

Fassadenintegration von thermischen Sonnenkollektoren ohne Hinterlüftung

Systemtechnische und bauphysikalische Grundlagen für die Fassadenintegration von thermischen Sonnenkollektoren ohne Hinterlüftung

Endbericht

Auftragnehmer:



Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE
Institut für Nachhaltige Technologien

Autoren: Dipl.-Ing Irene Bergmann, Ing. Werner Weiß

Gleisdorf, März 2002

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Auftragnehmer:**AEE INTEC**

Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE
Institut für Nachhaltige Technologien
Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf

Projektleitung:

Dipl.-Ing. Irene Bergmann
Ing. Werner Weiß
Tel.:+43 / 3112 5886
Fax:+43 / 3112 5886 –18
E-Mail: i.bergmann@aee.at
<http://www.aee.at>

Projektpartner:**Technisches Büro Höfler**

Nitscha 200, A - 8200 Gleisdorf
Tel.:+43 / 0316 / 873 6243
Fax:+43 / 0316 / 873 6740
E-Mail: hoefler@hib.tu-graz.ac.at

Technisches Büro Leiler

TB für Bauphysik und Technischen Umweltschutz
Brunnengasse 12/15, A-1160 Wien
Tel.:+43 / 01 492 6850
Fax:+43 / 01 492 6850 11
E-Mail: w.leiler@surfeu.at

GREENoneTEC Solar-Industrie GmbH.

Industriepark St. Veit
Energieplatz 1, A-9300 St. Veit
Tel.:+43 / 4212-28136-0
Fax:+43 4212-28136-250
E-Mail: robert.kanduth@greenonetec.com
<http://www.greenonetec.com>

AKS DOMA Solartechnik

Sonnenstraße 1, A-6822 Satteins
Tel.:+43 / 5524 5353
Fax:+43 / 5524 5353 10
E-Mail: info@aksdoma.com
<http://www.aksdoma.com>

Gleisdorf, im März 2002

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der ersten Ausschreibung der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit dem Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie auch in der Schriftenreihe "Nachhaltig Wirtschaften konkret" publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse www.hausderzukunft.at dem Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	KURZFASSUNG	6
1.1	Abstract	7
2	EINLEITUNG	8
3	ANLAGENERHEBUNG UND SCHWACHSTELLENANALYSE	10
3.1	Anlagenerhebung	10
3.2	Problemzonen bei fassadenintegrierten Kollektoren	11
4	GRUNDLAGEN FÜR DIE DIREKTE INTEGRATION VON KOLLEKTOREN	14
4.1	Architektonische Aspekte	14
4.1.1	Ergebnisse der Fragebogenerhebung	14
4.2	Bauphysikalische Aspekte	16
4.2.1	Wasserdampfdiffusion	16
4.2.1.1	Theoretische Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusion	16
4.2.1.2	Experimentelle Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusion	24
4.2.2	Wärmetransport	24
4.2.2.1	Wandaufbauten	25
4.2.2.2	Absorbertemperaturen	25
4.2.2.3	Sommerfall – Berechnung des Wärmedurchgangs	26
4.2.2.4	Winterfall – Berechnung des effektiven U-Werts	35
4.2.2.5	Schlussfolgerung aus den Wärmestromberechnungen	42
4.2.2.6	Auswirkung von Wärmebrücken	42
4.2.2.7	Experimentelle Untersuchungen zum Wärmetransport	43
4.3	Bautechnische Aspekte	43
4.4	Solartechnische und systemtechnische Aspekte	43
4.4.1	Betriebsarten von Solaranlagen	44
4.4.1.1	Low Flow und High Flow Anlagen	44
4.4.1.2	Matched Flow	45
4.4.2	Hydraulische Verschaltung von Kollektorfeldern	46
4.4.2.1	High Flow Kollektorverschaltung	47
4.4.2.2	Low Flow Kollektorverschaltung	48
4.4.2.3	Vergleich der Kollektorförderleistungen	50
4.4.2.4	Thermische Rohrlänge bei Low Flow Betriebsweise	51
4.4.3	Speichermanagement bei Anlagen mit Fassadenkollektor	51
5	DIMENSIONIERUNG VON FASSADENKOLLEKTORANLAGEN	53
5.1	Simulation und Ertragsvorhersage	53
5.1.1	Einstrahlungsprofil auf die Fassade	53
5.1.1.1	Angebot: Einstrahlung in die Fassade	53
5.1.1.2	Verbrauch: Warmwasser und Raumheizung	56
5.1.1.3	Schlussfolgerungen aus dem Einstrahlungsprofil in die Fassade	57
5.1.2	Auswirkungen der senkrechten Kollektoranordnung auf U-Wert und Kollektoreffizienz	57
5.1.3	Abschattung von Fassaden	58
5.1.3.1	Abschattung durch Vordächer	58
5.1.3.2	Abschattung durch Gebäude	59
5.1.3.3	Abschattung durch Bepflanzung	59
5.1.3.4	Ermittlung des Schattenwurfs	60
5.1.3.5	Gegenseitige Abschattung durch aufgeständerte Kollektoren	61
5.2	Erstellung von Dimensionierungsrichtlinien	62
5.2.1	Basisvarianten	62
5.2.2	Der Solare Deckungsgrad	63
5.2.3	Verbrauchsdaten	63

5.2.3.1	Warmwasserbedarf	63
5.2.3.2	Heizenergiebedarf	64
5.2.4	Ergebnisse der Simulationen	64
5.2.4.1	Solaranlage zur Warmwasserbereitung, EFH	64
5.2.4.2	Solaranlage zur Warmwasserbereitung bei hohem Verbrauch, EFH	66
5.2.4.3	Solaranlage zur Warmwasserbereitung, Mehrfamilienhaus	66
5.2.4.4	Solaranlage zur Warmwasserbereitung bei hohem Verbrauch, MFH.....	67
5.2.4.5	Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Raumheizung, EFH	68
5.2.4.6	Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Raumheizung mit großem Speicher, EFH	70
5.2.5	Schlussfolgerungen aus der Erstellung der Dimensionierungsrichtlinien.....	70
6	DESIGN – FASSADENKOLLEKTORSYSTEM OHNE HINTERLÜFTUNG	72
6.1	Ressourceneffizienz und Materialintensitätsanalyse	72
6.2	Entwicklung der Fassadenkollektoren.....	75
7	TESTANLAGEN	76
7.1	Testanlage 1 – Zweifamilienwohnhaus Graz	76
7.1.1	Anlagenbeschreibung	76
7.1.2	Wärmebrückeneffekte.....	78
7.1.2.1	Wärmetechnische Variantenuntersuchung.....	78
7.1.3	Messtechnisches Gesamtkonzept Testanlage 1	79
7.1.4	Messergebnisse der Testanlage 1	81
7.1.4.1	Temperatur und Feuchtigkeit im Kollektor.....	81
7.1.4.2	Temperatur- und Feuchtigkeit im Wandaufbau	83
7.1.4.3	Wärmestrom.....	85
7.1.4.4	Wärmemengen.....	86
7.2	Testanlage 2 – Bürogebäude St.Veit	87
7.2.1	Anlagenbeschreibung	87
7.2.2	Wärmebrückeneffekte.....	89
7.2.2.1	Wärmetechnische Variantenuntersuchung.....	89
7.2.3	Messtechnisches Gesamtkonzept Testanlage 2	92
7.2.4	Messergebnisse der Testanlage 2	92
7.2.4.1	Temperatur und Feuchtigkeit im Kollektor.....	92
7.2.4.2	Temperatur und Feuchtigkeit im Wandaufbau.....	93
7.2.4.3	Wärmestrom.....	94
8	ERGEBNISSE DES PROJEKTES UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	96
8.1	Planung von Solaranlagen mit fassadenintegrierten Kollektoren	96
8.2	Dimensionierung von Fassadenkollektoranlagen	96
8.3	Hydraulische Kollektorverschaltung.....	97
8.4	Kollektorbefestigung	97
8.5	Wärmetransport in Wänden mit fassadenintegrierten Kollektoren	98
8.6	Feuchtigkeit in Wänden mit fassadenintegrierten Kollektoren.....	98
9	AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN.....	99
10	LITERATURVERZEICHNIS	100
11	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	101
12	TABELLENVERZEICHNIS.....	103
13	ANHANG	104

1 Kurzfassung

Das vorliegende Projekt beschäftigte sich mit den systemtechnischen und bauphysikalischen Grundlagen für die Fassadenintegration von thermischen Sonnenkollektoren ohne Hinterlüftung. Die Fassadenintegration eröffnet ein weites und bisher relativ ungenutztes Marktsegment für die Solarthermie. Besonders bei der solaren Heizungsunterstützung werden große Flächen benötigt, die nicht immer ausreichend auf dem Dach zur Verfügung stehen.

Architektonische, bautechnische und wirtschaftliche Überlegungen gehen beim Design von Fassadenkollektoren Hand in Hand. Der Fassadenkollektor übernimmt neben seiner Funktion als Kollektor auch die Funktion einer Wärmedämmung und als Gestaltungselement der Fassade, womit eine Kostenreduktion durch die gemeinsame Nutzung von Bauteilen erreicht wird.

