausrichtung spielt dabei eine wesentliche Rolle. Kapitel 4.3: „Solare Einstrahlung auf das Referenzgebäude“ veranschaulichte bereits die unterschiedlichen solaren Erträge abhängig von der Himmelsrichtung. So trifft bei einer Ost 90°-ausgerichteten Fläche etwa 25% weniger Sonnenenergie auf, als bei Süd 90°-ausgerichteten Flächen.

Die geringeren Strahlungen haben direkten Einfluss auf die Größe der benötigten PV-Modulfläche, wie Abbildung 6-11 veranschaulicht.

Wie zuvor bereits erläutert, sind die spezifischen Erträge bei 30%-iger solaren Deckung tendenziell größer als jene bei 20%-iger Deckung. Dies gilt sowohl für Süd 90°- als auch für Süd-Ost 90° ausgerichtete PV-Module. Bei Ost 90°-gerichteten Flächen sind die spezifischen Erträge gleich. Nachfolgende Abbildung veranschaulicht den Vergleich unterschiedlich ausgerichteter Modulflächen bei unterschiedlichen solaren Deckungen.

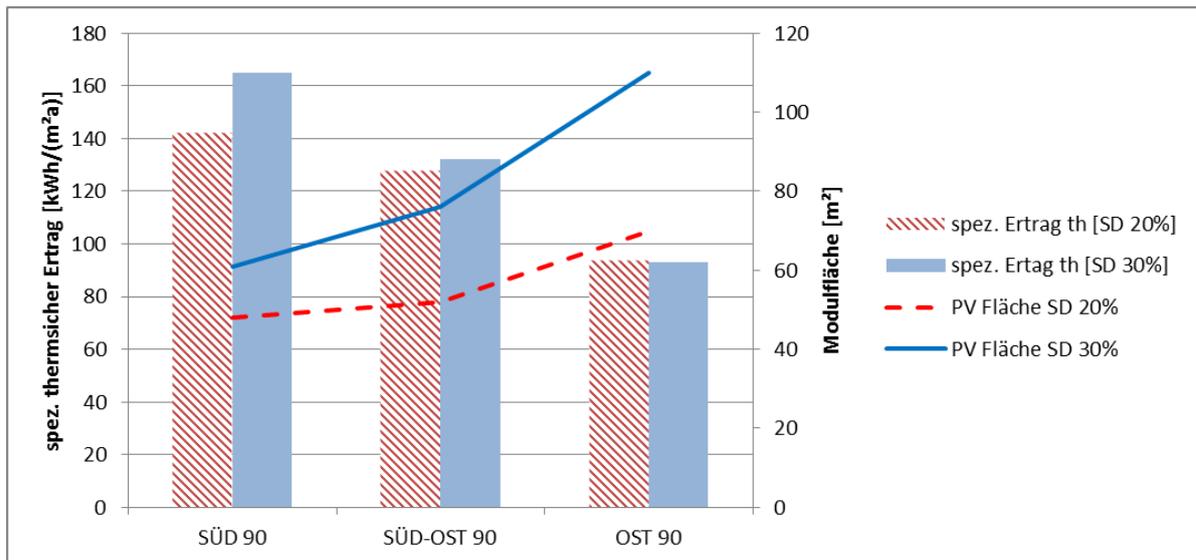


Abbildung 6-11: Vergleich spez. Erträge und Modulflächen bei unterschiedlicher Ausrichtung

Aus dieser Sicht schneidet die PV-Abluftwärmepumpe bei einem Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m²a) und einer Süd 90°-ausgerichtete Modulfläche bei solaren Deckungen von 30% am besten ab. Sowohl die Modulflächen als auch die spezifischen Erträge haben die besten Werte.

Den Vergleich zwischen direkter Solarstromnutzung und der Kombination aus Solarstromnutzung und Abluftwärmepumpe zeigt Abbildung 6-12.

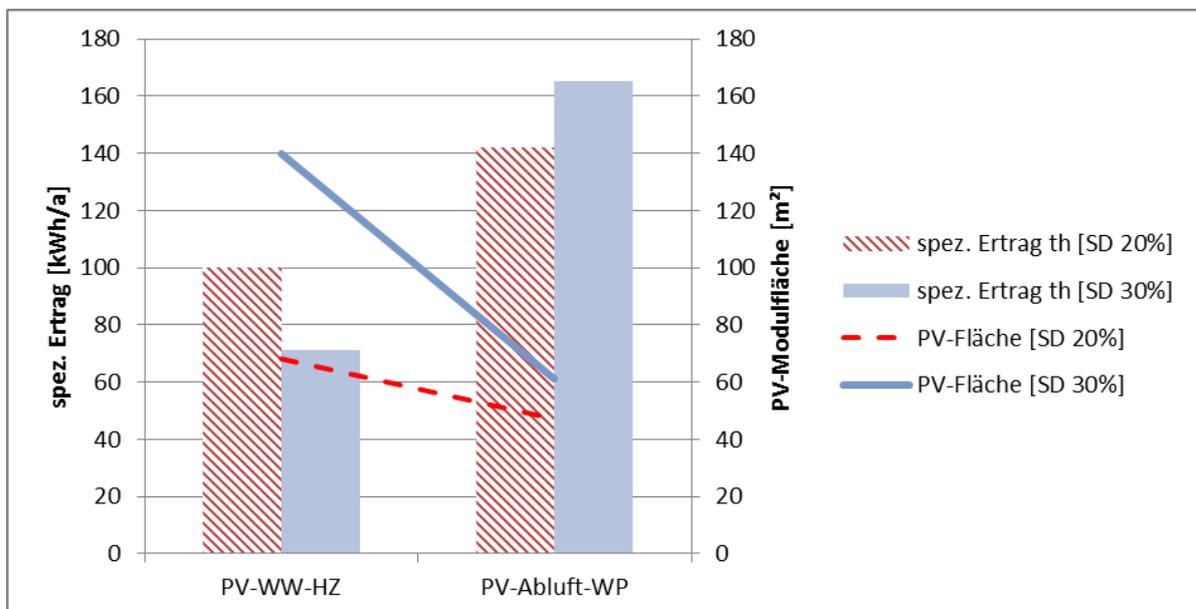


Abbildung 6-12: Vergleich Solarstromnutzung direkt bzw. mittels Abluftwärmepumpe

Die deutlich höheren spezifischen Erträge der PV-Abluftwärmepumpe, bei wesentlich geringeren Modulflächen gegenüber der direkten Solarstromnutzung, zeigen die Sinnhaftigkeit

des Einsatzes von solarstrombetriebenen Wärmepumpen auf. Bezogen auf ein wirtschaftliches und nachhaltiges Energieversorgungskonzept macht die PV-Abluftwärmepumpe Sinn.

Analyse der Ergebnisse

Die Berechnungen der PV-Wärmepumpenkombinationen zeigen, dass zur solaren Deckung von 20% bzw. 30% im Vergleich mit der Solarthermieanlage (vergl. Tabelle 6-6) deutlich größere Modulflächen notwendig sind. Abgesehen von der grundsätzlich verschiedenen Wirkungsweise solarthermischer und solarelektrischer Wärmezeugung ist hier sicherlich der Fakt zu berücksichtigen, dass die PV-Anlage eine Mindestleistung von 30% liefern muss, damit der Betrieb der Wärmepumpe starten kann. Somit liegt die PV-Verbrauchsquote – also die Nutzung des Solarstromes – bei nur etwa 50%. Verglichen mit der direkten Solarstromnutzung zur Warmwasserbereitung bzw. Heizung, bei welcher die Solarstromnutzung bei rund 95 % liegt, ist die Nutzung des Solarstromangebots eher gering.

Nicht zuletzt dadurch ist der spezifische Ertrag und somit die Systemeffizienz gegenüber jenen der solarthermischen Anlage weit niedriger.

Positiv wirkt sich der Einfluss der höheren Quelltemperatur der Wärmepumpe auf die Effizienz aus. Diese bewirkt eine Steigerung der Jahresarbeitszahl von etwa 2,6 auf 2,7 bei Außenluftnutzung und auf 2,9 bei Abluftnutzung. Es kann durch PVth-Kollektoren rund 4% und durch Abluftnutzung rund 10% des jährlichen Strombedarfs gespart werden.

Die Vorteile der Installation von Wärmepumpen werden speziell im Vergleich mit der direkten Solarstromnutzung zur Warmwasserbereitung und Heizung deutlich. Einerseits werden für solare Deckung von 20% geringere Modulflächen (PV-direkt etwa 68 m², PV-WP etwa 48 m²), andererseits wird zur Deckung des Wärmebedarfs nur etwa zwei Drittel des Primärenergiebedarfs benötigt.

6.2.4 Berechnungen zur Bauteilaktivierung

In Kapitel 5.2.2 wurde gezeigt, dass der Einsatz von thermisch aktivierten Bauteilen im Bereich der Gebäudesanierung mittels vorgefertigter Fassaden Potential bezüglich eines schnellen Sanierungszeitraumes, eines hohen Vorfertigungsgrades aber auch einer flexiblen und vielseitigen Einsetzbarkeit hat.

Die Berechnungen zur Bauteilaktivierung wurden ebenfalls in Microsoft Excel durchgeführt. Es wurden Berechnungen unterschiedlicher Mauerwerke hinsichtlich deren Speicherkapazitäten sowie Wärmestromdichten getätigt und die Materialien auf mögliche thermische Nutzung in der Bestandssanierung analysiert.

Die Materialkennwerte für Mantelbeton wurden dieser Arbeit durch die AEE INTEC zur Verfügung gestellt, die Kennwerte für Vollziegel, Hochlochziegel und Stahlbeton wurden [48] entnommen.

Eine thermische Nutzung des Mauerwerks als Speicher und Wärmeabgabesystem ist ein sehr dynamischer Vorgang, welcher von unterschiedlichen Parametern abhängig ist und dessen detaillierte Abbildung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Wesentlich für erste Beurteilungen sind in diesem Stadium der Konzeptentwicklung die Aktivierungstemperatur des Mauerwerks (35°C bzw. 45°C), die Rauminnentemperatur (20°C) sowie die Materialien der

Wandaufbauten (s. Tabelle 6-14). Anhand dieses statischen Ansatzes können hinlängliche Aussagen über das Potential der Bauteilaktivierung gemacht werden.

Um einen breiten Vergleich unterschiedlicher Materialien zu ermöglichen, wurden vier unterschiedliche Wandaufbauten untersucht, welche in Tabelle 6-14 zusammengefasst sind.

Tabelle 6-14: Materialkennwerte unterschiedlicher Außenwandaufbauten und Wärmestromdichte bei unterschiedlichen Aktivierungstemperaturen

	Dichte [kg/m ³]	spez. Wärmekapazität [kJ/(kgK)]	U-Wert [W/(m ² K)]	Wärmestromdichte für unterschiedliche Aktivierungstemperaturen	
				[W/m ²]	[W/m ²]
				35°C	45°C
Mantelbeton	1560	0,920	0,87	13	22
Vollziegel	1691	0,924	2,10	32	53
Hochlochziegel	1038	0,905	0,96	15	25
Stahlbeton	2181	0,878	3,33	50	83

Analyse der Ergebnisse

Wie in oberer Tabelle gezeigt, divergieren die Wärmestromdichten bezüglich unterschiedlicher Materialien und Aktivierungstemperaturen stark. So ist der Wärmestrom bei Mantelbetonwänden um etwa das 3,5-fache geringer als bei Stahlbetonwänden. Da die Wärmestromdichte durch das Mauerwerk jedoch ausschlaggebend für die Deckung der benötigten Heizlast (s. Kapitel 4.2.2) ist, kann es bei der Nutzung thermisch aktiver Bauteile sinnvoll sein, nur eine Grundlast abzudecken und bei großem Heizwärmebedarf für Back Ups wie etwa Infrarotheizsysteme zu sorgen. Eine alleinige Deckung der Heizlast durch thermische Aktivierung des Mauerwerkes bedarf, je nach Materialien und Temperaturen, unterschiedlich große Fassadenflächen, welche Abbildung 6-13 darstellt.

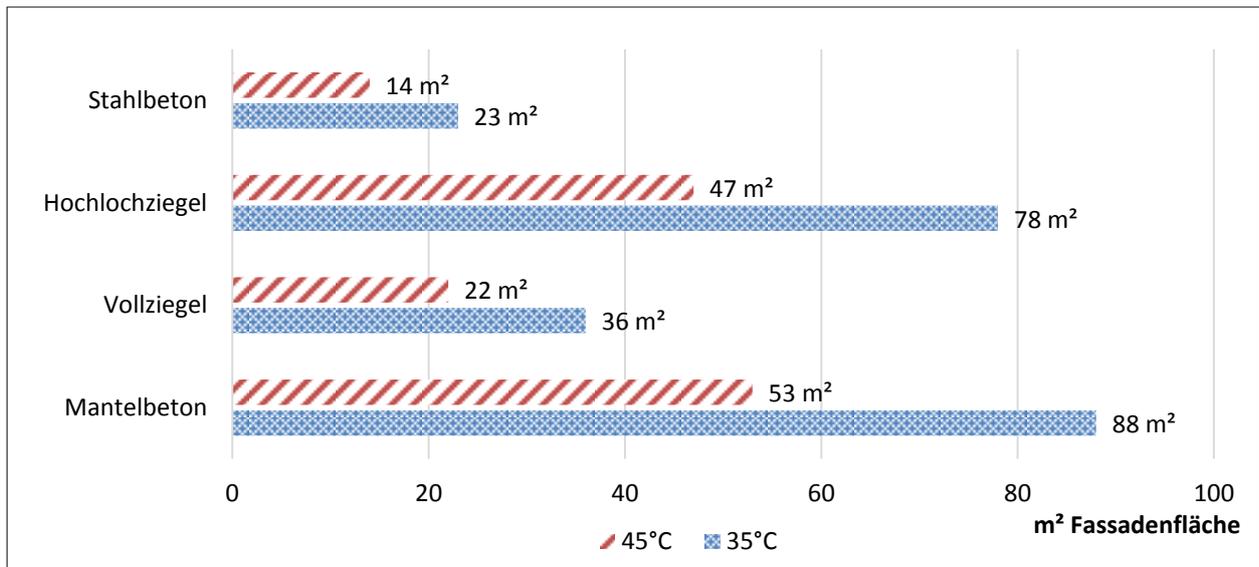


Abbildung 6-13: Benötigte Fassadenflächen zur Deckung der Heizlast für HWB 15 bei Bauteilaktivierung mit unterschiedlichen Wandmaterialien und Aktivierungstemperaturen

So eignen sich Stahlbeton- bzw. Vollziegelmauerwerke zur thermischen Aktivierung besser als Hochlochziegel- und Mantelbetonwände. Die Erhöhung der Aktivierungstemperatur bringt Vorteile bezüglich der notwendigen Flächen; das Risiko der Überhitzung der Wohnräume und daraus folgende Unbehaglichkeiten werden dadurch jedoch größer.

6.3 Qualitative Beurteilung der Energieversorgungskonzepte

Die qualitative Beurteilung der Energieversorgungskonzepte dient der ganzheitlichen Einschätzung des Konzeptpotentials. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Bewertung, welche vom Autor dieser Arbeit durchgeführt wurden, vorgestellt und analysiert. Eine Interpretation findet in Kapitel 7 statt.

Da die Lüftungskonzepte als Energieversorgungskonzepte eine eher untergeordnete Rolle spielen, werden diese bei den Bewohner- und Bauträgeranforderungen nicht berücksichtigt. Ihre Ergebnisse werden im Kapitel 6.3.3 dargelegt.

6.3.1 Qualitative Bewertung: Bewohner- und Bauträgeranforderungen

Anhand der unterschiedlichen Sichtweisen der qualitativen Bewertung ist es möglich, neben den rein technischen Aspekten auch soziale bzw. allgemein wichtige Aspekte zu beurteilen. Die Bewertungskriterien der Bewohner- bzw. Bauträgeranforderungen wurden in vorhergegangenen Kapiteln bereits vorgestellt (s. Kapitel 6.1.2), nachfolgend werden die Ergebnisse der Bewertung dargelegt.

Generell müssen die Ergebnisse mit Vorsicht betrachtet werden, da die unterschiedlichen Bewertungsergebnisse oftmals sehr geringe Abweichungen zueinander haben, wie Abbildung 6-14 beispielhaft zeigt.

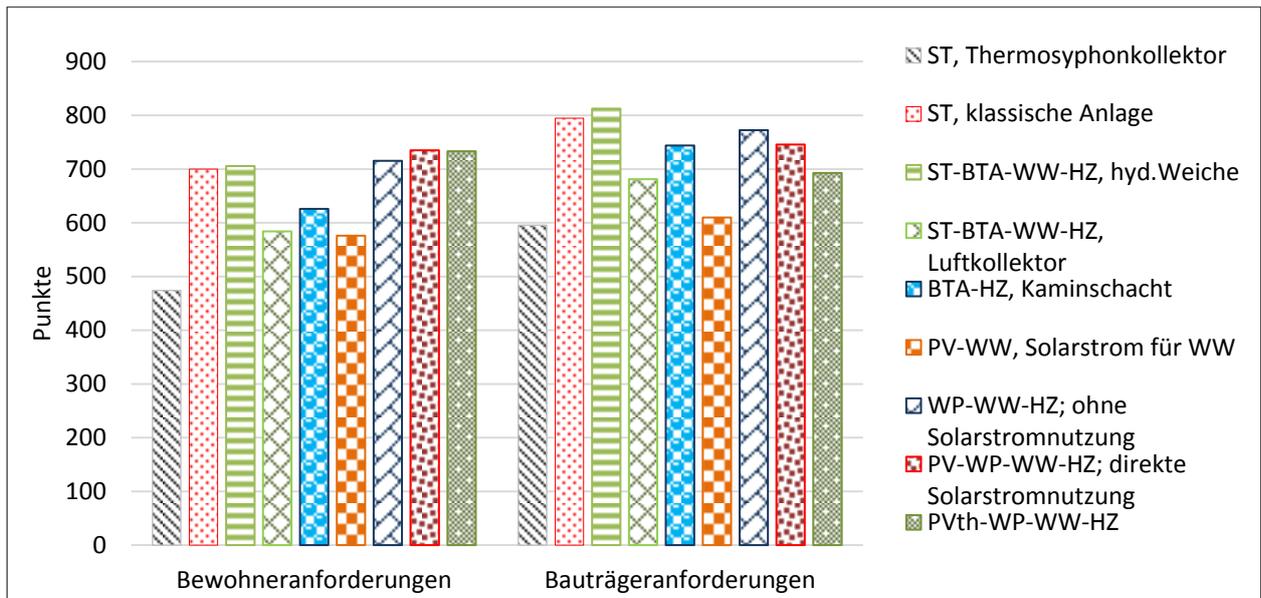


Abbildung 6-14: Qualitative Ergebnisse, Bewohner- bzw. Bauträgeranforderungen nach Punkten

Zur besseren und übersichtlicheren Darstellung der Bewertungsergebnisse werden diese hinsichtlich ihres Ranges untereinander sortiert. Ein schnelles Erkennen der besten- bzw. schlechtesten bewerteten Energieversorgungskonzepte wird möglich.

Abbildung 6-15 zeigt das Ergebnis nochmals als Rang aufgetragen. Das Erkennen der Bewertungsergebnisse wird deutlicher.

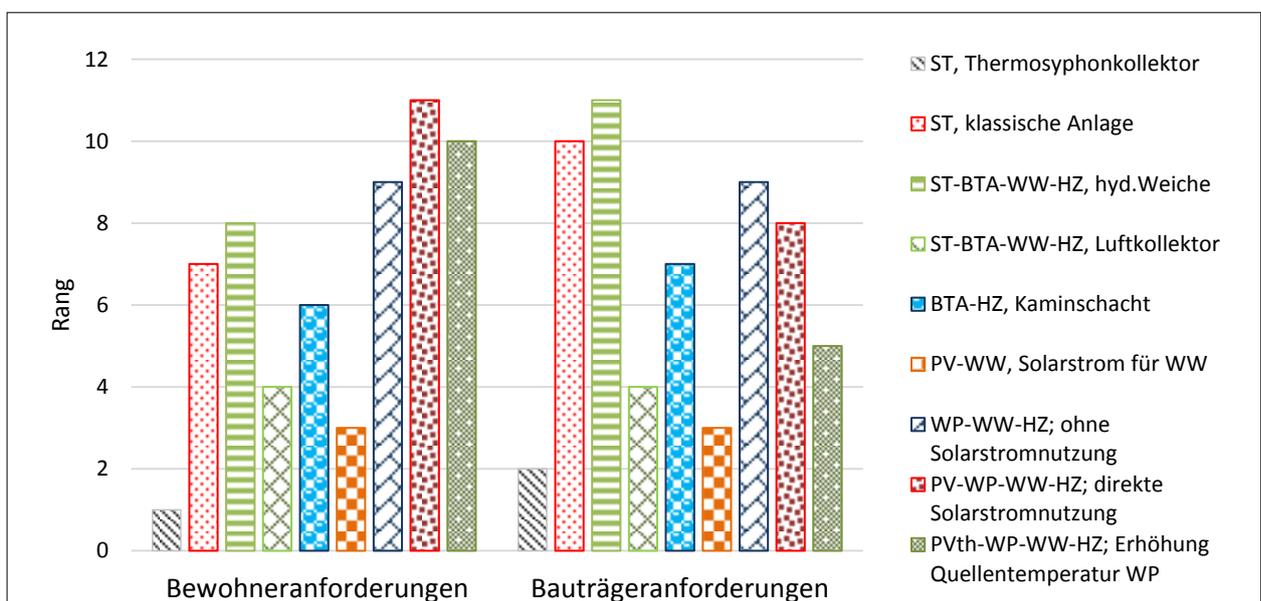


Abbildung 6-15: qualitative Ergebnisse, Bewohner- bzw. Bauträgeranforderungen nach Rang

Die Ergebnisse aus Bewohner- und Bauträgersicht sind bei den unterschiedlichen Energieversorgungskonzepten sehr ähnlich. Trotzdem können anhand der Bewertung Tendenzen und Trends aufgezeigt werden.

Bei den Bewohneranforderungen ist ein klarer Trend bezüglich der Technologiekombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe zu erkennen. Diese belegen die drei ersten Ränge der Bewertung. Weiters wurde die Bauteilaktivierung in Kombination mit der hydraulischen Weiche als vielversprechend eingeschätzt.

Der Fokus der Bewohneranforderungen liegt auf der Reduktion der Betriebskosten und einer Komfortsteigerung im Wohnbereich. Neben der ästhetisch anspruchsvollen Optik der Haustechnik ist die Zugänglichkeit für Wartungszwecke außerhalb der Wohnräume wichtig.

Aus Bauträgersicht spielen Faktoren wie Wartungsintensität, Wartungskosten und Errichtungskosten wesentliche Rollen. Eine schnelle und leichte Adaptierbarkeit des Haustechnikkonzeptes in der Planungsphase ist wesentlich für ein schnelles, kosteneffizientes Abwickeln und umsetzen.

Nicht zuletzt deshalb wird die hydraulische Weiche in Kombination mit Solarthermie und Bauteilaktivierung, durch ihre vielseitigen Einsatzmöglichkeiten, als das vielversprechendste Konzept angesehen. Gefolgt von der klassisch angeordneten Solarthermieanlage, der Wärmepumpe ohne Solarstromnutzung und mit Solarstromnutzung. Interessant ist, dass die thermische Aktivierung der Kaminschächte als eine vielversprechende Alternative zu herkömmlichen Wärmeabgabesystemen eingestuft wird.

6.3.2 Qualitative Bewertung: Warmwasser, Heizung

Das Ergebnis der Beurteilung des technischen Konzeptpotentials hinsichtlich der Warmwasserbereitung bzw. Raumwärmeerzeugung kann Abbildung 6-16 entnommen werden. Auch hier werden die Ergebnisse zwecks einer besseren Übersicht nach Rang dargestellt.

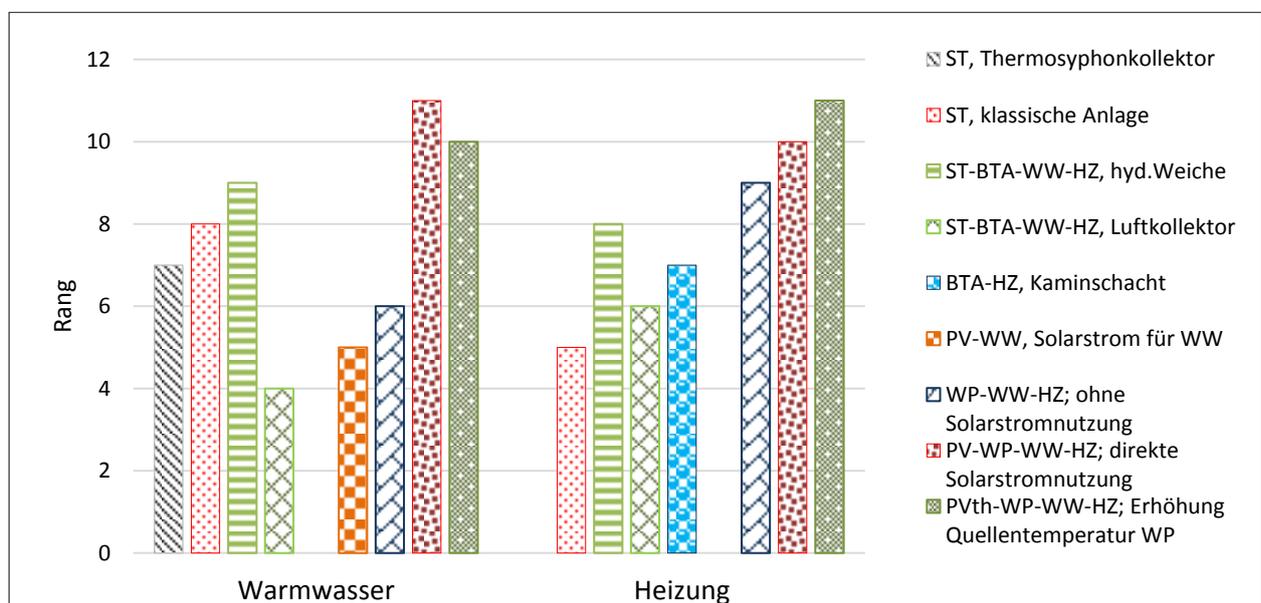


Abbildung 6-16: Qualitative Ergebnisse: Warmwasser; Heizung

Das Ergebnis der technischen Bewertung zeigt, dass sowohl für Warmwasser als auch für Heizungszwecke die Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe, wie bei den Bewohneranforderungen zuvor gezeigt, als erfolgversprechend eingestuft wird.

Zur Warmwasserbereitung werden außerdem die solarthermischen Anlagen wie die Kombination aus Solarthermie-Bauteilaktivierung-hydraulischer Weiche, die klassische Solarthermieanlage und die Warmwasserbereitung mittels Thermosyphonkollektor als aussichtsreich eingestuft.

Diese Ergebnisse spiegeln sich bei der Raumwärmebereitung mit nur kleinen Änderungen wider. Es wurden der Einsatz von solarthermischen Luftkollektoren zur Bauteilaktivierung und die Bauteilaktivierung der Kaminschächte als vielversprechender wie beispielsweise die klassisch angeordnete Solarthermieanlage eingestuft.

Generell kann aus dem Ergebnis ein Trend Richtung PV-Wärmepumpen und Solarthermie-Bauteilaktivierung Kombinationen abgeleitet werden.

6.3.3 Qualitative Bewertung: Lüftungskonzepte

Die Lüftungskonzepte spielen durch ihre eher passive Rolle hinsichtlich Energieerzeugung eine untergeordnete Rolle bei der Konzeptentwicklung. Dennoch haben sie große Bedeutung bezüglich einer vollständigen und ganzheitlichen Konzeptdarstellung, welche Ziel dieser Arbeit ist.

Abbildung 6-17 zeigt die qualitativen Bewertungsergebnisse der Lüftungskonzepte hinsichtlich ihrer Bewertungspunkte.

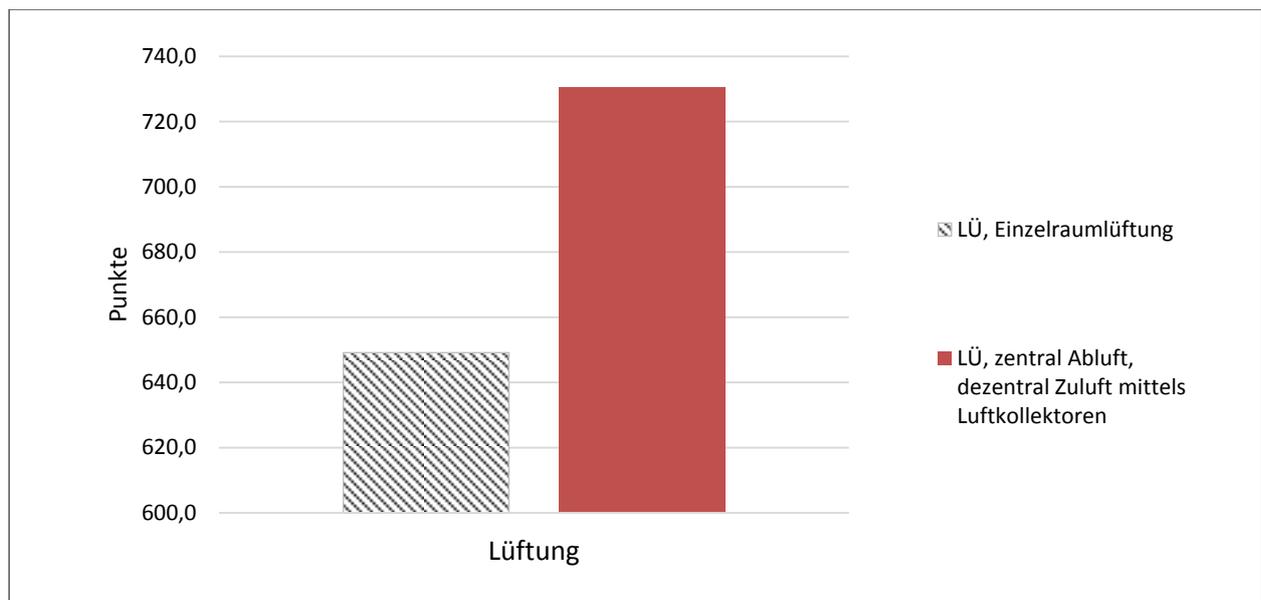


Abbildung 6-17: Qualitative Ergebnisse: Lüftung

Die zentrale Abluft und dezentrale Zuluft mit Zuluftvorwärmung mittels Luftkollektoren wurde besser eingestuft als die Nutzung von Einzelraumlüftungsgeräten.

Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die hygienischen Bedingungen in der Lüftungsanlage durch eine zentrale Wartung verbessert werden könnten. Auch würden weniger Geräte und damit weniger Wartungsarbeiten anfallen. Die Kombinationsmöglichkeit einer zentralen Abluftanlage mit Abluftwärmepumpen stellt einen weiteren Vorteil dar.

6.3.4 Zusammenführung der Bewertungen und Bildung eines Gesamtergebnis

Nachdem die einzelnen Teilergebnisse der qualitativen Bewertung erläutert wurden, werden nun die Gesamtergebnisse der qualitativen Bewertung vorgestellt. Mit Hilfe der ganzheitlichen Ergebnisanalyse soll die Konzeptauswahl durchgeführt werden.

Die Gesamtergebnisse sind in Abbildung 6-18 prozentual dargestellt. Die rote Linie zeigt das Bewertungsergebnis bezogen auf die maximal möglichen Gesamtpunkte (max. 5000 Punkte) und stellt das absolute Ergebnis dar. Blau dargestellt ist das Ergebnis bezogen auf die Anzahl der zu bewertenden Sichtweisen – pro Sichtweise sind max. 1000 Punkte möglich – es stellt das spezifische Ergebnis der Bewertung dar. Durch diese unterschiedlichen Bezugsgrößen haben Konzepte, welche beispielsweise nur die Erfüllung der Warmwasserbereitung oder Lüftung fokussieren, eine geringere absolute Bewertung als Konzepte, welche sowohl Warmwasserbereitung und Raumwärmeerzeugung abdecken. Da in der Konzeptfindungsphase ein offener und nicht vollständiger Zugang der Konzeptentwicklung zugelassen wurde, spiegeln die spezifischen Ergebnisse die Stärken und Schwächen besser wider. Aus diesem Grund beziehen sich in weiterer Folge alle Ergebnisse auf jene der spezifischen Bewertungen.

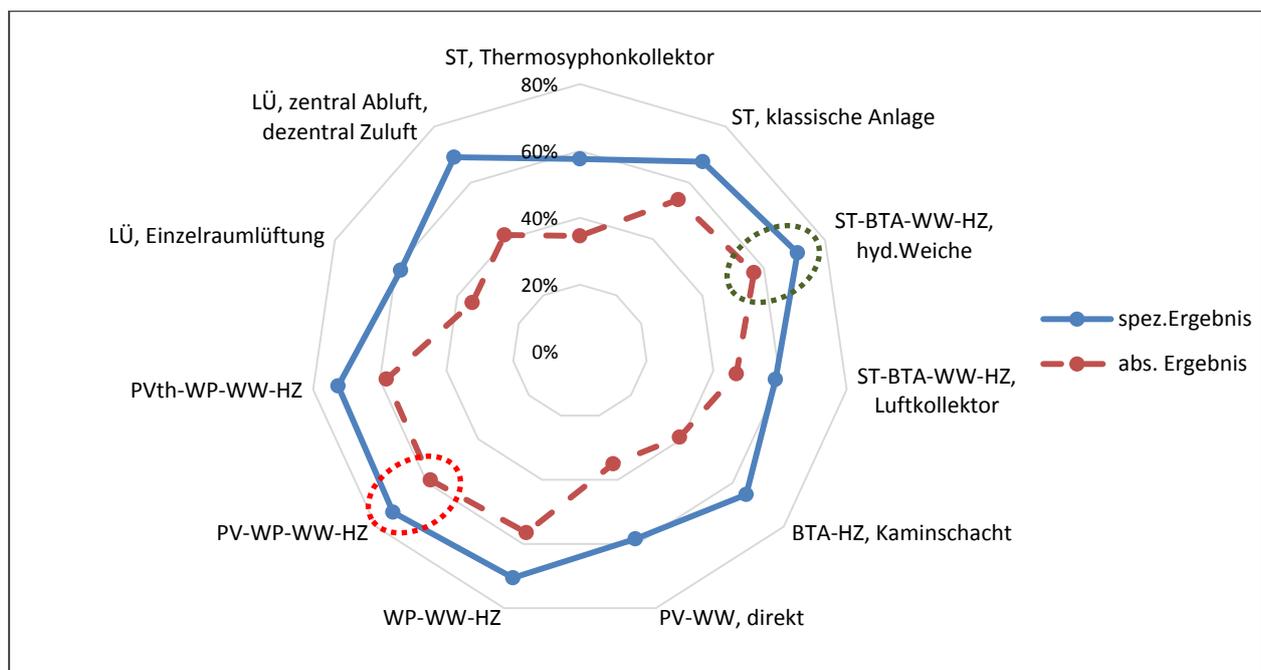


Abbildung 6-18: Ergebnis der qualitativen Bewertung der Energieversorgungskonzepte

Wie obere Abbildung veranschaulicht, wurden die Konzepte der Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe (rot eingekreist) und jene der Solarthermie-Bauteilaktivierung mit hydraulischer Weiche (grün eingekreist), als die besten Energieversorgungskonzepte bewertet. Sie haben durchschnittlich in jeder Kategorie gute Bewertungen, was sich im Gesamtergebnis positiv widerspiegelt. Bei der Bewertung der Lüftungskonzepte ist ein Trend zu Abluftanlage mit dezentraler Zuluft mittels Luftkollektor zu erkennen.

Neben der Ergebnisanalyse unter Anwendung der prozentualen spezifischen Ergebnisse macht die ganzheitliche Betrachtung der einzelnen Sichtweisen, wie Abbildung 6-19 zeigt, Sinn.

Diese Betrachtungsweise lässt direkt hohe sowie niedrige Beurteilungen erkennen und verdeutlicht den Trend der Gesamtbewertung. Hat das Konzept der Bauteilaktivierung (grün dargestellt) bei den Bauträgeranforderungen die meisten Punkte bekommen, so muss es sich bei der „Heizung“ hinter der PV-Wärmepumpe (schwarz dargestellt) einordnen. Beide Konzepte werden bei der Warmwasserbereitung gleich gut eingeschätzt. Da in beiden Konzepten keine Lüftungen implementiert wurden, folgt die Integration mit dem besten Lüftungskonzept. Rot dargestellt ist das Konzept der zentralen Abluftanlage und dezentralen Zuluft mittels Luftkollektoren. Verglichen mit dem Konzept der Einzelraumlüftung (violett dargestellt) hat die zentrale Abluft große Vorteile aus Bauträgersicht. Die technische Sichtweise „Lüftung“ zeigt auf, dass auch Einzelraumlüftungen für bestimmte Anwendungen Potential haben.

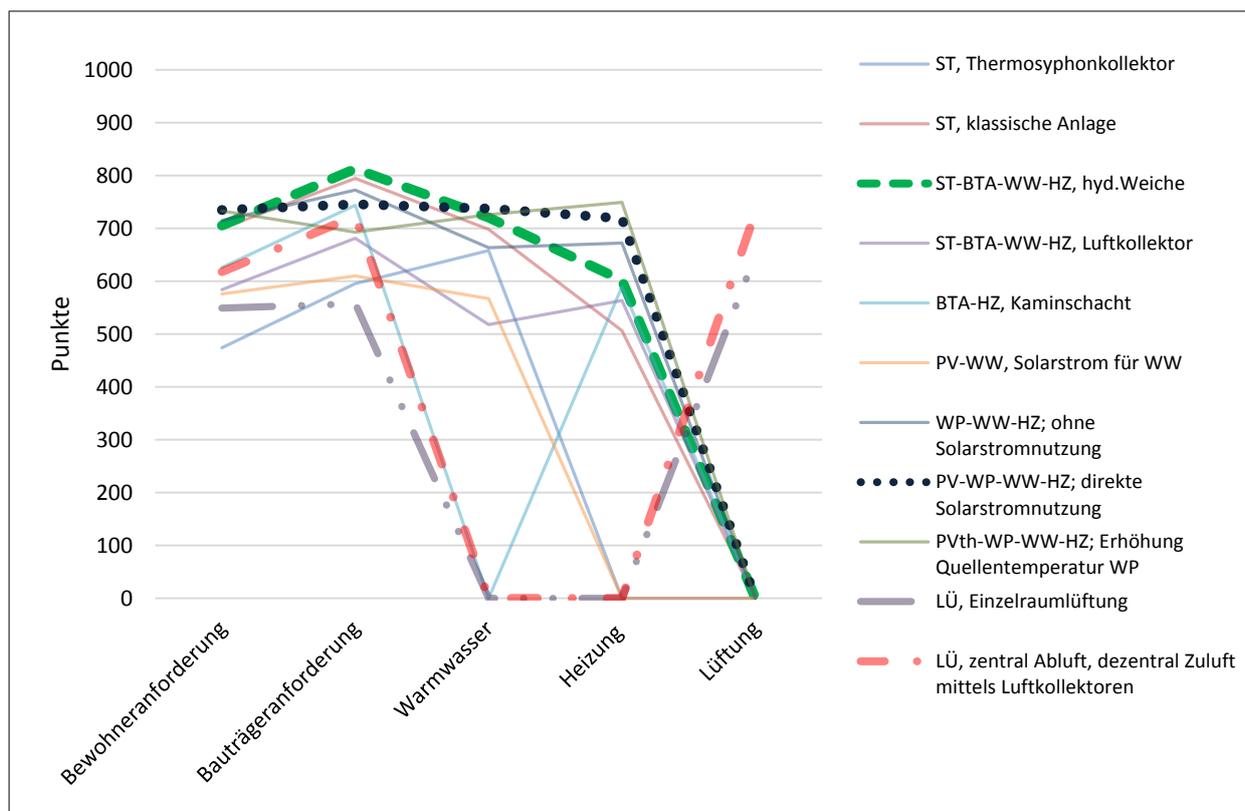


Abbildung 6-19: Qualitatives Gesamtergebnis im Detail

Nachdem die Ergebnisse hinsichtlich ihres Trends und ihres spezifischen Ergebnisses analysiert wurden, kann nun dem Ziel dieser Arbeit, dem Finden von ganzheitlichen Energieversorgungskonzepten, näher gekommen werden.

Anhand der qualitativen Bewertung der Konzeptideen kristallisierten sich Energieversorgungskonzepte heraus, die für weitere Betrachtungen interessante Ergebnisse versprechen. Da die Konzepte meist nur Warmwasserbereitung und/oder Raumwärmeerzeugung abdecken, gilt es im Folgenden aus den Konzeptideen ganzheitliche Versorgungslösungen für die Bereitstellung von Warmwasser-, Raumwärme und Lüftung abzuleiten.

7 Interpretation der Bewertungsergebnisse und Konzeptauswahl

Die Interpretation der Bewertungsergebnisse und der Ableitung einer bestmöglichen Konzeptauswahl ist Schwerpunkt des nachfolgenden Kapitels.

Die Ergebnisse der in Kapitel 6.2 und Kapitel 6.3 durchgeführten Bewertungen werden nun zusammengeführt, hinsichtlich Synergien verglichen und deren Aussagen interpretiert.

Ausgehend von den qualitativen Ergebnissen werden die Konzepte auf Sinnhaftigkeit und zu erwartende Bedarfsabdeckung mit Hilfe der quantitativen Beurteilung überprüft.

Ziel dieser Interpretation ist die bestmögliche Konzepterfüllung aller Anforderungen (Warmwasser, Heizung, Lüftung) und, daraus abgeleitet, neue vielversprechende ganzheitliche Energieversorgungsansätze.

7.1 Konzeptauswahl 1

Sowohl durch die quantitativen als auch durch die qualitativen Ergebnisse wurde die Sinnhaftigkeit der Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe bestätigt. Wie in Kapitel 6.2.3 erläutert, kann durch den Einsatz von Wärmepumpen nicht nur die benötigte Modulfläche der PV-Anlage verkleinert, sondern auch etwa zwei Drittel des benötigten Primärenergiebedarfs für Warmwasser und Heizung eingespart werden.

Der Vorteil der Kombination PV-WP liegt klar in der Singularität des Systems. Die Wärmepumpe kann neben der Nutzung des Solarstromes auch durch elektrischen Strom aus dem Netz betrieben werden und benötigt somit kein thermisches Back Up. Dies hat wesentlichen Einfluss auf die Kosten, da keine zusätzliche Wärmequelle benötigt wird.

Die Kombination aus PV-WP mit einer zentralen Abluftanlage und dezentraler Zuluft macht Sinn, da der Verdampfer der Wärmepumpe als Abluftgerät eingesetzt werden könnte. So kann durch die Wärmepumpe ein Lüftungsgerät gespart und durch die Nutzung der warmen Abluft als Wärmequelle die Effizienz der Wärmepumpe gesteigert werden. Auch ist eine Abluftnutzung für die Wärmepumpe den PVth-Kollektoren vorzuziehen, da diese mit einem erheblichen finanziellen Mehraufwand verbunden ist und die quantitativen Ergebnisse (s. Kapitel 6.2.2) keinen besonderen Mehrwert zeigen.

Nachteilig muss an dieser Stelle auf das Hochtemperaturwärmeabgabesystem des Referenzgebäudes verwiesen werden. Auch wenn bei HWB 15 bzw. HWB 30 nur geringe Heizleistungen anfallen, muss die Wärmepumpe zeitweise in Leistungsbereichen schlechterer Effizienz arbeiten. Dies wirkt sich negativ auf den Primärenergieeinsatz aus.

Die größeren benötigten Modulflächen in der Fassade (gegenüber der Solarthermieanlage) zur solaren Deckung von 20% bzw. 30% können negativen Einfluss auf die Investitionskosten der Sanierung haben.