Ziel des Projektes war die Erarbeitung der bauphysikalischen Grundlagen für die Konstruktion eines Fassadenkollektors ohne Hinterlüftung zwischen Kollektor und Gebäudewand und in weiterer Folge die Entwicklung von Fassadenkollektoren zusammen mit den am Projekt beteiligten Firmen.

Bisher realisierte Anlagen mit fassadenintegrierten Kollektoren wurden vorwiegend hinterlüftet und ohne genaue Kenntnisse hinsichtlich der bauphysikalischen Grundlagen ausgeführt. Einige von diesen Anlagen wurden erhoben und auf ihre Schwachstellen untersucht. Diese Erkenntnisse wurden in die Entwicklung der Fassadenkollektoren einbezogen. Weiters wurden vor der Konzeptionierung des Fassadenkollektors alle in Frage kommenden Bauvorschriften, Normen sowie Brand- und Schallschutzanforderungen erhoben, auf ihre Anwendbarkeit auf Fassadenkollektoren überprüft und dokumentiert.

Ein weiteres Ziel des Projekts war die Klärung der Anforderungen von Architekten an Fassadenkollektoren. Dies wurde in Form einer Fragebogenerhebung und eines anschließenden Workshops, bei dem die Ergebnisse der Fragebogenerhebung mit Architekten diskutiert wurden, durchgeführt. Dabei wurde der Wunsch der Architekten nach möglichst freien Gestaltungsmöglichkeiten bezüglich Form und Farbe von thermischen Kollektoren in der Fassade deutlich.

Um den Wärmetransport und die Wasserdampfdiffusion in Wänden mit fassadenintegrierten Kollektoren zu ermitteln, wurden einerseits theoretische und andererseits praktische Untersuchungen an den im Rahmen des Projekts errichteten Testfassaden vorgenommen. Für die theoretischen Untersuchungen wurden zunächst Wandaufbauten definiert. Diese wurden durch Variation von Kollektortyp und Dämmstärke mit den Wandaufbauten ohne Kollektor verglichen. Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung von Mindestdämmstärken der Wand und des Kollektors zur Vermeidung von Überhitzung des Innenraumes.

Es konnte außerdem gezeigt werden, dass der Kollektor ohne Hinterlüftung eine Verbesserung des effektiven U-Wertes im Vergleich zum statischen U-Wert der Wand bewirkt, und zwar auch in Zeiten geringer Einstrahlung. Die Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusion zeigten, dass es bei entsprechender Ausführung des Wandaufbaus zu keinen problematischen Kondensationen in den Wandaufbauten kommt.

Um Dimensionierungsrichtlinien für Fassadenkollektoren geben zu können, wurde die Einstrahlung in die Fassade, ihre Erhöhung durch Bodenreflexion und ihre Verminderung durch Abschattung ermittelt. Weiters wurde die positive Auswirkung der senkrechten Anordnung der Kollektoren und der verbesserten Dämmung der Kollektoren durch den Verzicht auf eine Hinterlüftungsebene auf den Kollektor-U-Wert dargestellt. Simulationsrechnungen ergaben die notwendige Kollektorfläche bei thermischen Solaranlagen mit fassadenintegrierten Kollektoren im Vergleich zu Anlagen auf dem Dach mit 45° Neigung. Weiters wurden Anlagen zur Warmwasserbereitung und Kombianlagen zur Warmwasserbereitung und solaren Raumheizung verglichen.

Um die theoretischen Untersuchungen überprüfen zu können, wurden zwei Testanlagen errichtet und im Detail vermessen. Die Testfassaden wurden auf unterschiedliche Wandauf-

bauten aufgebracht, um das unterschiedliche Verhalten des Systems Wand/Kollektor zu erfassen. Die Auswertung der Messergebnisse bestätigte im wesentlichen die Simulationen, dass es bei entsprechender Ausführung des Wandaufbaues zu keinen Überwärmungerscheinungen einerseits und zu keinen Kondensationen im Wandaufbau andererseits kommt.

1.1 Abstract

In the main solar thermal systems are used to prepare hot water in small-scale plants. When it comes to applications in the field of solar space heating, large-scale plants in urban building projects, hotels and solar district heating networks, there are not always roof areas available which are sufficiently suitable for the installation of solar collectors. When installing these on existing roofs or joining them to flat roofs, the plants often form a foreign body since they are not an integral part of the architecture. For this reason solar plants are still rejected by some architects and town planners.

For a wide market penetration it is, therefore, necessary to develop collector systems which can be integrated in façades. As the development of façade systems for photovoltaic modules has shown, these open up a large and new market segment.

In this project system-, structural- as well as building physical basis theories have been elaborated. They served as a basis for constructional and aesthetically attractive solutions for the production of façade-integrated solar collectors without an air gap between the collector and the wall of the building for a backside ventilation of the collector.

Façade collectors are an integral part of the architecture as well as being an energy converter. Therefore architects and planners have to co-operate from the very beginning of a project to arrive at a successful conclusion. A survey among architects showed their wish of freedom in design regarding the integration of solar thermal collectors in façades.

When it comes to the design of a solar thermal system with vertical collectors less irradiation has to be taken into account compared to systems with collectors on an inclined surface. On the other hand a vertical collector has a better U-value than a tilted collector, because of the reduced heat losses of the collector due to the lower convection between the absorber and the glazing. If there is no thermal separation between the collector and the wall construction in the form of rear ventilation, the U-value is lowered even more because of the minimization of heat losses to the backside of the collector. This also leads to an improvement in the effective U-value of the whole wall during the heating season.

Two systems with façade integrated collectors were monitored to evaluate the systems' thermal and humidity behavior. One test façade has been erected on a light weight wall construction and one on a brick wall to record the different behavior of the system collector/wall in different constructions. The results showed the different problems in the different systems: whereas the main question in massive wall constructions is the fixing of the collector without thermal bridges, it is the removal of the humidity in light weight wall constructions.

If the collector is mounted without an air gap for ventilation the construction must have the possibility to dry to the inside of the building. Therefore the inner layers of the wall must be open for vapor. When mounting collectors on massive walls it is important to take care of thermal bridges, otherwise heat losses of the building in the winter time are significant.

2 Einleitung

Die Nutzung der Solarenergie mittels thermischer Kollektoren hat in Österreich eine steigende Tendenz. Zum überwiegendsten Teil werden diese Anlagen zur Warmwasserbereitung in Kleinanlagen genützt. Bei Anwendungen in den Bereichen solare Raumheizung, große Anlagen im städtischen Wohnbau, Hotels und solare Nahwärmenetze stehen nicht immer entsprechend geneigte und orientierte Dachflächen für die Montage von Sonnenkollektoren zur Verfügung. Beim Aufbau auf bestehende Dächer oder Aufständigung auf Flachdächern bilden die Anlagen oft auch einen Fremdkörper, weil sie nicht integraler Bestandteil der Architektur sind. Daher stoßen Solaranlagen teilweise auch noch auf Ablehnung bei Architekten und Städteplanern. Hier ist es für eine breite Marktdurchdringung notwendig, Kollektorsysteme zu entwickeln, die eine Integration der Kollektoren in Fassaden ermöglichen.

Im Weißbuch der Kommission [Lit 1] „Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger“ wird als strategisches Ziel angeführt, „... den Marktanteil der erneuerbaren Energieträger bis zum Jahre 2010 auf 12% zu erhöhen.“ Der im Weißbuch genannte jährliche Zuwachs der installierten Kollektorfläche in den Mitgliedsstaaten wird mit 20% beziffert. Damit würde im Jahr 2010 die installierte Gesamtkollektorfläche der thermischen Anwendung der Solarenergie 100 Millionen m² betragen. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn vor allem alle verfügbaren und geeigneten Flächen genutzt werden, die an Gebäuden zur Verfügung stehen. Bisher wurden Kollektoren nahezu ausschließlich auf Dächern montiert. Die Entwicklung von in Fassaden integrierten Kollektoren eröffnet ein neues Anwendungsfeld für thermische Kollektoren und trägt damit entscheidend zur Erreichung der oben genannten Ziele bei.

Der Bau- und Wohnbereich war für die bisherige Marktentwicklung von Solartechnologien in Österreich von zentraler Bedeutung, und es ist davon auszugehen, dass dies auch in absehbarer Zukunft so bleiben wird. Mitentscheidend für die Aufrechterhaltung der Wachstumsraten in den kommenden Jahren sind jedoch Weiterentwicklungen bei solaren Gebäudeelementen und deren intelligente und multifunktionale Integration in die Gebäudeaußenhülle.

Dabei spielen neben der technischen Funktion sowohl Aspekte eines ästhetisch ansprechenden und attraktiven Designs der Sonnenkollektoren selbst eine Rolle, als auch deren verbesserte Dach- oder Fassadeneinbindung als innovatives architektonisch-gestalterisches Element. Vor allem die Fassadenintegration von Solarkollektoren eröffnet neue Marktchancen, die durch bisherige dachintegrierte oder dachaufgebaute Systeme nicht abgedeckt werden.

Unter einem fassadenintegrierten Sonnenkollektor wird hier ein direkt in die Fassade aufgenommenes Kollektorelement verstanden, bei dem die Wärmedämmung Bestandteil sowohl des Gebäudes als auch des Kollektors ist. Zwischen beiden ist keine thermische Trennung in Form einer Hinterlüftung vorhanden. Dieser – nicht hinterlüftete - Fassadenkollektor stellt gegenüber dem derzeitigen Stand der Technik eine wesentliche Verbesserung hinsichtlich Ressourcen- und Energieeffizienz dar, da der Kollektor verschiedene Funktionen in einem Bauteil übernimmt:

- Funktion als thermischer Flachkollektor
- Verbesserung der Wärmedämmung des Gebäudes
- Passiv solares Element, bei geringer Einstrahlung (Kollektor ohne Durchfluss)
- Witterungsschutz der Fassade durch die Kollektorverglasung
- Gestaltungselement der Fassade

Vorteile von nicht hinterlüfteten fassadenintegrierten Kollektoren sind demnach:

- Kostenersparnis durch gemeinsame Nutzung von Bauteilen
- Ersatz der konventionellen Fassade
- sowohl für den Neubau als auch für Altbausanierungen geeignet

Die Ergebnisse des Projektes dienen den zwei am Projekt beteiligten Solartechnikunternehmen als Grundlage für die Fertigung von Testfassaden und in weiterer Folge zur Fertigungsüberleitung und Serienfertigung von Fassadenkollektoren.

Die genannten Vorteile waren zunächst aufgrund der geringen Verbreitung von Fassadenkollektoren sowie der geringen Datenbasis über die komponenten- und systemtechnischen Eigenschaften im wesentlichen theoretisch begründet.

Die wenigen, bisher an der Fassade ausgeführten Anlagen wurden zumeist hinterlüftet ausgeführt und nicht direkt ins Gebäude integriert [Lit 2]. Dies wird begründet durch noch nicht im Detail untersuchte bauphysikalische Wechselwirkungen zwischen dem relativ dichten Kollektorelement mit einem im Extremfall sehr heißen Absorber und der Gebäudewand.

Aufgabe dieses Projekts war es daher, den in den einzelnen Arbeitspaketen beschriebenen Fragestellungen gezielt nachzugehen, Lösungsvorschläge zu erarbeiten und Solartechnikfirmen, Planern und Architekten Grundlagenwissen sowie eine solide Datenbasis in die Hand zu geben, welche die Fertigung, Auslegung und Errichtung derartiger Anlagen erlauben.

Ziel dieses Projekts war es, system- und bautechnische sowie bauphysikalische Grundlagen zu schaffen, die in weiterer Folge als Basis für konstruktive und ästhetisch ansprechende Lösungen für die Fertigung von fassadenintegrierten Sonnenkollektoren ohne Hinterlüftung dienen.

Neben theoretischen Untersuchungen zu Wärmetransport, Temperaturverlauf und Feuchtigkeitstransport durch die Gebäudewand wurden diese Fragestellungen in weiterer Folge durch Messungen an zwei Testanlagen validiert.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit waren die Erstellung von Dimensionierungsrichtlinien und die Entwicklung von systemtechnischen Lösungen, die sich an den speziellen Erfordernissen der jahreszeitlichen Verteilung der Strahlung auf einer vertikalen Fläche orientieren.

Der Endbericht ist so aufgebaut, dass er der Einteilung der Arbeitspakete des Projektes folgt, die im Projektantrag formuliert wurden. Die drei Zwischenberichte, die dem Endbericht vorangingen, sind inhaltlich im Endbericht inkludiert. Im Anhang sind sämtliche Ergebnisse, Variantenuntersuchungen, verwendete Daten und Veröffentlichungen zum Projekt enthalten.

3 Anlagenerhebung und Schwachstellenanalyse

In Österreich wurden bereits Anlagen mit fassadenintegrierten Kollektoren errichtet. Diese wurden allerdings vorwiegend hinterlüftet ausgeführt. Die bereits realisierten Anlagen mit nicht hinterlüfteten Kollektoren in der Fassade wurden ohne genaue Kenntnisse hinsichtlich der bauphysikalischen Grundlagen mit der Gefahr von möglicherweise entstehenden Bau-schäden errichtet.

Um bei der Entwicklung des Fassadenkollektors ohne Hinterlüftung die bisher aufgetretenen Problempunkte identifizieren zu können, wurden als erster Schritt bisher realisierte Fassadenkollektoranlagen dokumentiert und auf mögliche Schwachstellen hinsichtlich Bauphysik, bautechnische und architektonische Integration und Systemtechnik untersucht.

3.1 Anlagenerhebung

Die Erhebung der realisierten Anlagen erfolgte vor Ort durch eine Begehung. Mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens wurden die Anlagendaten erhoben. In Einzelfällen war auch die Kontaktaufnahme mit Haustechnikern oder Architekten der Gebäude notwendig. Des Weiteren wurden Fotos zur Dokumentation der Erhebungen und eventueller Schwachstellen aufgenommen.

Es wurden insgesamt vierzehn Anlagen erhoben und dokumentiert, wobei drei Anlagen in öffentlichen Objekten, acht Anlagen in privaten Objekten und drei in Gewerbebetrieben montiert sind. Bei der Dokumentation werden Abkürzungen verwendet, deren Bedeutungen den Verfassern dieses Berichts bekannt sind. Aus Gründen des Datenschutzes wurden alle Daten anonymisiert. So werden öffentliche Objekte durch den Buchstaben A, private Objekte mit dem Buchstaben B, Gewerbebetriebe durch den Buchstaben C, Kollektoren mit dem Buchstaben F und schließlich Kollektortypen durch den Buchstaben T mit jeweils einer fortlaufenden Nummer gekennzeichnet.

Aus den Anlagenerhebungen können zwei Fassadenkollektor-Grundvarianten ersehen werden: Der hinterlüftete und der nicht hinterlüftete Kollektor. Der hinterlüftete Kollektor hat eine eigene Kollektordämmung und eine Kollektorrückwand, dahinter befindet sich eine Hinterlüftungsebene (siehe Abbildung 3.1). Es wurden vier Objekte mit dieser Ausführung erhoben. Bei einem war allerdings die Hinterlüftung nicht aktiviert, d.h. die Luftklappen waren geschlossen. 10 der dokumentierten Anlagen sind als nicht hinterlüftete Variante ausgeführt. Der Kollektor wurde dabei entweder in einen Holzriegelbau integriert (siehe Abbildung 3.2) oder direkt auf eine Massivwand montiert. Die detaillierte Anlagendokumentation ist in Anhang 1 enthalten.

Abbildung 3.1: Hinterlüfteter Fassadenkollektor

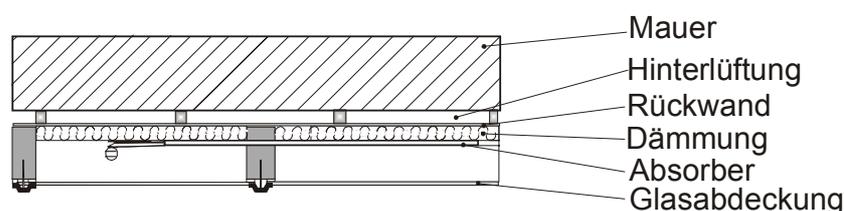
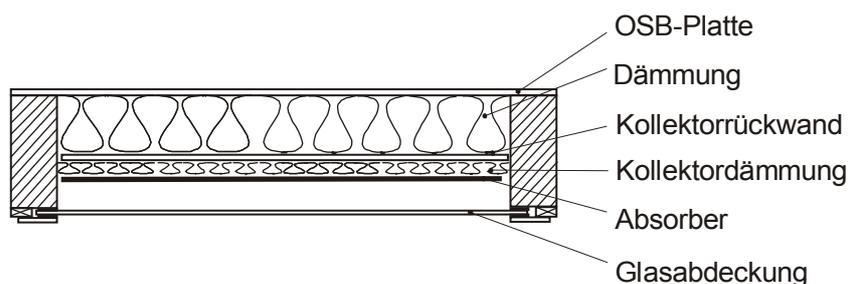


Abbildung 3.2: Nicht hinterlüfteter Kollektor in einem Holzriegelbau integriert



3.2 Problemzonen bei fassadenintegrierten Kollektoren

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die dokumentierten Anlagen dem Stand der Technik entsprechen und ohne Probleme funktionieren. Bei einigen Anlagen konnten Planungs- und Ausführungsmängel erhoben werden, die in folgende Kategorien zu gliedern sind:

Abschattung der Kollektoren durch andere Bauteile, Befestigung der Absorber, Auswahl der Profile zur Fixierung der Glasabdeckung, Optisches Erscheinungsbild und Kollektorbefestigung an der Wand.