Energieversorgungskonzept 1

Das erste ganzheitliche Energieversorgungskonzept setzt sich aus einer zentralen fassadenintegrierten Abluftwärmepumpe zur Warmwasserbereitung und Raumwärmeerzeugung zusammen. Als thermische Energiequelle dient der Wärmepumpe die warme Wohnungsabluft. Eine fassadenintegrierte Photovoltaikanlage versorgt sie mit

elektrischem Strom. Die Abluftanlage bedient sich bestehender Kaminschächte, um den Eingriff in das bestehende Gebäude möglichst gering zu halten.

Um die Nennleistung der Wärmepumpe zu begrenzen, wird ein Heizungspufferspeicher angebracht. Laut Konzeptentwurf soll dieser im fassadennahen Bereich installiert und die Strangführung in der Fassade untergebracht werden. Die Energieverteilung basiert somit auf einem Vier-Leiter-Netz, bei welchem die Systeme Warmwasserbereitung und Raumwärmeversorgung voneinander getrennt sind.

Als Heizungsunterstützung soll an kalten sonnenreichen Tagen die Zuluft durch Luftkollektoren vorgewärmt und anschließend dem Wohnraum zugeführt werden, wie nachfolgende Abbildung zeigt.

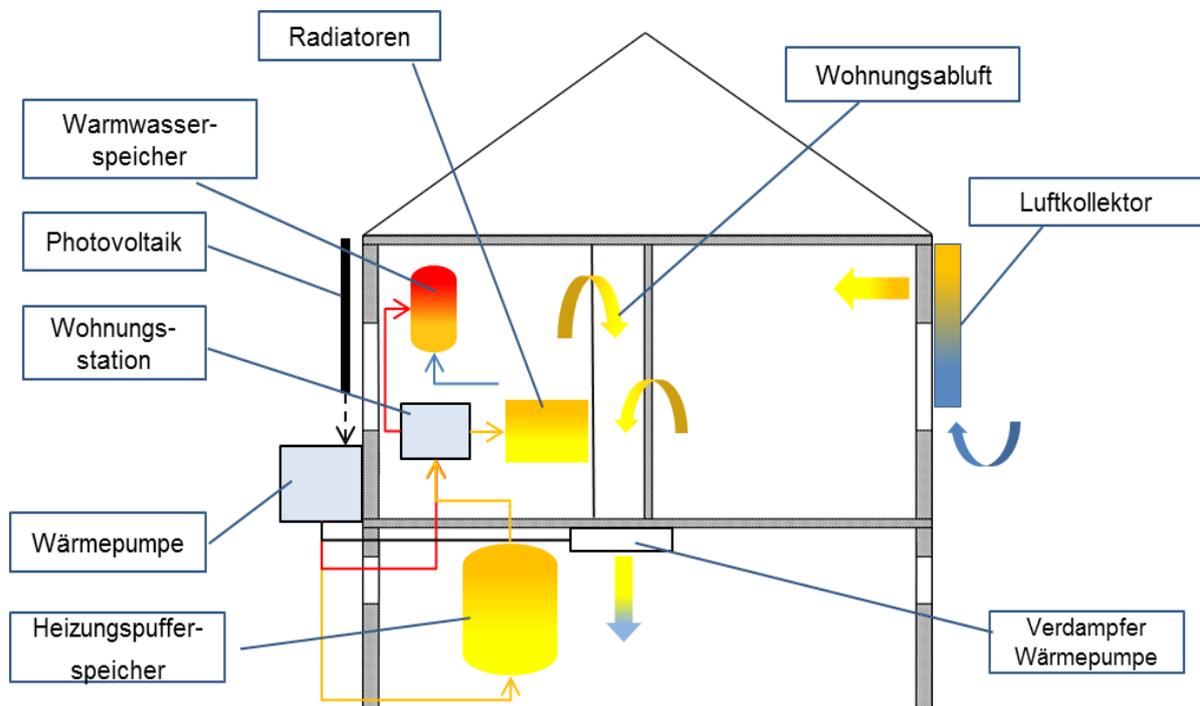


Abbildung 7-1: Energieversorgungskonzept 1

Soll der Fokus auf eine rein dezentrale Versorgung der Wohnungen gelegt werden, könnten kleine wohnungsweise Wärmepumpen in die Fassade integriert werden. Eine Abluftnutzung der Wohnräume kann ebenso stattfinden wie bei zentraler Anordnung, Schallemissionen durch die Nähe des Verdampfers zum Wohnbereich könnten problematisch werden und müssen untersucht werden. Vorteil einer dezentralen sehr kleinen Wärmepumpe wären kürzere Leitungsstränge durch zusätzliche Unterbringung kleiner Heizungspufferspeicher in die Fassadenelemente, und damit verbunden geringere Wärmeverluste. Nachteilig ist die Zugänglichkeit für Instandhaltungszwecke zu nennen.

Wie auch bei den unter Kapitel 5 dargestellten Konzeptideen, versteht sich die oben gezeigte Anordnung der Haustechnik als schematische Darstellung. Eine detaillierte Positionierung muss im Detail genau geplant werden.

7.2 Konzeptauswahl 2

Die Energieversorgungskonzepte zur Sanierung mittels vorgefertigten Fassadenelementen sollen dem Ansatz einer vielseitigen Einsatzmöglichkeit gerecht werden. Dieser Gedanke wird von der Kombination aus Solarthermie-Bauteilaktivierung und hydraulischer Weiche unterstützt, weshalb sie bei der qualitativen Beurteilung als gut eingestuft wurde.

Vorteile hat der Einsatz solarthermischer Anlagen bezüglich geringerer Kollektorflächen gegenüber der Kombination aus PV-WP. Weiters könnte sich das niedrige Temperaturniveau der Bauteilaktivierung positiv auf den Ertrag der Solarthermieanlage auswirken. Auch in Monaten geringer Sonneneinstrahlung können die niedrigen Temperaturen durch den Kollektor erreicht werden.

Aussichtsreich ist auch die Nutzung der hydraulischen Weiche zur Verteilung der Wärmeströme. Es können Haustechnikkonzepte schnell an sich ändernde Umgebungen angepasst werden. Der Einsatz fassadenintegrierter hydraulischer Weichen könnte, auch wenn die Rahmenbedingungen zur Bauteilaktivierung nicht gegeben sind (s. Kapitel 6.2.3), mit einem üblichen Wärmeabgabesystem (Radiatoren) kombiniert werden.

Energieversorgungskonzept 2

Das zweite Energieversorgungskonzept bedient sich als erneuerbare Wärmequelle einer fassadenintegrierten Solarthermieanlage. Die Verteilung der Wärmeenergie erfolgt mittels hydraulischer Weiche, die Speicherung der thermischen Energie erfolgt sowohl in den Wohneinheiten (Warmwasserspeicher), als auch im Mauerwerk der Fassade (Heizung). Als energetisches Back Up dient diesem Konzept eine externe Wärmequelle. Dies kann etwa ein Fernwärmeanschluss sein. Dieser ist ebenfalls an die hydraulische Weiche gekoppelt.

Die Lüftung übernimmt abluftseitig ein zentrales Gerät, wobei bestehende Kamine zur Ablufführung genutzt werden. Die Zuluft wird dezentral durch Luftkollektoren vorgewärmt und dient als Heizungsunterstützung.

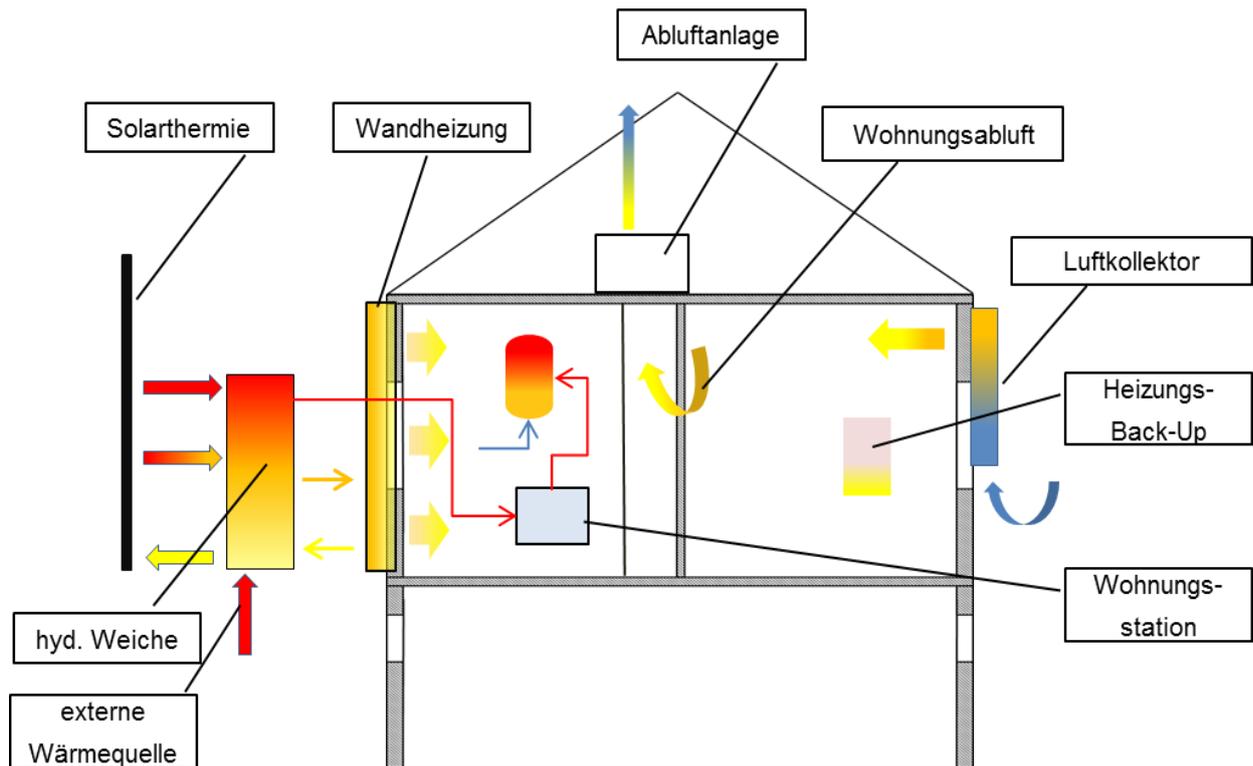


Abbildung 7-2: Energieversorgungskonzept 2

Da das Energieversorgungskonzept für Mauerwerke der 1960er Jahre Einsatz finden soll, könnten im Fall vorliegender Mantelbetonwände Schwierigkeiten der alleinigen Deckung des Heizwärmebedarfs anhand der Bauteilaktivierung entstehen. Ein Back Up in Form von Infrarotheizung oder elektrischen Radiatoren könnte bei großem Wärmebedarf unterstützend eingesetzt werden.

Neben der zentralen Anordnung der Haustechnikelemente könnte auch eine semizentrale, also eine Stockwerksverteilung vorgesehen werden. Dies hat Vorteile bezüglich der Größe der hydraulischen Weichen und erleichtert somit die Integration in die vorgefertigten Fassadenmodule.

Obwohl die alleinige Deckung des Energiebedarfs durch Bauteilaktivierung ein Risiko der Versorgungssicherheit darstellt, weist dieses Konzept interessante Fragestellungen auf, weshalb eine detaillierte Untersuchung im späteren Projektverlauf angestrebt werden soll.

7.3 Zusammenfassung der Konzeptauswahl

Die Wahl vielseitiger und umfangreicher Energieversorgungskonzepte, welche über vorgefertigte Fassadenelemente eine schnelle Gebäudesanierung ermöglichen, war Aufgabe der vorangegangenen Kapitel. Im Detail entstanden zwei ganzheitliche Versorgungskonzepte, die dem Anspruch der Integration erneuerbarer und nachhaltiger Energieversorgung über die Fassade Rechnung tragen.

Neben dem Schwerpunkt der maximalen Integration von Haustechnikelementen in der Fassade wurden Möglichkeiten zur dezentralen, semizentralen und zentralen Einbindung der Haustechnik diskutiert.

Es sollen im Folgenden die Stärken, Schwächen und Potentiale der in Kapitel 6.2 und 6.3 definierten Energieversorgungskonzepte aufgezeigt und zusammengefasst werden.

Die direkte Koppelung der Wärmepumpe mit einer PV-Anlage und gleichzeitigen Abluftnutzung zur Effizienzsteigerung dieser könnte sich durch die Singularität der Wärmequelle, speziell in Gegenden mangelnder Infrastruktur bezüglich Fernwärme oder Gas, positiv auf eine weitgehend autarke Gebäudeversorgung auswirken. Durch die Zusammenführung der Wärmepumpe und der Abluftanlage minimiert sich die Anzahl an benötigten Haustechniksystemen. Dies könnte positiven Einfluss auf Instandhaltungskosten haben. Des Weiteren haben stromgeführte Systeme den Vorteil, dass bei Installation am Gebäude weniger potentielle Leckagen auftreten können. Neben der zentralen Anordnung des Wärmepumpensystems sollen dezentrale (wohnungsweise) Wärmepumpen Beachtung finden. Die Dezentralisierung bringt Vorteile hinsichtlich mehrerer kleinerer leistungsarmer Geräte mit sich und begünstigt eine einfachere Betriebskostenabrechnung. Weiters fallen durch die geringeren Verteilleitungslängen weniger Wärmeverluste an. Der Heizungspufferspeicher verkleinert sich und könnte eventuell in der Fassade untergebracht werden.

Diesen vielen Konzeptstärken stehen jedoch Schwächen gegenüber. So muss bei der Installation der Wärmepumpe besonders auf die von ihr ausgehende Schallbelastung geachtet werden. Neben gesetzlichen Vorgaben muss die Behaglichkeit der Bewohnerinnen und Bewohner zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein. Die Anbringung der dezentralen Luftkollektoren zur Zuluftvorwärmung spielt hier eine entscheidende Rolle. Da die Lüftungsanlage keine direkte Wärmerückgewinnung vorsieht, könnte es jedoch an bewölkten Wintertagen (keine solaren Erträge) mit niedriger Außentemperatur zu kalten Strömungen im Wohnbereich kommen.

Auch wenn die Dezentralisierung der Wärmepumpe Vorteile mit sich bringt, so muss dennoch die Frage der Zugänglichkeit für Instandhaltungszwecke geklärt werden. Das Hochtemperaturwärmeabgabesystem wirkt sich negativ auf die Effizienz der Wärmepumpe aus. Die Konzeptstärken und -schwächen sind in nachfolgender Tabelle 7-1 zusammengefasst.