Die Anlagendokumentation in Anhang 1 enthält neben den erhobenen Anlagendaten auch eine Problemanalyse jeder Anlage. Im Folgenden werden die wesentlichen Punkte zusammengefasst.

- 1: Abschattung der Kollektoren durch andere Bauteile

Prinzipiell sollte immer darauf geachtet werden, dass die Kollektoren nicht von anderen Bauteilen, angrenzenden Gebäuden oder Pflanzen abgeschattet werden. Diesem Aspekt ist bei Fassadenkollektoren besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Abschattung erfolgt durch Bäume, durch benachbarte Häuser und durch Dachvorsprünge. Eine mögliche Abschattung sollte bereits bei der Planung ausgeschlossen werden (Näheres siehe auch Kapitel 5.1.3).

In Abbildung 3.3 zeigt eine Fassadenkollektoranlage an einem Einfamilienhaus. Bei dieser Anlage werden die oberen (kleinen) Kollektorfelder im Sommer durch ein Vordach verschattet. Die Kombination von Teilabschattung des Kollektorfeldes und ungünstiger hydraulischer Verschaltung (Abbildung 3.4) führt zu Ertragseinbußen im Sommerhalbjahr. Das Medium, das in den unteren Feldern erwärmt wurde, wird im abgeschatteten Bereich wieder etwas gekühlt, da die Felder seriell durchströmt werden.



Abbildung 3.3: Südansicht des Objektes B3 mit den Fassadenkollektoren im Obergeschoss

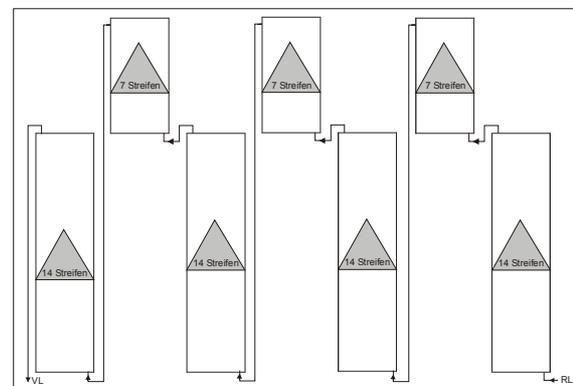


Abbildung 3.4: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder des Objektes B3

- 2: Befestigung der Absorber

Bei der Anlagenerhebung wurde immer wieder festgestellt, dass Absorber oder Sammelrohre mit Teilen aus Holz thermisch gekoppelt sind. So liegt zum Beispiel ein Absorberstreifen direkt auf einer Holzplatte auf, oder die Absorberbefestigung im Kollektorrahmen erfolgt mittels Stahlhaken, die am Sammelrohr befestigt und dann mit dem Holzrahmen verschraubt sind. An diesen Stellen wird das Holz über einen längeren Zeitraum höheren Temperaturen ausgesetzt. Diese können bei Stillstand der Anlage und etwa senkrechten Einfall der Strahlung auf die Kollektorebene, wie es bei dachintegrierten Kollektoren im Sommer der Fall ist, bis zu 210°C (selektiv beschichtete Absorber) erreichen. Bei Fassadenkollektoranlagen ist

der Einfall der Sonnenstrahlung im Sommer sehr steil, daher werden die höchsten Temperaturen im Frühjahr und im Herbst erzielt, wenn die Sonne tiefer steht und in einem günstigeren Winkel auf den Fassadenkollektor auftrifft. In Simulationen wurden Absorbertemperaturen bis zu 195°C (selektiver Absorber) in der Fassade ermittelt (siehe Kapitel 4.2.2.3.2).

Durch die hohen Temperaturen und der thermischen Koppelung erfolgt ein langsames Ausgasen des Holzes und schließlich Verkohlung. Die Zersetzungszone beginnt bei ca. 100°C und ab ca. 200°C beginnt die Verkohlungszone [Lit 3]. Allerdings wurde Holzkohlebildung auch schon bei wesentlich niedrigeren Temperaturen in der Größenordnung von 100°C registriert [Lit 4]. Weder die Temperaturgrenze, bei der die thermische Zersetzung beginnt, noch der Beginn der Verkohlung oder die Entzündungstemperaturgrenze können als Materialkonstanten festgelegt werden. Die Erwärmungsdauer, die Größe des Holzteiles, die Rohdichte des Holzes und der Feuchtegehalt besitzen einen entscheidenden Einfluss. Mit diesen Vorgängen geht eine Verminderung der Festigkeit des Holzes einher, was im Bereich der „Aufhängung“ der Kollektoren natürlich nicht erwünscht ist.

- 3: Auswahl der Profile zur Fixierung der Glasabdeckung



Teilweise werden zur Glasbefestigung und Dichtung des Kollektorgehäuses ungeeignete Aluminiumprofile und Gummidichtungen verwendet, die nicht nur ein erhebliches Sicherheitsrisiko darstellen, sondern auch – bedingt durch Undichtheiten – die Lebensdauer und Effizienz des Kollektors negativ beeinflussen. Bei einer der besichtigten Anlagen wurde durch die Windsogbelastung bereits einige Schrauben des Alu-Abdeckprofils gelockert bzw. halten nicht mehr, sodass Wasser seitlich in das Kollektorfeld eintreten kann.

Abbildung 3.5: Einige Schrauben des Alu-Abdeckprofils sind durch die Windsogbelastung gelockert bzw. fehlen

- 4: Optisches Erscheinungsbild

Fassadenkollektoren werden nicht ausschließlich zur Energiegewinnung installiert, sondern sind auch ein wichtiges architektonisches Gestaltungselement für die Fassade (siehe auch Kapitel 4.1). Werden glatte, klare Gläser für die Kollektorabdeckung verwendet, so ist besonders auf die Auswahl der Absorbermaterialien und die Verarbeitungsqualität des Kollektors zu achten. Streifenabsorber mit einer Blechstärke von 0,2 mm sind aus optischen Gründen – Unebenheiten des Absorberbleches – für die Fassadenintegration mit glatten Gläsern nicht sehr attraktiv (siehe Abbildung 3.6). Aus optischen Gründen sollten bei Kupferabsorbieren einerseits vollflächige Absorber und andererseits strukturierte Gläser verwendet werden.

Bei einer anderen Anlage wurde folgendes Problem festgestellt: Diese Kollektorfassade wurde vor Ort montiert. Durch einen kurzen Regen wurden die Absorberstreifen nass, sodass trotz strukturierter Glasabdeckung Schlieren auf dem Absorber sichtbar sind, wodurch das optische Erscheinungsbild der Fassade verschlechtert wird (siehe Abbildung 3.7). Deshalb sollte bei der Vor-Ort Montage immer darauf geachtet werden, dass der Absorber vor Feuchtigkeit (Regentropfen) geschützt ist.



Abbildung 3.6: Kupferabsorber mit glatter Glasabdeckung. Im rechten Absorberfeld sind Unebenheiten sowie Schäden am Absorber (weiße Flecken) erkennbar.



Abbildung 3.7: Detailansicht des Absorberfeldes: Durch Nässe beim Absorber-einbau sind Schlieren am Absorber sichtbar.

Ein weiteres Problem, das zur erheblichen Beeinträchtigung des optischen Erscheinungsbildes von Fassadenkollektoren (und in weiterer Folge zu Unzufriedenheit der Hausbesitzer) führt, ist das Eindringen von Insekten in das Kollektorgehäuse. Im Kollektorgehäuse sind in der Regel kleine Öffnungen für die Kollektorlüftung (siehe Abbildung 3.8). Diese Öffnungen sollten mit einem Fließ versehen werden, das einerseits die „Kollektoratmung“ möglich ist, aber andererseits das Eindringen der Insekten verhindert wird.



Abbildung 3.8: Insekten im Kollektor

- 5: Kollektorbefestigung an der Wand

Neben den genannten Problempunkten stellt die Befestigung der Kollektoren an der Wandkonstruktion einen Problempunkt dar. Daran werden nämlich sowohl hohe statische, als auch bautechnische Anforderungen (Wärmebrücken) gestellt.

Diese Fragestellung wird bei der Betrachtung der Testanlagen in Kapitel 7 ausführlich dargestellt. Prinzipiell ist in jedem Fall eine wärmebrückenfreie Anbindung an das Gebäude vorzunehmen.

4 Grundlagen für die direkte Integration von Kollektoren

4.1 Architektonische Aspekte

Das Ziel dieses Arbeitspaketes lag darin, ein Anforderungsprofil für Fassadenkollektoren vonseiten der Architekten zu erheben. Da die bauphysikalischen und baurechtlichen Aspekte getrennt erhoben wurden, stand hier der gestalterische Aspekt im Mittelpunkt. Methodisch wurde dabei so vorgegangen, dass einerseits eine Fragebogenerhebung unter Architekten durchgeführt wurde und im Anschluss daran, im Rahmen eines Workshops, die Fragestellungen unter Berücksichtigung der eingelangten Rückmeldungen mit den ausgewählten Architekten nochmals diskutiert wurden. Folgende Fragestellungen sollten durch die Fragebogenerhebung und den Workshop geklärt werden:

- Ästhetisch-funktionale Anforderungen
- Möglichkeiten der Standardisierung hinsichtlich Abmessungen
- Rastermaße
- Anschluss der Kollektoren an Fenster, Dach und die konventionelle Gebäudehülle

Der Fragebogen wurde insgesamt an 1.975 Architekten versandt. Es sind 75 Rückmeldungen eingelangt, was einer Rücklaufquote von 4% entspricht. Es erfolgten 23 Leermeldungen, wobei in diesen Fällen im wesentlichen darauf hingewiesen wurde, dass noch keinerlei Erfahrungen mit Sonnenkollektoren vorhanden war und aus diesem Grunde keine weiteren Beiträge geleistet werden können. Nach Abzug der Leermeldungen konnten 52 Rückmeldungen einer detaillierten Auswertung unterzogen werden.

4.1.1 Ergebnisse der Fragebogenerhebung

Die Abbildungen 4.1 bis 4.5 zeigen die Ergebnisse der Fragebogenerhebung. Aus gestalterischer Sicht können die Anforderungen der Architekten an Fassadenkollektoren folgendermaßen zusammengefasst werden:

Bezüglich Form und Farbe der Absorber zeigte sich, dass der Wunsch nach möglichst freien Gestaltungsmöglichkeiten besteht. Sehr eindeutig ergibt sich der Wunsch der Architekten in Hinkunft verschiedene Absorberfarben zu verwenden. 85% der befragten Architekten wünschen sich eine andere Absorberfarbe als schwarz. Diese Anforderung kann derzeit nur mit lackbeschichteten Absorbern erfüllt werden (siehe auch Kapitel 9, Ausblick und Empfehlungen). Die Verringerung der solaren Erträge wird hierbei in Kauf genommen.

Weiters sehen 14% der befragten Architekten eine Möglichkeit, Fassadenkollektoren bei der Renovierung von Gebäuden einzusetzen. Nur 29% der befragten Architekten sind mit Standardabmessungen zufrieden. Die meisten wünschen sich verschiedene Rastermaße oder beliebige Rasterungen. Die Diskussion beim Workshop zeigte jedoch, dass ein Rastermaß vermutlich nur deshalb von der Mehrheit der Architekten gewünscht wird, weil von diesen angenommen wird, dass eine völlig freie Vorgabe der Abmessungen durch den Architekten zu wesentlichen Mehrkosten führen würde.

Optisch ansprechende Abdeckleisten für Kollektorrahmen sind ein besonderer Wunsch der Architekten. Dies spricht für individuelle Lösungen, was eine vorkonfektionierte Kollektorproduktion in großen Stückzahlen erschwert.

Probleme bei der Realisierung von Fassadenkollektoren durch vorgegebene Gestaltungsrichtlinien werden von der Mehrzahl der Architekten erwartet, ein Ausschlusskriterium für deren Einsatz wird allerdings nicht angenommen.

Die ausführliche Auswertung des Fragebogens und die Diskussion des Fragebogens beim Workshop in Salzburg mit den Architekten sind im Anhang 2 enthalten.

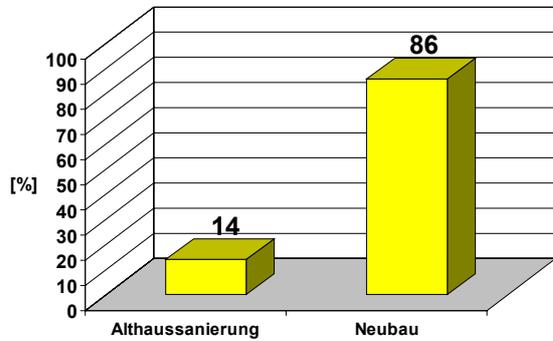


Abbildung 4.1: Prozentuelle Verteilung der Antworten zu „Vorrangiges Einsatzgebiet“

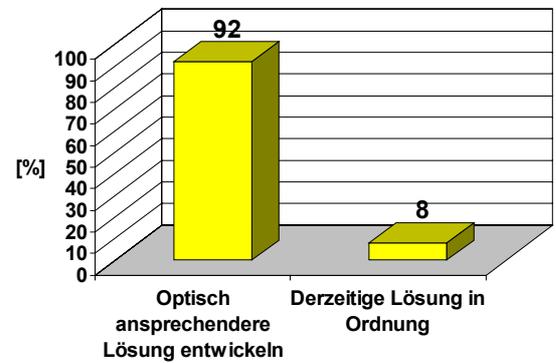


Abbildung 4.4: Prozentuelle Verteilung der Antworten zu „Abdeckkleisten“

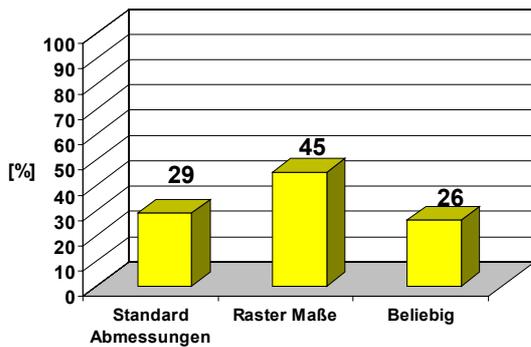


Abbildung 4.2: Prozentuelle Verteilung der Antworten zu „Abmessungen“

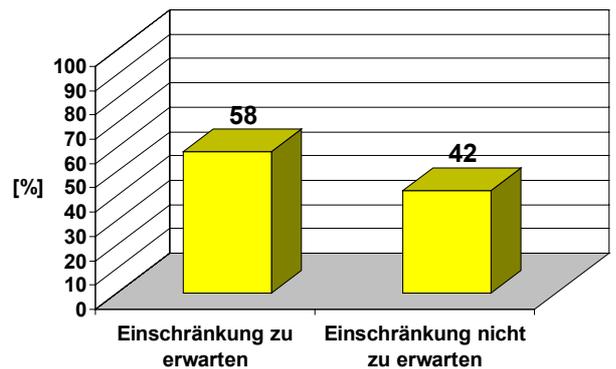


Abbildung 4.5: Prozentuelle Verteilung der Fragen zu „Gestaltungsrichtlinien“

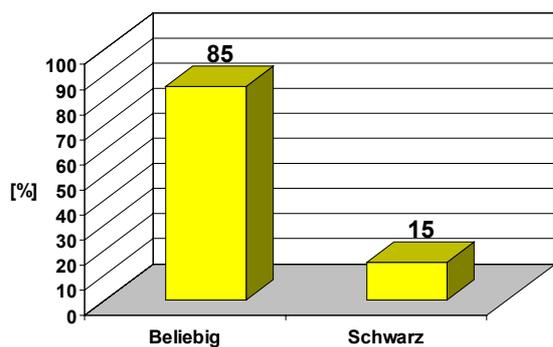


Abbildung 4.3: Prozentuelle Verteilung der Antworten zu „Absorberfarbe“

4.2 Bauphysikalische Aspekte

Das Ziel der Untersuchungen der bauphysikalischen Aspekte war die Erarbeitung von bauphysikalischen Grundlagen für die Konstruktion eines Fassadenkollektors. Besondere Berücksichtigung fanden dabei die Untersuchung zu Wasserdampfdiffusion und Wärmetransport sowie der auftretenden Temperaturen im Kollektor und die Rückwirkungen auf die dahinterliegende Wand. Die Untersuchungen wurden sowohl theoretisch, als auch praktisch an den errichteten Testanlagen durchgeführt.

4.2.1 Wasserdampfdiffusion

4.2.1.1 Theoretische Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusion

4.2.1.1.1 Aufgabenstellung

In diesem Kapitel werden die Verhältnisse des Feuchtetransportes auf Basis der Wasserdampfdiffusion innerhalb der verschiedenen Wandaufbauten dargestellt. Im Mittelpunkt des Interesses ist dabei, ob es zu schädlichen Kondensationen im Inneren des Bauteiles kommt. Weiters wurde untersucht, inwieweit es durch den Feuchtigkeitstransport zu einer Kondensation an der Glasabdeckung des Kollektors kommt. Kondensationen im Bereich der Glasabdeckung wirken sich einerseits negativ auf den optischen Eindruck der Fassade aus und können andererseits zu Bauschäden an den angrenzenden Bauteilen führen. Dies sollte daher nach Möglichkeit unterbunden bzw. minimiert werden.

Um die Kondensation an der Glasabdeckung zu minimieren, wurde jeder angenommene Aufbau auch zusätzlich mit einer Dampfsperre im Inneren des Bauteiles berechnet. Durch diese Maßnahme wird der Feuchtigkeitseintrag aus dem Inneren des Wohnraumes in den Luftraum des Kollektors reduziert. Allfällige Kondensationen an der Glasabdeckung sind in diesen Bauteilen weitgehend durch den Temperaturverlauf und den Luftaustausch des Kollektors mit der Umgebung („Atmung des Kollektors“) verursacht.