Tabelle 7-1: Konzeptstärken und –schwächen der PV-Abluft-WP

PV-Abluft-WP für WW, HZ und LÜ	
Konzeptstärken	Konzeptschwächen
Effizienzsteigerung der Wärmepumpe durch Abluftnutzung	Schallbelastung durch Wärmepumpe
Singularität der Wärmequelle	keine direkte Wärmerückgewinnung durch Lüftungsanlage
Geringe Anzahl an Systemen (WW,HZ,LÜ)	Fragliche Zugänglichkeit bei Instandhaltung dezentraler bzw. zentraler WP
Solarstromnutzung	zentraler Heizungspufferspeicher
hoher Vorfertigungsgrad durch stromgeführtes System möglich	Hochtemperaturwärmeabgabesystem

Die Nutzung von Solarstrom und seine thermische Veredelung mittels Wärmepumpe stellt das erste ganzheitliche Energieversorgungskonzept dieser Arbeit dar. Die Wahl des zweiten Energieversorgungskonzeptes, welche aus der qualitativen und quantitativen Bewertung hervorgegangen ist, fällt auf das Konzept der Bauteilaktivierung in Verbindung mit einer fassadenintegrierten Solarthermieanlage und Energieverteilung durch hydraulische Weichen.

Die Stärken dieses Energieversorgungskonzeptes liegen in der Nutzung des Mauerwerkes als thermischer Speicher und dadurch im Verzicht auf einen Heizungspufferspeicher, was Wärmeverluste und Investitionskosten reduziert. Außerdem dient das Mauerwerk als Wärmeabgabesystem. Dadurch kann ein geringerer Eingriff in das Bestandsgebäude fokussiert werden. Die direkte thermische Interaktion der Fassade mit den dahinterliegenden Wohnräumen soll ein angenehmes Raumklima schaffen.

Die Energieverteilung durch die hydraulische Weiche kann sowohl zentral als auch semizentral vorgesehen werden. Die von außen an das Bestandsgebäude angebrachte Wärmeabgabeflächen sind vielversprechend für eine kurze Sanierungsdauer und geringe bauliche Interaktion mit dem Bestandgebäude.

Eine Ertragssteigerung der Solarthermieanlage durch das niedrige benötigte Temperaturniveau der Bauteilaktivierung während der Heizperiode stellt einen weiteren Vorteil dieses Konzeptes dar.

Besondere Beachtung verlangt der Einsatz dieses Konzeptes bezüglich der Materialien des Mauerwerks. Hat das Mauerwerk einen geringen Wärmedurchgang, so können die benötigten Aktivierungsflächen sehr groß werden bzw. kann keine volle Deckung der Heizlasten garantiert werden.

Ist die hydraulische Weiche semizentral angebracht, muss die Frage der Zugänglichkeit für Instandhaltungszwecke geklärt werden. Dafür könnte beispielsweise der Bereich des Treppenhauses genutzt werden.

Eine zusätzliche Wärmequelle für Warmwasser und Bauteilaktivierung als Back Up muss installiert werden, falls die Außentemperatur unter den für die Wärmepumpe nutzbaren Bereich sinkt. Ein Heizungs-Back-Up sollte im Falle keiner 100%-igen Deckung durch die Bauteilaktivierung vorgesehen sein.

Da die warme Abluft der Wohnräume nicht rückgewonnen wird, entstehen thermische Verluste über die Lüftung.

Stärken und Schwächen der Kombination aus Solarthermie-Bauteilaktivierung und hydraulischer Weiche sind in Tabelle 7-2 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 7-2: Konzeptstärken und –schwächen der ST-BTA-LÜ

ST-BTA-hyd. Weiche-WW-HZ-LÜ	
Konzeptstärken	Konzeptschwächen
Ertragssteigerung der Solarthermieanlage durch tiefes Temperaturniveau der BTA	Große Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Mauerwerks
kein Heizungspufferspeicher notwendig	keine direkte Wärmerückgewinnung durch Lüftungsanlage
geringer Eingriff durch die Sanierung in das Bestandsgebäude	Erschwerte Zugänglichkeit bei Instandhaltung semizentraler bzw. zentraler hyd. Weiche
zentrale Wartung der Abluftanlage	externe Wärmequelle notwendig
schnelle Sanierung durch geringe Interaktion mit Bestandsgebäude möglich	Eventuelles Heizungs-Back Up (Wärmeabgabe) notwendig

Unter Berücksichtigung der in dieser Arbeit begrenzt möglichen Detaillierung und genauen Abbildung der Energieversorgungskonzepte (ohne genauere Untersuchungen durch z.B. dynamische Simulationen und Interaktion mit dem Gebäude) kann davon ausgegangen werden, dass sich sowohl die Nutzung von stromgeführten als auch die Nutzung von fluidgeführten Systemen zur Energiegewinnung für die Bestandssanierung durch vorgefertigte Fassadenelemente eignen.

Die Energieversorgungskonzepte müssen dem Gebäude und seinen Eigenschaften angepasst werden. Wie auch bei der Konzeptauswahl dieser Arbeit gezeigt, gibt es sehr viele technische Kombinationsmöglichkeiten. Die breite Herangehensweise der Konzeptfindung und anschließenden Beurteilung erlaubt eine fundierte Konzeptauswahl.

8 Ausblick

Nachhaltige Energieversorgungskonzepte bei Gebäudesanierungen sind hinsichtlich eines ressourcenschonenden Umgangs mit der Natur notwendig. Es werden rund ein Drittel mehr Rohstoffe zur Deckung des Energiebedarfs der Erde benötigt, als die Erde nachhaltig bereitstellen kann [49].

Die Sanierung mittels vorgefertigter Fassadenelemente kann einen wesentlichen Beitrag zu einem geringeren Energiebedarf und durch die Einbindung erneuerbarer Energien zu einer nachhaltigeren Energieerzeugung beitragen.

Neben der Energiegewinnung durch in die Fassadenelemente integrierte Solarkollektoren bzw. Photovoltaikmodule, stellt die Speicherung der thermischen bzw. elektrischen Energie eine zukünftige Herausforderung dar. Es bedarf bei Sanierungen, aber auch bei Neubauten, neue Ansätze zur Energiespeicherung. Die aktive Nutzung des Mauerwerks als thermischer Speicher könnte ein möglicher Ansatz sein. Zukünftig wäre jedoch die Verwirklichung von saisonalen Speichern, um den Energieüberschuss der Sommermonate in die Wintermonate tragen zu können, wichtig. Gerade im Zusammenhang mit vorgefertigten Fassadenmodulen können Schnittstellen zur Nachrüstung von Haustechnikelementen geschaffen werden.

Die Untersuchung der Einbindung latenter thermischer Wärmespeicher – Nutzung der Phasenänderungsenergie – in die Fassade könnte hier eine interessante Alternative zu herkömmlichen wasserbasierenden Speichern sein.

Liegt der Fokus auf der Erzeugung von elektrischem Solarstrom, können Akkumulatoren die Speicherung des Solarstromes ermöglichen. Da Sanierungen der Gebäude der 1960er-1980er Jahre meist eine bestehende Gasinfrastruktur besitzen, könnten „Power-to-Gas⁸“ Lösungsansätze zukünftig im Bereich der Gebäudesanierung ein weiterer interessanter Ansatz sein.

Neben den technischen Detailfragen und der Machbarkeit der Umsetzung der in dieser Arbeit entstandenen Energieversorgungskonzepte muss der Fokus zukünftiger Gebäudesanierungen von einer rein wirtschaftlichen Betrachtungsweise zu einer energetisch nachhaltigen Betrachtung gewandelt werden.

⁸ Umwandlung des elektrischen Stromes in Wasserstoff und Sauerstoff durch Elektrolyse und anschließende Erzeugung von Methangas [50]

Literaturverzeichnis

- [1] European Commission, „European Commission - Climate Action,“ [Online]. Available: http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm. [Zugriff am 23. März 2015].
- [2] EU, „RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 2001/77/EG und 2003/30/EG,“ EU, Brüssel, 2009.
- [3] Europäisches Parlament, „RICHTLINIE 2002/91/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden,“ Brüssel, 2002.
- [4] Statistik Austria, „Statistik Austria,“ [Online]. Available: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html. [Zugriff am 05. März 2015].
- [5] K. Höfler, S. Geier, A. Knotzer, D. Venus, H. Kreiner, A. Passer, W. Nussmüller, T. Weiss, V. Taschil, J. Saurer, C. Liebming, A. Brunnader, C. Künz und K. Lutschounig, „e80³ Subprojekt 3: Technologie- und Komponentenentwicklung,“ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2012.
- [6] Österreichisches Institut für Bautechnik, „ÖiB-Richtlinie 6,“ Wien, 2011.
- [7] W. Feist, „Passivhaus Institut,“ [Online]. Available: http://www.passiv.de/de/02_informationen/01_wasistpassivhaus/01_wasistpassivhaus.htm. [Zugriff am 11. März 2015].
- [8] W. Feist, „Zertifiziertes Passivhaus " Zertifizierungskriterien für Passivhäuser mit Wohnnutzung,“ Passivhaus Institut, Darmstadt, 2013.
- [9] GIWOG - Gemeinnützige Industrie- Wohnungs AG, „GIWOG - Gemeinnützige Industrie- Wohnungs AG,“ 2010. [Online]. Available: http://www.giwog.at/fileadmin/kundendaten/downloads/dieselweg_deutsch_2012.pdf. [Zugriff am 04. August 2015].
- [10] H. Recknagel, E. Sprenger und E.-R. Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik (73.Auflage), München: Oldenbourg Industrieverlag München, 2006/07.
- [11] Österreichisches Normungsinstitut, *VORNORM ÖNORM H7500*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2006.
- [12] „BiolytiQs,“ [Online]. Available: http://www.biolytiqs.de/geschaeftsbereiche/schadstoffanalytik_klima/doc/belastung_durch_bakterien.htm. [Zugriff am 09. März 2015].
- [13] C. Fink, „Solarwärme und die neue Hygienenorm B 5019 für Trinkwassererwärmungsanlagen,“ [Online]. Available: <http://www.solarwaerme.at/docs/525.pdf>. [Zugriff am 09. März 2015].

- [14] Initiative Sonnenhaus Österreich, „Das Sonnenhaus - Ein Bau- und Heizkonzept der Gegenwart und der Zukunft,“ Initiative Sonnenhaus Österreich, Linz, 2015.
- [15] energieausweis.at - Energieausweiserstellung in Österreich, „energieausweis.at,“ [Online]. Available: <http://www.energieausweis.at/energieausweis-informationen.htm>. [Zugriff am 26. März 2015].
- [16] R. Rieberer, *Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik (Folien zur Vorlesung)*, Graz: TU-Graz, 2013.
- [17] STATISTIK AUSTRIA, „Energiebilanzen für Österreich und die Bundesländer 1970 (1988)-2009,“ STATISTIK AUSTRIA - Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien, 2011.
- [18] Statistik Austria - Bundesanstalt Statistik Österreich, „Statistik Austria,“ 2011. [Online]. Available: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/. [Zugriff am 25. März 2015].
- [19] Statistik Austria - Bundesanstalt Statistik Österreich, „Statistik Austria,“ 2011. [Online]. Available: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen/wohnungs_und_gebaeudebestand/index.html. [Zugriff am 25. März 2015].
- [20] W. Streicher, *Sonnenenergienutzung; Skriptum zur Lehrveranstaltung an der TU-Graz*, Graz: Institut für Wärmetechnik, TU Graz.
- [21] R. Heimrath, A. Heinz, T. Mach, W. Streicher, C. Fink und R. Riva, „Solarunterstützte Wärmenetze,“ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2002.
- [22] C. Fink und R. Riva, *Solarunterstützte Wärmenetze im Geschosßwohnbau*, Gleisdorf: Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE GMBH, 2004.
- [23] C. Fink, W. Wagner und A. Kaiser, „Qualitätsstandards von Wohnungsstationen in Zweileiter-Netzen,“ Gleisdorf, 2010.
- [24] W. Streicher, R. Heimrath, T. Mach, K. Schweyer, R. Kouba, A. Thür, D. Jähmig, I. Bergmann, J. Suschek-Berger, H. Rohracher und H. Krapmeier, „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser,“ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2004.
- [25] Hilgers, Claudia ; Strauß, Rolf-Peter ; Bremen, Theiß; Theiß, Eric, „Baunetz Wissen,“ BauNetz Media GmbH, [Online]. Available: http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Heizung_Moeglichkeiten-der-Waermeabgabe_161232.html. [Zugriff am 25. März 2015].
- [26] Boots Bauunternehmung GmbH, „www.boots-bau.de,“ 2010 - 2014. [Online]. Available: <http://www.boots-bau.de/index.php/fussbodenheizung.html>. [Zugriff am 27. März 2015].
- [27] G. Häfele, W. Oed und L. Sabel, *ALTHAUSERNEUERUNG*, Staufen bei Freiburg: ökobuch, 1990.
- [28] M. Kaltschmitt und A. Wiese, *Erneuerbare Energien (2.Auflage)*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1997.
- [29] K. Mertens, *Photovoltaik-Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, München: Carl Hanser Verlag, 2013.

- [30] Paradigma Deutschland GmbH, „Paradigma,“ [Online]. Available: <http://www.paradigma.de/thermosiphon>. [Zugriff am 17. August 2015].
- [31] Grammer Solar GmbH, „Grammer Solar,“ [Online]. Available: http://www.download.grammer-solar.com/gdownloads/Deutsch/II_SolarLuft/02-Prospekte-Poster/2a-Prospekte/Prospekt_TwinSolar_compact_0150000050-DE.pdf. [Zugriff am 18. August 2015].
- [32] I. Domenig-Meisinger, A. Willensdorfer, B. Krauss, J. Aschauer und G. Lang, „Erstes Mehrfamilien-Passivhaus im Altbau,“ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2007.
- [33] GAP-Solution GmbH, „GAP-Skin,“ [Online]. Available: http://www.gap-solutions.at/fileadmin/user_upload/Downloadarea/Technische_Unterlagen_Public/gap_skin/Broschuere_GAP.skin.pdf. [Zugriff am 20. März 2015].
- [34] K. Höfler, „Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings; Anhang 7a,“ bmvit , Wien, 2012.
- [35] GAP - Solution, „DIESELWEG GRAZ - Aufwertung einer Wohnanlage; Projektimpressionen,“ GAP - Solution, Leonding.
- [36] AEE-INTEC, *Eigene Abbildung*, Gleisdorf.
- [37] K. Höfler, „Vorschläge für künftige Sanierungskonzepte unter Berücksichtigung energetischer Einsparpotentiale; Endbericht,“ TU-Graz, Institut für Hochbau u. Industriebau, Graz, 2006.
- [38] Valentin Software GmbH, *T*Sol 4.5*, Berlin: Valentin Software GmbH.
- [39] Viessmann Werke, Allendorf (Eder), „www.viessmann.de,“ 2011. [Online]. Available: <http://www.viessmann.de/de/informationen-fuer/planer.html#Login>. [Zugriff am 28. Juli 2015].
- [40] Vela Solaris AG, *Polysun SIMULATION SOFTWARE*, Winterthur.
- [41] Thermal Energy System Specialists, LLC, *TRNSYS*, Madison.
- [42] R. Gillenkirch, „Springer Gabler,“ Springer Gabler, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, [Online]. Available: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/nutzwertanalyse.html>. [Zugriff am 09. Juli 2015].
- [43] M. Vukits , C. Fink, A. Heinz und W. Lerch, „Hocheffiziente Kombination von Solarthermie- und Wärmepumpenanlagen —SolPumpEff— Endbericht,“ Klima- und Energiefonds, Gleisdorf, 2013.
- [44] G. Faninger, „Die Bedeutung von kombinierten Solar-Wärmepumpen-Heizungssysteme in der Österreichischen Energiestrategie,“ Juli 2012. [Online]. Available: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien878.pdf>. [Zugriff am 28. Juli 2015].
- [45] Glen Dimplex Deutschland GmbH, „www.dimplex.de,“ Dezember 2011. [Online]. Available: <http://www.dimplex.de/fileadmin/dimplex/downloads/projektierungshandbuecher/de/496-geraeteinformationen-wp-08-2012.pdf>. [Zugriff am 28. Juli 2015].