Für die Lösung der Aufgabenstellung wurde ein Programm erstellt, welches den Außenbauteil in 5 mm dicke Schichten zerlegt und den Verlauf des Wasserdampfpartialdruckes sowie der Kondensation im Bauteilinneren in Abhängigkeit von der Zeit, auf Basis des Fickschen Gesetzes für die Diffusion, erfasst.

Prinzipiell kann dieses angewendete stationäre Rechenmodell nur eine Abschätzung der anfallenden Kondensation im Bauteil darstellen. Um für diesen Fall genauere Rechenergebnisse für den Feuchtetransport in Bauteilen zu erhalten, speziell für Holzbauten, müssen thermisch-hygrische Simulationsberechnungen durchgeführt werden.

4.2.1.1.2 Physikalisches Modell

Wandaufbauten werden im Detail noch diskutiert, es sind grundsätzlich drei massive Wandaufbauten und zwei Holzbaukonstruktionen in die Betrachtung einbezogen worden. Es wurden hierfür typische aktuelle Außenwandkonstruktionen für den Ein- und Mehrfamilienhausbau ausgewählt.

Innenraumbedingungen gemäß ON B 8110 Teil 2 (VN) „Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz“ vom 1. Dezember 1995. Die Innenraumtemperatur wurde mit 20°C und die relative Luftfeuchte mit 65% angenommen. Für Außentemperaturen unter 0°C wurde die relative Luftfeuchte des Raumes entsprechend der o.a. geführten Norm gemindert, d.h. reduziert um 1% je 1K.

Außenlufttemperaturen (Stundenmittelwerte) wurden aus Klimadaten für den Standort Graz entnommen. Die relative Feuchte der Außenluft wurde konstant mit 80% angenommen.

Absorberrtemperaturen (Stundenmittelwerte) wurden für eine definierte Anlagenkonfiguration und den Standort Graz ermittelt (siehe Kapitel 4.2.2.2). Für die weitere Berechnung wur-

den die in diesem Programm definierten „mittleren Absorbertemperaturen“ verwendet. Sofern es erforderlich war, wurden zusätzliche Temperaturen durch lineare Interpolation ermittelt.

Für die Berechnung der Wasserdampfdiffusion wurde die Gültigkeit des Fickschen Gesetzes, wonach als Ursache des Wasserdampftransportes (verallgemeinerte Kraft) der Konzentrationsgradient bzw. der Gradient des Wasserdampfpartialdruckes maßgebend ist, vorausgesetzt. Während die Innenraumbedingungen wie oben beschrieben vorausgesetzt wurden, wurde im Luftraum des Kollektors eine Anreicherung der Wasserdampfkonzentration und deren Einfluss auf den Transportvorgang berücksichtigt. Die Glasabdeckung wurde als diffusionsdicht angenommen. Um die „Atmung“ des Kollektors zu berücksichtigen, wurde ein geschätzter Luftwechsel von 30% des Kollektorinnenraumvolumens (Raum zwischen Absorber und Glasabdeckung) pro Tag angenommen.

Auf Basis der vorgegebenen Stundenmittelwerte wurde die Diffusionsberechnung für 24 Stunden eines Tages durchgeführt. Sofern es erforderlich war, wurden die Stundenintervalle zusätzlich unterteilt. Die Zwischenwerte der Temperaturen wurden dabei durch lineare Interpolation ermittelt. Innerhalb der einzelnen Zeitintervalle wurde ein stationärer thermischer Zustand angenommen. Für jeden Monat wurden zwei Tage berechnet, sodass damit eine Übersicht über das Verhalten des Bauteils erhalten wurde. Der Bauteil wurde für die Berechnung in Schichten von 5 mm Dicke unterteilt.

4.2.1.1.3 Beurteilungskriterien

Durch den Feuchtetransport kann es zu Kondensationsebenen bzw. -zonen im Wandaufbau kommen. Neben der Kondensation im Wandinneren kommt es aber auch zu einer Verdunstung der kondensierten Menge Wasser. Schädlich ist eine Kondensation im Bauteilinneren lt. ÖN B 8110-2 Pkt. 4.4 insbesondere dann, wenn:

- das Kondenswasser nicht gespeichert werden kann, d.h. die kondensierende Wassermenge darf an Berührungsflächen von kapillar nicht oder wenig wasseraufnahmefähigen Schichten 500 g/m^2 (z.B. Schicht hinter dem Kollektorgehäuse) nicht überschreiten
- das Kondenswasser eine solche Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes einer Bauteilschicht verursacht, dass der Wärmedurchlasswiderstand D des gesamten Bauteiles um 10% oder mehr vermindert wird (z.B. Wärmedämmungsschicht)
- die Baustoffe durch Kondensat geschädigt werden (z.B. für Holz und Holzwerkstoffe ist eine Erhöhung des massebezogenen Feuchtigkeitsgehaltes um mehr als 3% unzulässig)
- das angesammelte Kondenswasser in der Austrocknungsperiode nicht vollständig austrocknen kann.

Bei der Berechnung des Verdunstungspotenzials wurde vereinfacht nur jener Anteil berücksichtigt, der einer Verdunstung in das Rauminnere entspricht. Im Gegensatz zu Wandaufbauten bei denen an der Außenseite der Wand kein Kollektor existiert, kommt es im gegenständlichen Fall bei Sonneneinstrahlung täglich zu einer wesentlichen Erwärmung des Absorbers und damit zu einem Feuchtetransport in das Innere der Räume. Verdunstungen sind daher bei diesem Wandaufbau täglich möglich. Nicht berücksichtigt in der Berechnung wurden jene Tage in den Übergangszeiten, an denen ganztägig der Himmel bedeckt ist oder Nebel herrscht.

Der Feuchtetransport bewirkt außerdem in Abhängigkeit von der Absorber- und Außenlufttemperatur eine Anreicherung von Wasserdampf im Luftraum zwischen Absorber und Glasabdeckung. Hier kommt es durch den Wasserdampf zu Kondensationen, die vornehmlich aufgrund des Temperaturgradienten im Bereich der Glasplatte auftreten werden. Weiters zu berücksichtigen ist, dass der Temperaturunterschied zwischen Außenluft und Kollektorinnenraum einen Luftaustausch bewirkt (siehe oben).

Als Beurteilungskriterien für die Tauglichkeit der Wandaufbauten wurde vereinfacht

- das Verhältnis Kondensatmenge zu Verdunstungspotenzial und

- die Kondensatmenge an der Glasabdeckung des Kollektors herangezogen.

4.2.1.1.4 Wandaufbauten

Im folgenden werden die einzelnen Wandaufbauten dargestellt. Der Schichtenaufbau und die bauphysikalischen Parameter der Schichten werden in Tabellen dargestellt. In diesen Tabellen werden jedoch die Schichten nur bis zum Absorber behandelt. Der weitere Aufbau (Absorber, Luftzwischenraum und Glasabdeckung) ist für alle Bauteile identisch. Die Wandaufbauten mit und ohne integriertem Kollektor sind im Anhang 4 dargestellt.

Tabelle 4.1: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „Ziegel 38“

Nr.	Schichte	Abmessung	Wärmeleitfähigkeit	Dampfdiffusionswiderstand μ	diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D
		[mm]	[W/(m ² *K)]	[-]	[m]
1	Innenputz GIPS	15	0,700	10	0,15
2	Ziegel POROTHERM 38 S	380	0,167	8	3,04
3	Stein- od. Mineralwolle	80	0,040	1	0,08
	Summe	475			3,27

Tabelle 4.2: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „Ziegel 25“

Nr.	Schichte	Abmessung	Wärmeleitfähigkeit	Dampfdiffusionswiderstand μ	diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D
		[mm]	[W/(m ² *K)]	[-]	[m]
1	Innenputz GIPS	15	0,700	10	0,15
2	Ziegel HLZ	250	0,378	8	2,00
3	Stein- od. Mineralwolle	80	0,040	1	0,08
	Summe	335			2,23

Tabelle 4.3: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „Beton“

Nr.	Schichte	Abmessung	Wärmeleitfähigkeit	Dampfdiffusionswiderstand μ	diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D
		[mm]	[W/(m ² *K)]	[-]	[m]
1	Innenputz GIPS	15	0,700	10	0,15
2	Stahlbeton	200	2,300	150	30,00
3	Stein- od. Mineralwolle	80	0,040	1	0,08
	Summe	295			30,23

Tabelle 4.4: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „KLH Holzmassivwand“

Nr.	Schichte	Abmessung	Wärmeleitfähigkeit	Dampfdiffusionswiderstand μ	diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D
		[mm]	[W/(m ² *K)]	[-]	[m]
1	Innenverkleidung HOLZ	20	0,150	50	1,00
2	KLH-Massivholzplatte	100	0,150	50	5,00
4	Winddichtung diff.offen	-	-	-	-
5	Stein- od. Mineralwolle	100	0,040	1	0,10
6	Stein- od. Mineralwolle	80	0,040	1	0,08
	Summe	300			6,18

Tabelle 4.5: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „Holzriegelwand“

Nr.	Schichte	Abmessung	Wärmeleitfähigkeit	Dampfdiffusionswiderstand μ	diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D
		[mm]	[W/(m*K)]	[-]	[m]
1	Innenverkleidung (Holz)	20	0,150	50	1,00
2	Stein- od. Mineralwolle	50	0,040	1	0,05
3	Vollschalung, Holz	24	0,150	50	1,25
4	Winddichtung diff.offen				*
5	Holzriegel dazw.	-	-	-	-
6	Stein- od. Mineralwolle	100	0,040	1	0,10
7	Stein- od. Mineralwolle	50	0,040	1	0,08
	Summe	244			2,48

*Anm: Der s_D -Wert der Dampfbremse wird in weiterer Folge näher erläutert, in Tabelle 4.5 ist dieser Wert nicht berücksichtigt.

4.2.1.1.5 Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D

Als Maß für die Durchlässigkeit eines Baustoffes für Wasserdampf vergleicht man die Durchlässigkeit einer 1 m dicken Schicht aus diesem Baustoff mit einer gleich dicken Schicht aus Luft (s_D). Der Quotient aus diesen beiden Werten ergibt die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ [-]. Zur besseren Beurteilung der Rechenergebnisse wird die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s_D -Wert) einiger Stoffe in Tabelle 4.6 angeführt.

Tabelle 4.6: Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s_D -Wert) ausgewählter Bau- und Dämmstoffe

Stoff	Diffusionswiderstandszahl μ	Übliche Dicken	Diffusionsäqu. Luftschichtdicke $\mu * d$ [m]= s_D -Wert
	[-]	[m]	[m]
Luft	1	1	1
Gipskartonplatte gemäß ÖN B 3410	8	0,015	0,12
Gebundene Mineralwolle gemäß ÖN B 6035	1	0,2	0,2
Holz	50	0,024	1,2
Sperrholz	50 – 200	0,01	0,5 – 2,0
Holzspanplatten	50 - 100	0,01	0,5 – 1,0
Hochlochziegel	8	0,25	2
Normalbeton	50 – 100	0,20	10 – 20
Bitumierte Pappe gemäß ÖN B 3635	2500	0,004	10
EPS gemäß ÖN B 6050 z.B. EPS W 25	35 - 80	0,2	7 – 16
PAE-Folie	100000	0,0001	10
Hygrodiode	-	-	20
Aluminium Folie	dampfdicht	0,0001	∞
Schaumglas	dampfdicht	-	∞
Diffusionsoffene Folie	-	-	< 0,3

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass der s_D -Wert kein Qualitätskriterium in dem Sinne ist, dass Produkte mit höherem s_D -Wert qualitativ hochwertiger sind. Es ist vielmehr aufgrund der vorliegenden Verhältnisse jenes Produkt auszuwählen, welches den für den spezifischen Anwendungsfall geeignetsten s_D -Wert aufweist.

4.2.1.1.6 Kondensationsmengen von Wandaufbauten ohne Dampfsperre

4.2.1.1.6.1 Kondensation im Wandaufbau

Auf Basis der o.a. Wandaufbauten und der dargestellten bauphysikalischen Parameter wurden die Kondensationsmengen und das Verdunstungspotenzial für den Zeitraum eines Jahres $[g/(m^2 \cdot a)]$ berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.6 dargestellt.

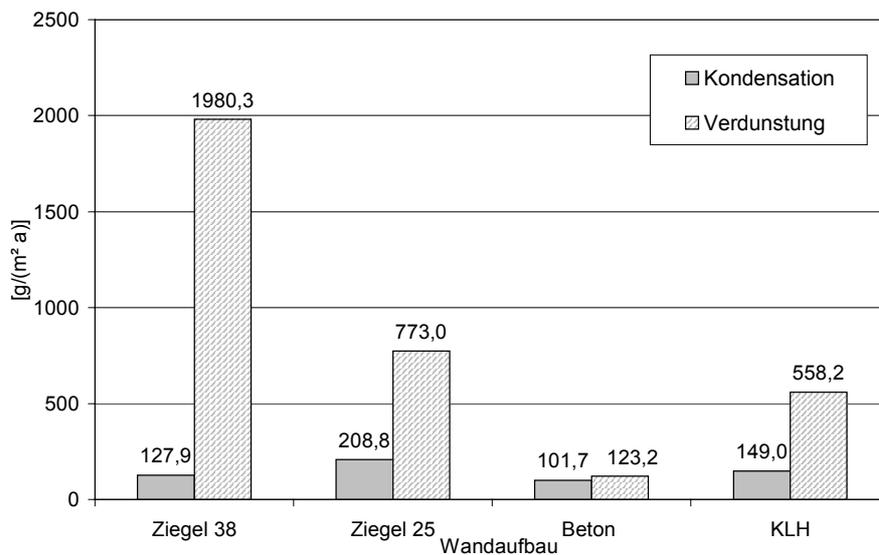


Abbildung 4.6:
Kondensat- und
Verdunstungs-
potenzial für die
einzelnen
Wandaufbauten

Die Berechnung in Anlehnung an die ÖN B 8110-2 ergibt, dass der Bauteil „Holzriegelwand“ eine Dampfbremse mit einer diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke

(s_D -Wert) wesentlich größer als 20 m erfordert, da es sonst zu mehreren Kondensationsebenen kommt und der Bauteil daher nicht geeignet ist. Voraussetzung hierfür ist jedoch die Verwendung von trockenen Baumaterialien für die Außenwandkonstruktion. Aus diesem Grund wird dieser Bauteil erst in Kapitel 4.2.1.1.7 näher behandelt.

Wie aus Abbildung 4.6 zu ersehen ist, liegt die Kondensationsmenge in allen angeführten Fällen unter den Werten für das Verdunstungspotenzial. Aus Sicht der Kondensation im Bauteilinneren sind daher alle in dieser Abbildung angeführten Bauteile lt. vereinfachter Berechnungsannahme geeignet.

Nicht berücksichtigt wurden in der Kondensationsberechnung etwaige noch vorhandene Baufeuchtigkeiten bei den Massivbauten. Durch diese Tatsache sind in der ersten Zeit höhere Wärmeleitfähigkeiten der Baumaterialien und somit größere Kondensationsmengen im Bauteil vorhanden.

Das Verdunstungspotenzial für die Wandaufbauten „Ziegel 25“ und „KLH-Massivholz“ ist 3,7 bzw. 3,9 mal höher als die Kondensationsmenge. Für den Wandaufbau „Ziegel 38“ ist das Verdunstungspotenzial 15,5 mal höher als die Kondensation. Lediglich beim Wandaufbau „Beton“ ist die Verdunstung um nur 1,2 mal größer als die Kondensation. Der Grund liegt darin, dass beim Wandaufbau „Beton“ der Betonkörper insgesamt einen relativ hohen s_D -Wert von 30 m aufweist und dieser hohe s_D -Wert begrenzt das Verdunstungspotenzial, wodurch es in diesem Fall lediglich 20% über der Kondensationsmenge liegt.

Die Lage der Kondensationszonen hängt vom Bauteilaufbau und den betrachteten Temperaturen innen und außen ab. Generell kann jedoch festgestellt werden, dass die Kondensationen hauptsächlich im Übergangsbereich massiver Bauteil/Wärmedämmung und in der Wärmedämmung selbst erfolgen. Die Kondensationszonen reichen generell nur sehr begrenzt in den massiven Bauteil hinein.

Speziell im Massivholz- und Holzleichtbau ist auf diese Tatsache besonderes Augenmerk zu legen, um Feuchteschäden zu vermeiden.

4.2.1.1.6.2 Kondensationsmengen im Luftraum zwischen Absorber und Glasabdeckung des Kollektors

Die Gründe für Kondensationen im Luftraum zwischen Absorber und Glasabdeckung sind bei der Diskussion der Beurteilungskriterien bereits erwähnt worden. In weiterer Folge wird auf diese Problematik näher eingegangen.

a. Feuchtigkeit von innen:

Durch die Temperaturdifferenz und dadurch bedingt durch die Differenz des Wasserdampfpartialdruckes zwischen dem Kollektor und dem Inneren des Gebäudes kommt es insbesondere in den Nachtstunden zu einem Feuchtetransport in Richtung Glasabdeckung des Kollektors. Durch diesen Feuchtetransport ist es möglich, dass die Sättigungskapazität der Luft überschritten wird und sich Kondensat bildet. Die Kondensation wird vornehmlich an der Glasabdeckung und hier in den Ecken erfolgen.

Dieser Feuchtetransport durch Diffusion in das Kollektorinnere kann durch die Installation einer Dampfbremse innenseitig hinter dem Kollektor reduziert bzw. verhindert werden. Dabei ist aber zu beachten, dass es durch die Anordnung dieser Dampfsperre zu keiner schädlichen Kondensation im Bauteilinneren kommt. Diese Problematik wird im nächsten Abschnitt behandelt.

b. Feuchtigkeit von außen:

Ein weiterer Grund für die Kondensation im Luftraum zwischen Absorber und Glasabdeckung liegt darin, dass durch das Atmen des Kollektors Außenluft in das Innere des Kollektors angesaugt wird (Annahme: Luftwechsel von 30% des Volumens zwischen Absorber und Glasabdeckung pro Tag). Weist die einströmende Außenluft eine hohe relative Luftfeuchte auf, wie es etwa im Zuge eines Niederschlages der Fall sein kann, so ergeben sich in der darauf folgenden nächtlichen Abkühlung im Kollektor Kondensationen. Diese sind jedoch vom Wandaufbau unabhängig und stellen ein allgemeines Problem von thermischen Kollektoren dar.