- [46] REMKO GmbH & Co. KG, „Remko,“ [Online]. Available: https://www.remko.de/pdf/REMKO_Inverter-Waermepumpen_D2011-12.pdf. [Zugriff am 03. August 2015].
- [47] MasterTherm Deutschland, „MasterTherm,“ 2012. [Online]. Available: <http://www.mastertherm.de/boxair-inverter.html#inverter>. [Zugriff am 03. August 2015].
- [48] K. Battisti, „Bauphysikdaten DB,“ 2015. [Online]. Available: <http://www.bphdb.com/catalog/list>. [Zugriff am 28. Juli 2015].
- [49] Global Footprint Network, „Global Footprint Network-Advancing the Science of Sustainability,“ [Online]. Available: http://www.footprintnetwork.org/de/index.php/GFN/page/earth_overshoot_day/. [Zugriff am 16. August 2015].
- [50] IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, „IBO-Ökologisch Bauer, Gesund Wohnen,“ [Online]. Available: http://www.ibo.at/documents/aus_CO2_methan.pdf. [Zugriff am 16. August 2015].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Systemgrenze Primärenergie und Endenergie [10]	9
Abbildung 2-2: Leistungsbedarf der Warmwassererzeugung [16]	13
Abbildung 2-3: Zwei-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher und dezentraler Brauchwasserbereitung [21].....	14
Abbildung 2-4: Wohnungsstation (links), Prinzipschema ein Wohnungsstation (rechts) [23]	15
Abbildung 2-5: Drei-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher und dezentraler Warmwasserbereitung [21, p. 105]	16
Abbildung 2-6: Vier-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher [22]	17
Abbildung 2-7: Mögliche Heizungssysteme [16]	17
Abbildung 2-8: Konvektor (links), Plattenheizkörper (rechts) [25]	18
Abbildung 2-9: Großflächig verlegte Fußbodenheizung [26].....	18
Abbildung 2-10: Einflussfaktoren auf die „Thermische Behaglichkeit“ [16]	19
Abbildung 2-11: Operative Raumtemperatur (links) Einflussfaktoren zur thermischen Behaglichkeit (rechts) [16].....	20
Abbildung 2-12: Operative Raumtemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur [16].....	21
Abbildung 2-13: Spektrum der Sonnenstrahlung [28, p. 54]	22
Abbildung 2-14: Verlauf des Solarwärmeangebots und des Heizwärmebedarfs [20, p. 26]	22
Abbildung 2-15: Solarthermischer Kollektor [28, p. 125]	23
Abbildung 2-16: Kollektorkennlinie [20, p. 26]	24
Abbildung 2-17: Thermosyphonkollektor [30].....	25
Abbildung 2-18: Luftkollektor [31].....	26
Abbildung 2-19: Solarzelle [29, p. 30]	27
Abbildung 3-1: Makartstraße: Gebäudebestand (links); saniertes Gebäude (rechts) [32]	28
Abbildung 3-2: Fertigung Fassadenmodul GAP:Skin (links); Aufbau Solarwabe (rechts) [33]...	31
Abbildung 3-3: Funktionsprinzip der GAP - Solarwabe [33] [34]	31
Abbildung 3-4: Dieselweg Graz-Liebenau Bestand [35].....	32
Abbildung 3-5: Dieselweg-Graz, Fassade mit integrierter Solarwabe und Solarkollektor [35]	33
Abbildung 3-6: Klimawandkonzept der Außenmauer [34]	34
Abbildung 3-7: Dieselweg: Fassadenkonstruktionsaufbau [34].....	35
Abbildung 4-1: Typisches Gebäude der 1960er Jahre [36].....	36
Abbildung 4-2: Referenzgebäude.....	37
Abbildung 4-3: Wohnungsgrundrisse des Referenzgebäudes	38
Abbildung 4-4: Referenzgebäude, Vorderansicht	39
Abbildung 4-5: Referenzgebäude, Seitenansicht	39
Abbildung 5-1: Gliederung der Konzeptkategorien	44
Abbildung 5-2: Vorlage der Konzeptdarstellung.....	45
Abbildung 5-3: Thermosyphonkollektor.....	46
Abbildung 5-4: Referenzanlage, klassisch angeordnete Solarthermieanlage	48
Abbildung 5-5: BTA in Verbindung mit hydraulischen Weichen zur Energieverteilung	50
Abbildung 5-6: BTA mittel Luftkollektor (Darstellung für Heizbetrieb)	51
Abbildung 5-7: BTA mittels Luftkollektor (Darstellung Warmwasserbereitung und Nachlüftung)51	

Abbildung 5-8: BTA der Kaminschächte, links Konzept, rechts Grundriss.....	52
Abbildung 5-9: Photovoltaik zur direkten Warmwasserbereitung.....	54
Abbildung 5-10: Installationsmöglichkeiten von Wärmepumpen.....	56
Abbildung 5-11: Luft-Wasser-Wärmepumpe.....	57
Abbildung 5-12: Kombination PV-WP-WW-HZ.....	58
Abbildung 5-13: PVth-Wärmepumpe.....	59
Abbildung 5-14: Dezentrale Lüftungsanlage.....	60
Abbildung 5-15: Zentrale Abluft als Quelle für WP, dezentrale Zuluft mittels Luftkollektor.....	61
Abbildung 6-1: Bewertungsprozess.....	63
Abbildung 6-2: Definition der Technologie zur quantitativen Betrachtung.....	64
Abbildung 6-3: Qualitative Bewertungsmethode.....	65
Abbildung 6-4: Gewichtung der Bewertungskriterien.....	67
Abbildung 6-5: Konzeptbewertung.....	68
Abbildung 6-6: Vergleich direkte Solarstromnutzung bei SD 20% und SD 30%.....	76
Abbildung 6-7: Erhöhung der Quellentemperatur durch PVth-Kollektor.....	79
Abbildung 6-8: Vergleich Außenlufttemperatur im Fall von Abluftnutzung als Wärmequelle.....	80
Abbildung 6-9: Vergleich der thermischen spez. Anlagenerträge und JAZ.....	81
Abbildung 6-10: Vergleich Modulfläche, spez. therm. Ertrag und Strombedarf der PV-Abluft-WP.....	83
Abbildung 6-11: Vergleich spez. Erträge und Modulflächen bei unterschiedlicher Ausrichtung.....	84
Abbildung 6-12: Vergleich Solarstromnutzung direkt bzw. mittels Abluftwärmepumpe.....	84
Abbildung 6-13: Benötigte Fassadenflächen zur Deckung der Heizlast für HWB 15 bei Bauteilaktivierung mit unterschiedlichen Wandmaterialien und Aktivierungstemperaturen.....	87
Abbildung 6-14: Qualitative Ergebnisse, Bewohner- bzw. Bauträgeranforderungen nach Punkten.....	88
Abbildung 6-15: qualitative Ergebnisse, Bewohner- bzw. Bauträgeranforderungen nach Rang.....	88
Abbildung 6-16: Qualitative Ergebnisse: Warmwasser; Heizung.....	89
Abbildung 6-17: Qualitative Ergebnisse: Lüftung.....	90
Abbildung 6-18: Ergebnis der qualitativen Bewertung der Energieversorgungskonzepte.....	91
Abbildung 6-19: Qualitatives Gesamtergebnis im Detail.....	92
Abbildung 7-1: Energieversorgungskonzept 1.....	94
Abbildung 7-2: Energieversorgungskonzept 2.....	96
Abbildung A-1: Speicherkollektor, brüstungsintegriert (ST).....	110
Abbildung A-2: Thermosyphon-Plattenheizkörper (ST-BTA-HZ).....	110
Abbildung A-3: Thermosyphonkollektor Nord-Süd (ST-BTA-HZ).....	111
Abbildung A-4: Thermosyphonkollektor (ST-BTA-WW-HZ).....	111
Abbildung A-5: Hydraulische Weiche, semizentral und BTA der Decke und Keller (ST-BTA-WW-HZ).....	112
Abbildung A-6: PV-direkt mit Vorschalt Speicher (PV-WW).....	113
Abbildung A-7: PV-direkt mit Infrarotheizung (PV-HZ).....	113
Abbildung A-8: Wärmepumpe brüstungsintegriert (PV-WP-WW).....	114
Abbildung A-9: Wärmepumpe mit unabgedecktem Kollektor (WP-WW-HZ).....	114
Abbildung A-10: Wärmepumpe mit Abluftnutzung und Zuluftkühlung (WP-WW-HZ).....	115

Abbildung A-11: Zentrale Lüftungsanlage (LÜ) 116
Abbildung A-12: Dezentrale Lüftungsanlage mit Luftkollektor (LÜ-HZ)..... 116

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Arbeitspakete der Masterarbeit	3
Tabelle 2-1: Standardisierte Mindestluftwechselraten [10, p. 973].....	7
Tabelle 2-2: Anforderung an wärmeübertragende Bauteile [6]	11
Tabelle 2-3: Warmwasserbedarf bei unterschiedlichen Temperaturen [16].....	12
Tabelle 3-1: Makartstraße - Vergleich des Bestandsgebäudes mit saniertem Gebäude	29
Tabelle 3-2: Makartstraße: Vergleich von Materialien und Wärmedurchgangskoeffizient [32] ..	30
Tabelle 3-3: Dieselweg-Vergleich des Bestandsgebäudes mit saniertem Gebäude [34] [35]....	33
Tabelle 3-4: Dieselweg: Vergleich der Materialien und Wärmedurchgang	35
Tabelle 4-1: Nettowohnfläche des Referenzgebäudes	37
Tabelle 4-2: gesamt verfügbare Fassadenflächen	38
Tabelle 4-3: sinnvoll nutzbare Fassadenfläche im Detail	39
Tabelle 4-4: Untersuchte Dämmstandards.....	40
Tabelle 4-5: Heizwärmebedarf des sanierten Referenzgebäudes	41
Tabelle 4-6: Heizlasten des sanierten Referenzgebäudes.....	41
Tabelle 4-7: Warmwasserbedarf	42
Tabelle 4-8: Jährliche Einstrahlung auf die Fassadenfläche pro m ²	42
Tabelle 5-1: Nomenklatur der Konzeptentwicklung.....	44
Tabelle 5-2: Übersicht der solarthermischen Energieversorgungskonzepte	46
Tabelle 5-3: Vor- und Nachteile Thermosyphonkollektor	47
Tabelle 5-4: Vor- und Nachteile der klassisch angeordneten Solarthermieanlage	48
Tabelle 5-5: Konzeptübersicht Bauteilaktivierung	49
Tabelle 5-6: Vor- und Nachteile der BTA in Verbindung mit hydraulischen Weichen	50
Tabelle 5-7: Vor- und Nachteile BTA mittels Luftkollektor	52
Tabelle 5-8: Vor- und Nachteile: BTA der Kaminschächte	53
Tabelle 5-9: Konzeptübersicht Photovoltaik	53
Tabelle 5-10: Vor- und Nachteile: Photovoltaik zur direkten Warmwasserbereitung	54
Tabelle 5-11: Konzeptübersicht Wärmepumpen	55
Tabelle 5-12: Vor- und Nachteile: Wärmepumpe	57
Tabelle 5-13: Vor- und Nachteile: PV-WP	58
Tabelle 5-14: Vor- und Nachteile: PVth-WP	59
Tabelle 5-15: Konzeptübersicht Lüftung.....	60
Tabelle 5-16: Vor- und Nachteile: dezentrale Lüftungsanlage	61
Tabelle 5-17: Vor- und Nachteile: zentrale Abluft, dezentrale Zuluft.....	62
Tabelle 6-1: Berechnungssoftware zur quantitativen Bewertung	64
Tabelle 6-2: Bewertungskriterien im Überblick.....	66
Tabelle 6-3: Analysematrix der quantitativen Ergebnisse	69
Tabelle 6-4: Qualitative Analysematrix der Ergebnisse.....	69
Tabelle 6-5: Auslegungskriterien der solarthermischen Anlage bei 30° Dach	71
Tabelle 6-6: Auslegungskriterien der solarthermischen Anlage bei 90° Fassade	71
Tabelle 6-7: Daten des PV-Moduls	73

Tabelle 6-8: Berechnungsergebnisse der direkten Solarstromnutzung für 20% solare Deckung	75
Tabelle 6-9: Benötigter elektrischer Stromeinsatz für direkte Solarstromnutzung	75
Tabelle 6-10: Berechnungsergebnisse der direkten Solarstromnutzung für SD 30%	76
Tabelle 6-11: Solarstromnutzung durch Wärmepumpen: PV Leistung und Erträge bei SD 20%	81
Tabelle 6-12: Solarstromnutzung durch Wärmepumpen: Stromeinsatz bei SD 20%.....	82
Tabelle 6-13: Vergleich PV-Abluftwärmepumpe bei SD 20% und SD 30%	82
Tabelle 6-14: Materialkennwerte unterschiedlicher Außenwandaufbauten und Wärmestromdichte bei unterschiedlichen Aktivierungstemperaturen	86
Tabelle 7-1: Konzeptstärken und –schwächen der PV-Abluft-WP	97
Tabelle 7-2: Konzeptstärken und –schwächen der ST-BTA-LÜ.....	99

A Anhang Konzeptdarstellungen

Konzeptdarstellungen:

Kategorie: Solarthermie

KNr.: 1.1

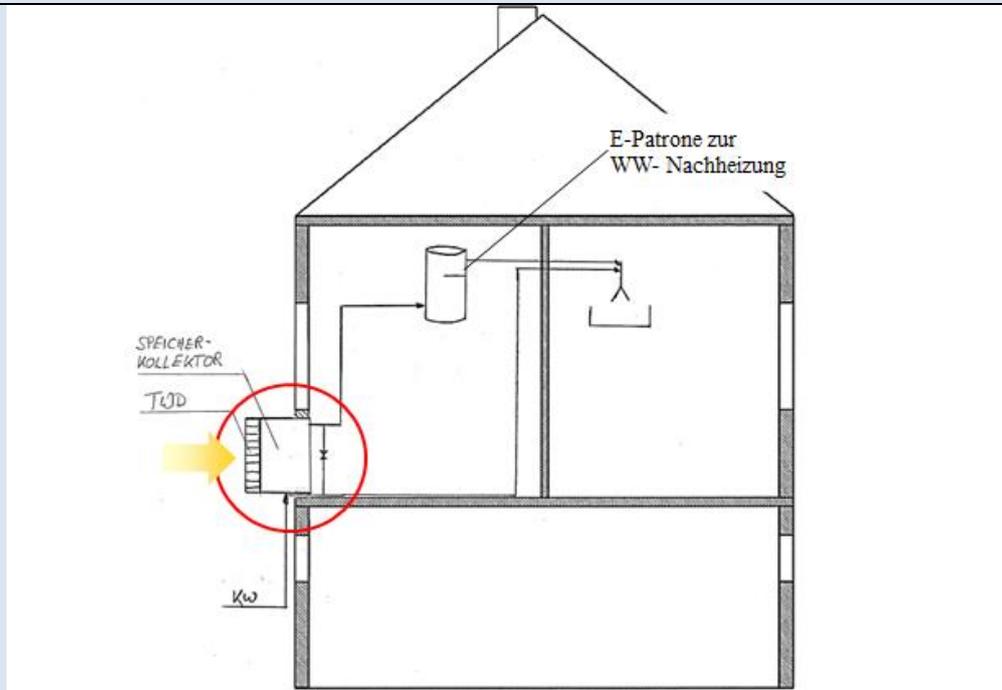


Abbildung A-1: Speicherkollektor, brüstungsintegriert (ST)

Kategorie: Solarthermie

KNr.: 1.3

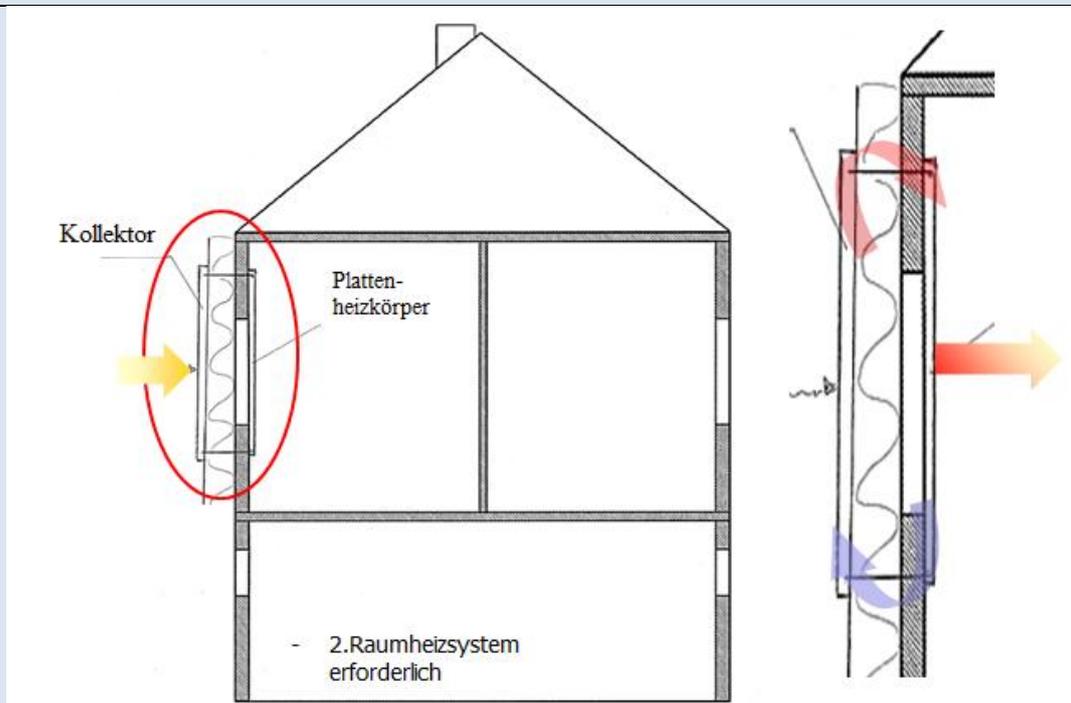


Abbildung A-2: Thermosyphon-Plattenheizkörper (ST-BTA-HZ)

Kategorie: Bauteilaktivierung

KNr.: 2.1

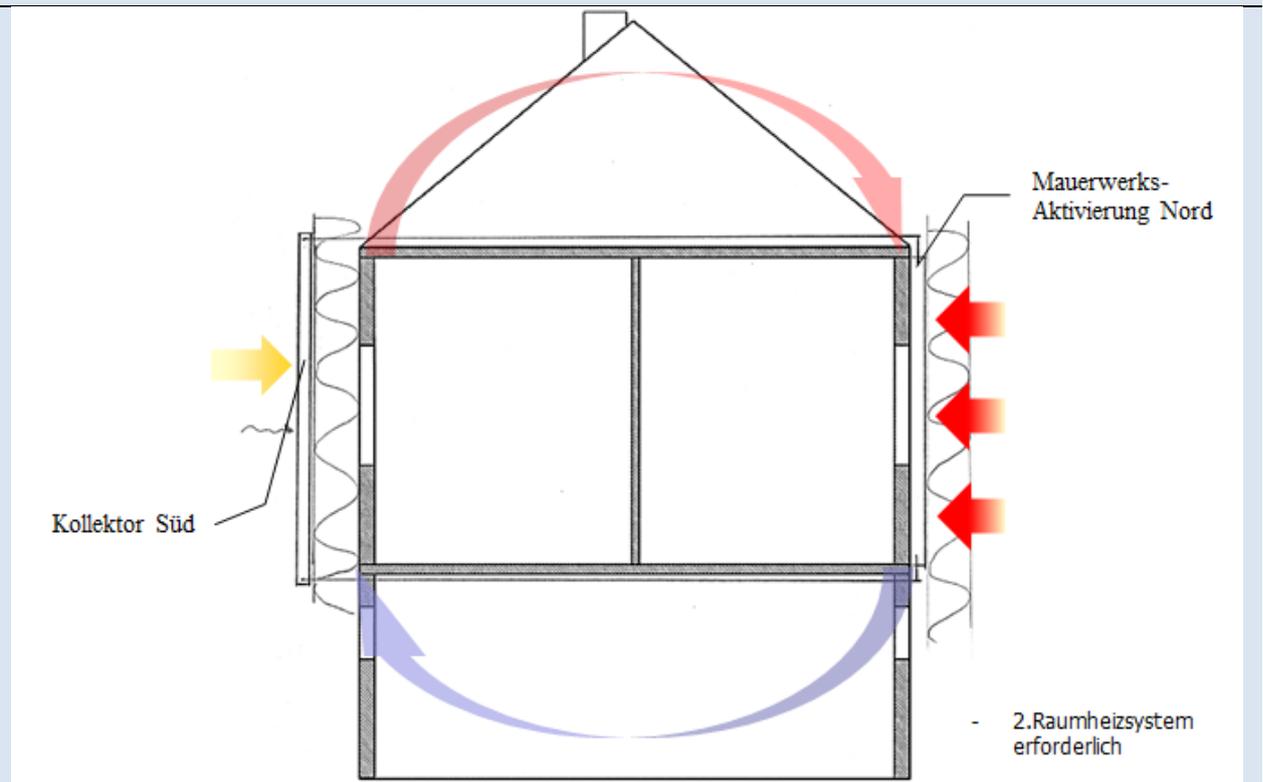


Abbildung A-3: Thermosyphonkollektor Nord-Süd (ST-BTA-HZ)

Kategorie: Bauteilaktivierung

KNr.: 2.2

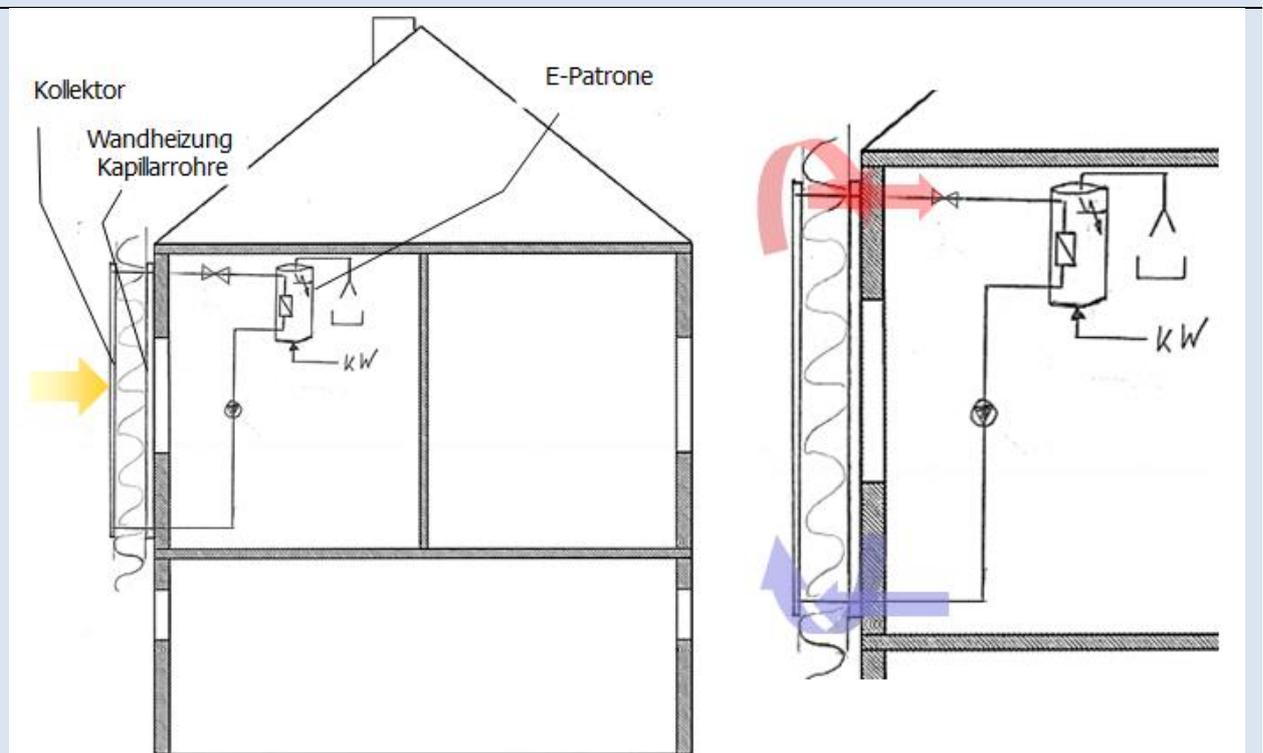


Abbildung A-4: Thermosyphonkollektor (ST-BTA-WW-HZ)

Kategorie: Bauteilaktivierung

KNr.: 2.4

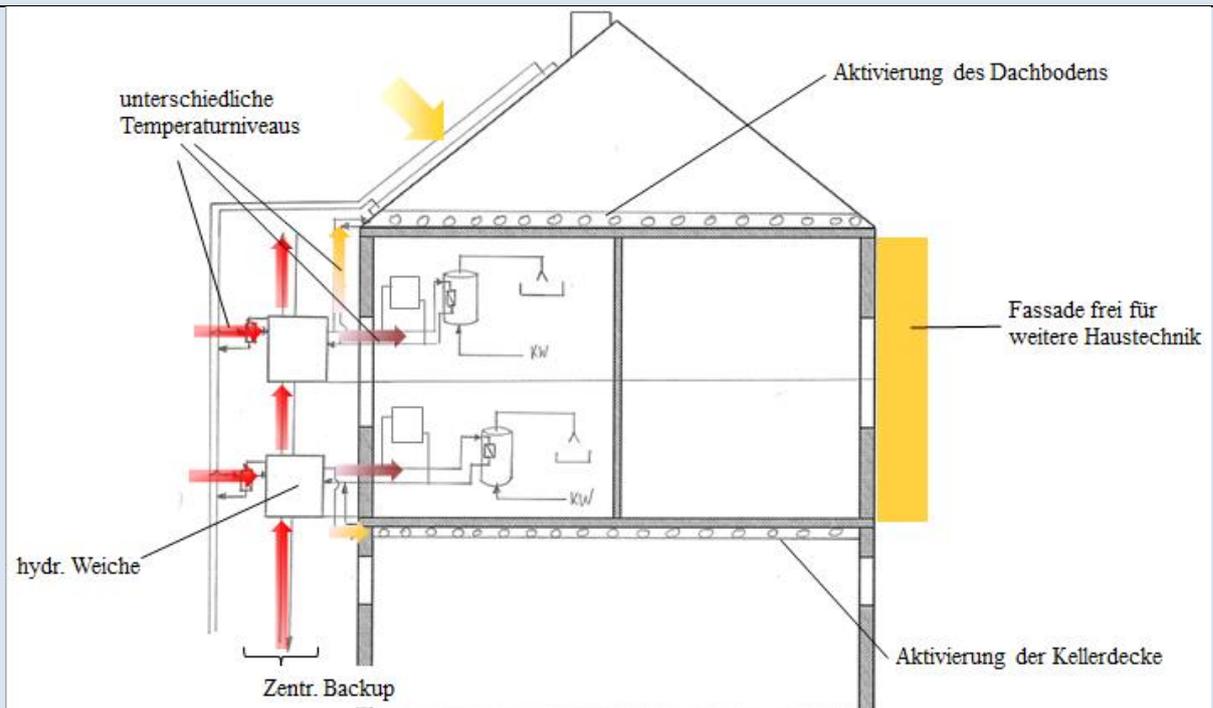


Abbildung A-5: Hydraulische Weiche, semizentral und BTA der Decke und Keller (ST-BTA-WW-HZ)

Kategorie: Photovoltaik

KNr.: 3.2

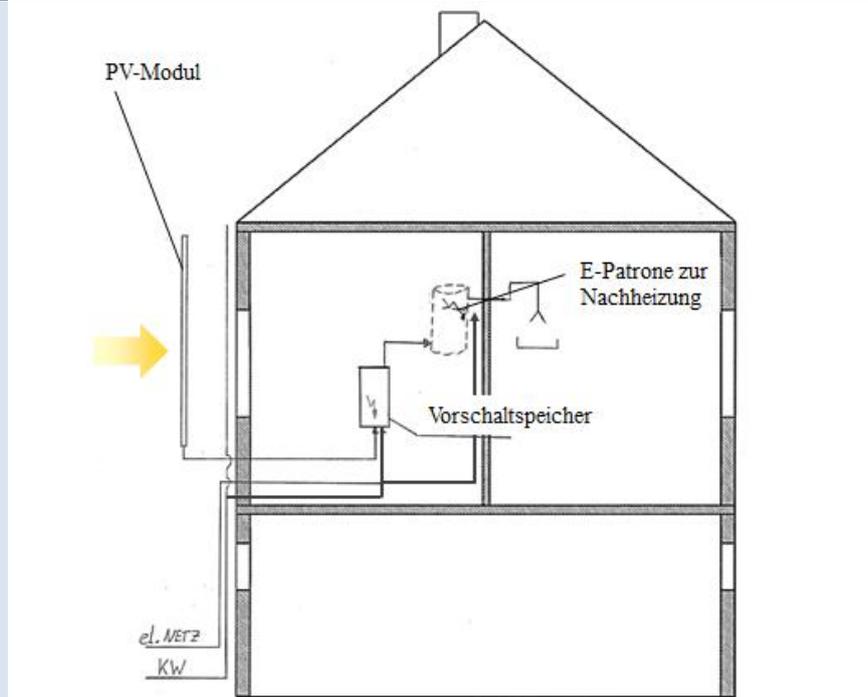


Abbildung A-6: PV-direkt mit Vorschaltsspeicher (PV-WW)

Kategorie: Photovoltaik

KNr.: 3.3

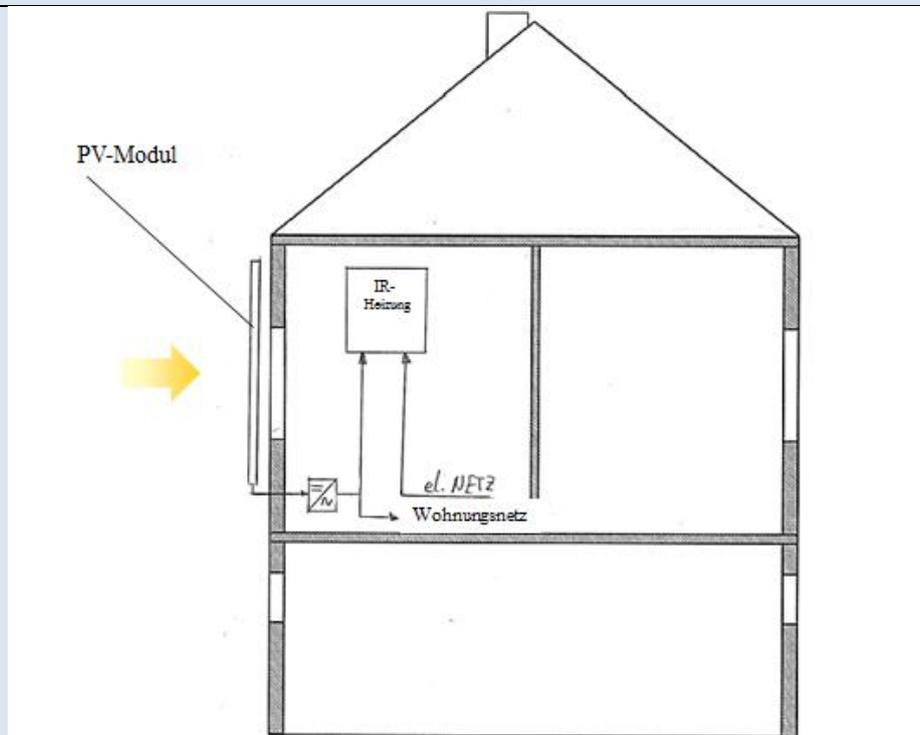


Abbildung A-7: PV-direkt mit Infrartheizung (PV-HZ)

Kategorie: Wärmepumpe

KNr.: 4.4

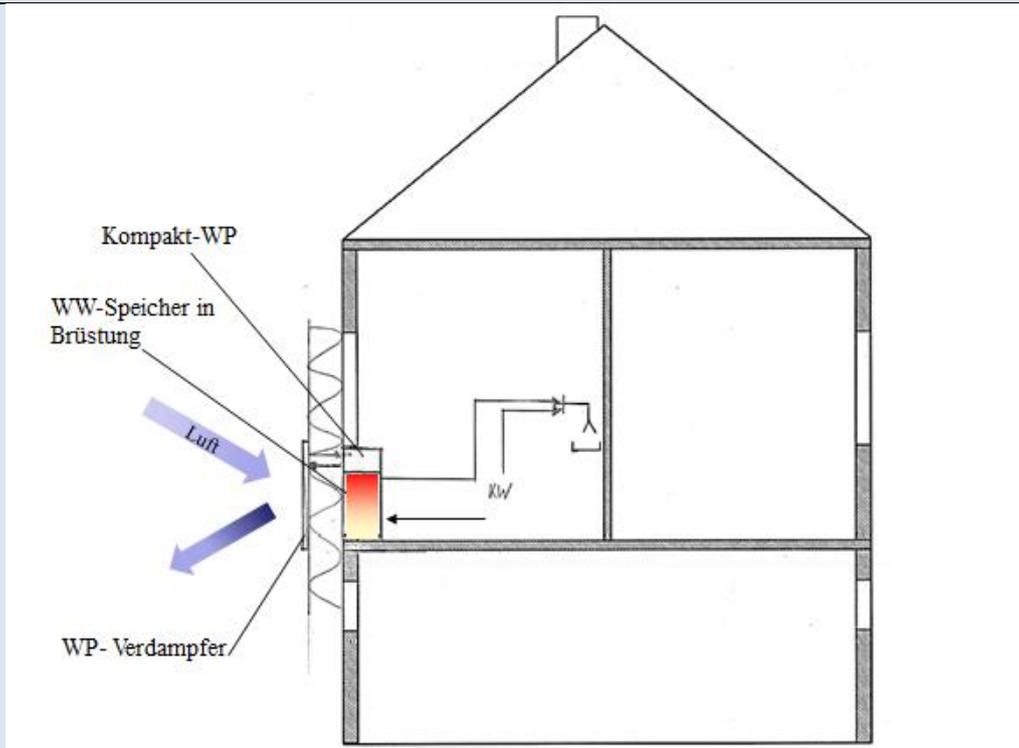


Abbildung A-8: Wärmepumpe brüstungsintegriert (PV-WP-WW)

Kategorie: Wärmepumpe

KNr.: 4.5

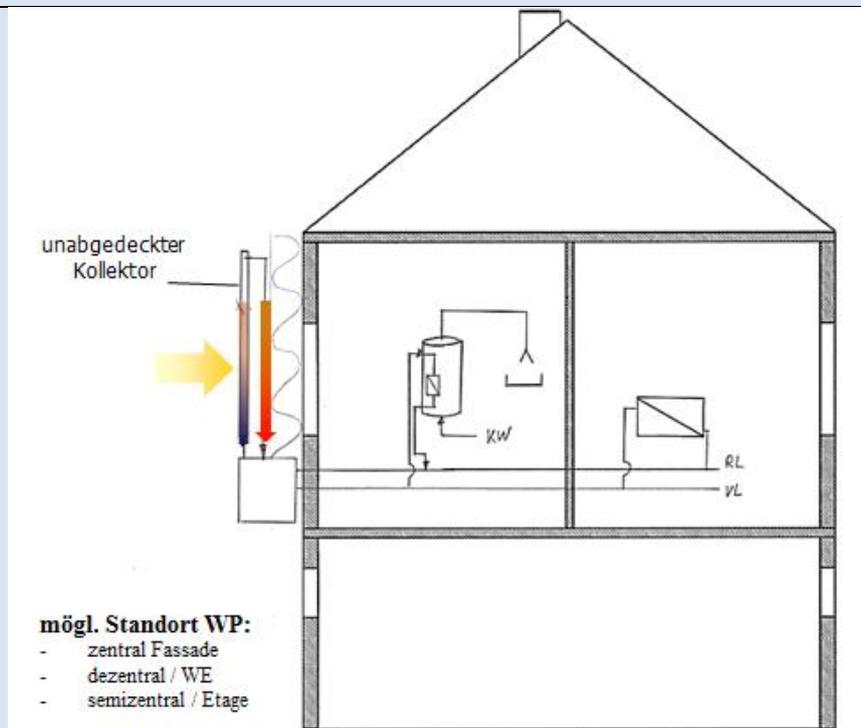


Abbildung A-9: Wärmepumpe mit unabgedecktem Kollektor (WP-WW-HZ)

Kategorie:

Wärmepumpe

KNr.: 4.6

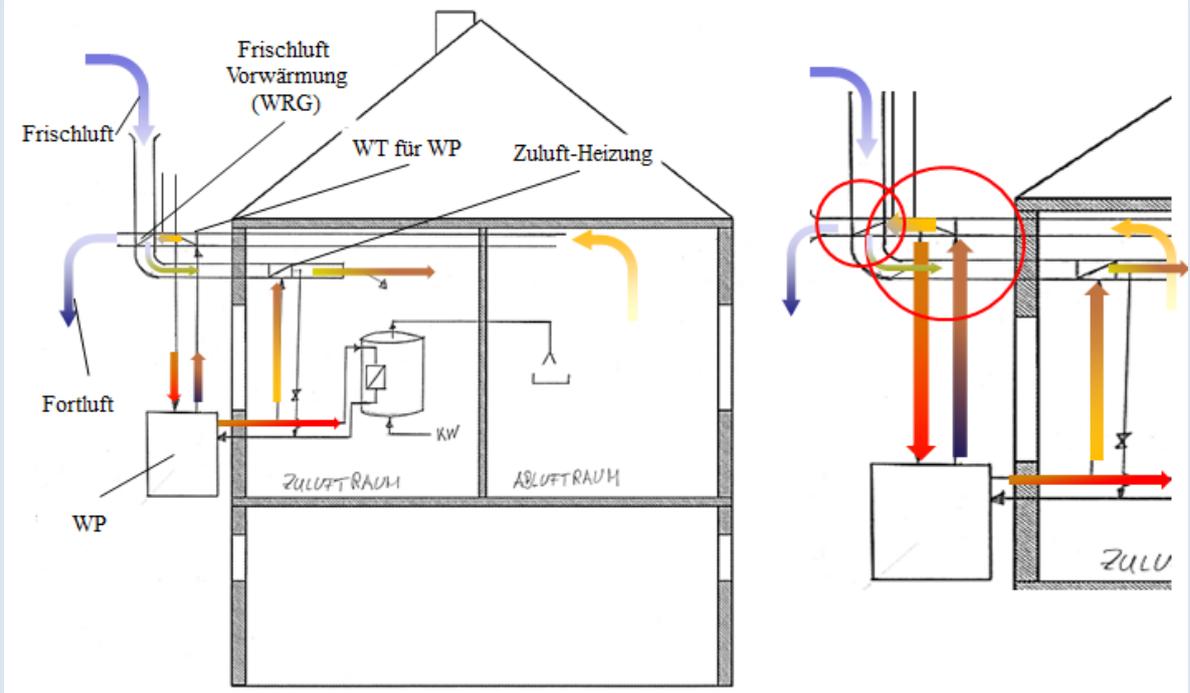


Abbildung A-10: Wärmepumpe mit Abluftnutzung und Zuluftkühlung (WP-WW-HZ)

Kategorie: Lüftung

KNr.: 5.2

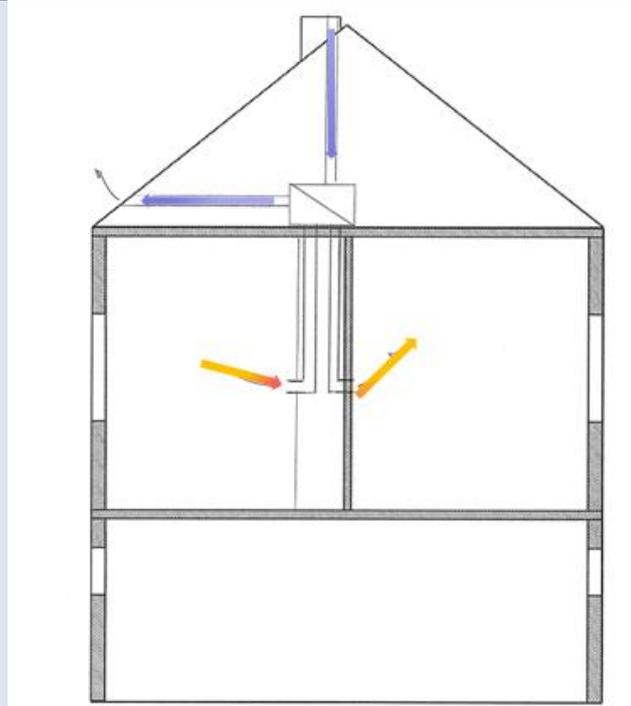


Abbildung A-11: Zentrale Lüftungsanlage (LÜ)

Kategorie: Lüftung

KNr.: 5.3

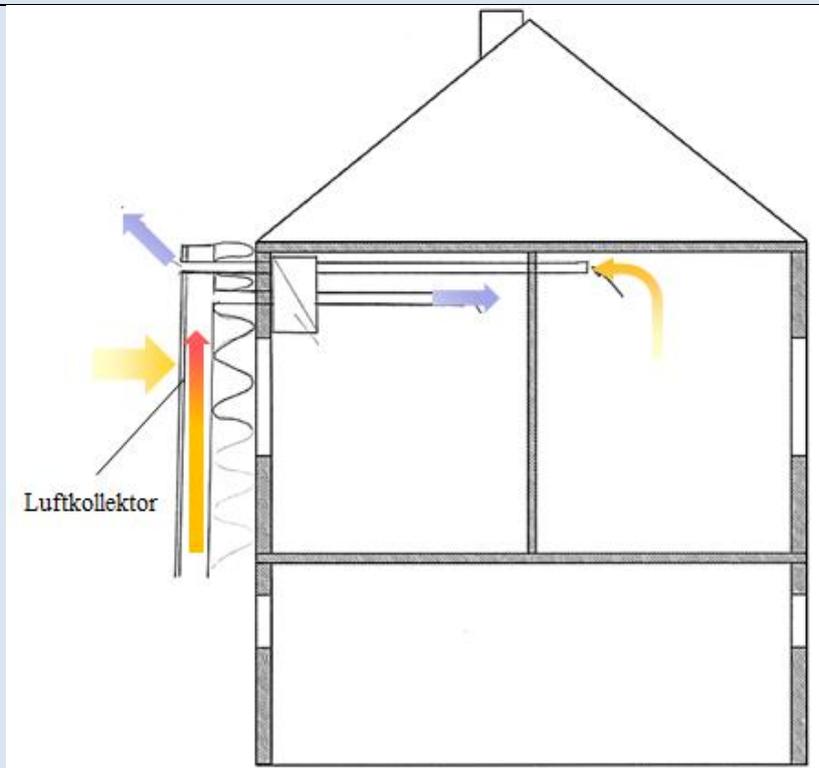


Abbildung A-12: Dezentrale Lüftungsanlage mit Luftkollektor (LÜ-HZ)