Liegen tagsüber geringe Einstrahlungswerte vor, so kommt es zu keiner wesentlichen Temperaturerhöhung (max. Kollektorlufttemperatur ca. 10°C) im Kollektor. Durch das Temperaturgefälle von innen nach außen kommt es zu einem Feuchtetransport in Richtung Glasabdeckung des Kollektors. Dauert diese Wetterperiode mehrere Tage hintereinander an, Nebelperioden von zwei bis drei Wochen sind im Herbst/Winter insbesondere in Beckenlagen durchaus möglich, so kommt es in dieser Zeit zu einer kontinuierlichen Anreicherung von Feuchtigkeit im Luftraum des Kollektors. Dies kann dazu führen, dass es in dieser Periode zu Kondensationen an der Glasabdeckung des Kollektors kommt, was wiederum einerseits zu einer optischen Beeinflussung der Fassade und andererseits zu einer Schädigung der angrenzenden Materialien (z.B. Holzwerkstoffe) durch abfließendes Wasser an der Scheibe führen kann.

Es wurde aus den Klimadaten von Graz (Meteonorm) ein Tag mit diesen charakteristischen Verhältnissen einer geringen Einstrahlung (Globalstrahlung max. 140 W/m²) ausgewählt (2. Dezember). Mit diesen Einstrahlungswerten wurden Lufttemperaturen im Kollektor ermittelt (siehe Kapitel 4.2.2.2) und für die Abschätzung des Kondensats verwendet. In Abbildung 4.7 wird der tägliche Eintrag an Feuchtigkeit durch Diffusion von innen in Abhängigkeit vom Wandaufbau dargestellt.

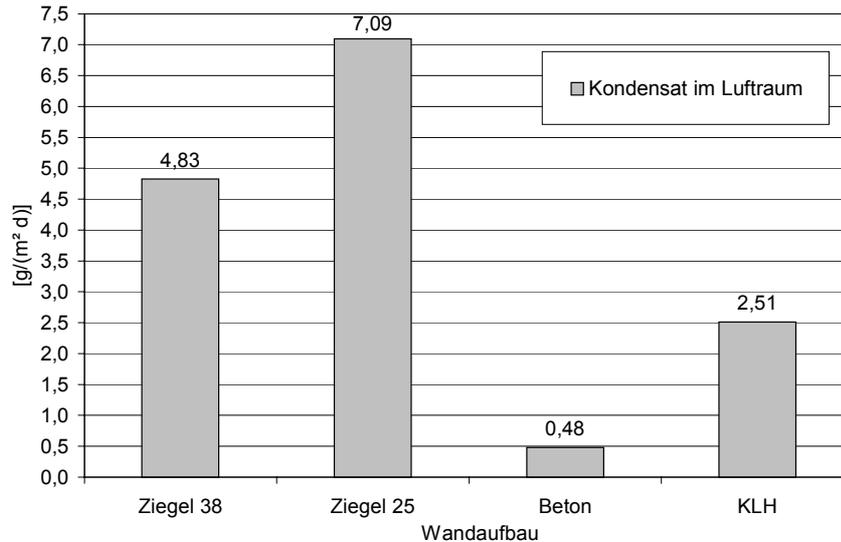


Abbildung 4.7: Täglicher Eintrag an Feuchte in den Luftraum zwischen Absorber und Glasabdeckung des Kollektors an einem strahlungsarmen Tag im Dezember

Wie aus der Abbildung 4.7 ersichtlich ist, erreicht der tägliche Eintrag an Feuchte bei jenen Außenwandkonstruktionen, die einen relativ geringen s_D -Wert (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke) aufweisen, sehr große Werte. Die relativen Luftfeuchtigkeiten wurden für die Abschätzung sowohl innen als auch außen konstant angenommen.

Der Wandaufbau „Beton“ weist dementsprechend den geringsten Wert an Kondensat auf. Geht man von einer Schlechtwetterperiode von drei Wochen aus, so sammeln sich im Luftraum des Kollektors bei allen betrachteten Wandaufbauten größere Mengen an Kondensat.

In weiterer Folge wird in der Tabelle 4.7 für jede Jahreszeit exemplarisch für je einen Tag angegeben, ab welcher Uhrzeit die relative Feuchtigkeit im Luftraum des Kollektors rechnerisch unter der Sättigungsgrenze liegt. An den beiden berechneten Sommertagen lag die Feuchte im Kollektor immer unter der Sättigungsgrenze. Das heißt, es war nie Kondensat an der Glasabdeckung des Kollektors vorhanden.

Tabelle 4.7: Uhrzeit, ab welchem kein Kondensat mehr an der Glasabdeckung sichtbar ist (relative Feuchtigkeit liegt im Luftraum des Kollektor unter der Sättigungsgrenze)

Jahreszeit (Tag)	Einstrahlung	Ziegel 38	Ziegel 25	Beton	KLH Wand
		s_D : 3,27 [m]	s_D : 2,23 [m]	s_D : 30,43 [m]	s_D : 6,18 [m]
Winter (1.1)	strahlungsarm	11:15 Uhr	11:15 Uhr	09:30 Uhr	10:15 Uhr
Winter (15.1.)	strahlungsintensiv	10:30 Uhr	11:00 Uhr	09:00 Uhr	09:30 Uhr
Frühling (15.4.)	strahlungsarm	12:30 Uhr	13:30 Uhr	09:00 Uhr	11:00 Uhr
Frühling (1.4.)	strahlungsintensiv	08:30 Uhr	08:30 Uhr	07:00 Uhr	08:00 Uhr
Sommer (11.7.)	strahlungsarm	kein Kondensat	kein Kondensat	kein Kondensat	kein Kondensat
Sommer (15.7.)	strahlungsintensiv	kein Kondensat	kein Kondensat	kein Kondensat	kein Kondensat
Herbst (15.10.)	strahlungsarm	09:30 Uhr	10:00 Uhr	08:15 Uhr	08:30 Uhr
Herbst (1.10.)	strahlungsintensiv	08:00 Uhr	08:00 Uhr	07:00 Uhr	07:30 Uhr

Wie aus Tabelle 4.7 zu erkennen ist, hängt der Zeitpunkt, ab welchem kein Kondensat mehr an der Glasabdeckung sichtbar ist, von der Dampfdurchlässigkeit (s_D -Wert) des Wandaufbaues ab. Je höher der s_D -Wert der Konstruktion ist, desto früher kommt es im Luftraum zu einer Unterschreitung der Sättigungskonzentration und daher zu keinem Oberflächenkondensat an der Glasabdeckung.

4.2.1.1.7 Wandaufbauten mit Dampfsperre

Die bisherigen Diskussionen, dargestellt anhand von vereinfachten Rechenmodellen, haben ergeben, dass es insbesondere aus der Sicht der Kondensation im Bauteilinneren durch die Diffusion von innen nach außen möglich ist, Fassadenkollektoren ohne Hinterlüftung zu installieren.

Bei Schlechtwetterperioden, also Perioden mit geringer Einstrahlung der Sonne auf die Kollektorfläche, könnte sich jedoch eine Ansammlung des Kondensats im Kollektor ergeben. Diese Ansammlung kann jedoch reduziert werden, wenn im Bauteilinneren eine Dampfsperre montiert wird, die eine Wasserdampfdiffusion in den Kollektor vermindert. Rechnerisch wird von einem s_D -Wert der Dampfsperre von 10.000 m (z.B. Metallplatte, Schaumglas, Alufolie ab 125 g/m²) ausgegangen, um den Extremfall einer absolut dichten Dampfsperre zu simulieren. Lt. ÖN B 8110-2 müsste rechnerisch lediglich ein s_D -Wert von 1.500 m eingesetzt werden um eine dampfdichte Schicht anzunehmen.

Die rechnerisch angenommene Dampfsperre ist beim Ziegelmauerwerk zwischen Ziegel (Schicht Nr.2) und Wärmedämmung (Schicht Nr.3), bei der Betonwand zwischen evt. Ausgleichsspachtelung und Wärmedämmung (Schicht Nr.3), bei der KLH Wand zwischen der KLH-Platte und der Wärmedämmung als Schicht Nr.7 und bei der Holzriegelwand nach der inneren Vollschalung Holz als Schicht Nr. 4 angeordnet (Schichten beziehen sich auf Abbildungen in Anhang 4). In Abbildung 4.8 wird die Kondensatmenge und das Verdunstungspotenzial für alle Wandaufbauten mit Dampfsperre dargestellt.

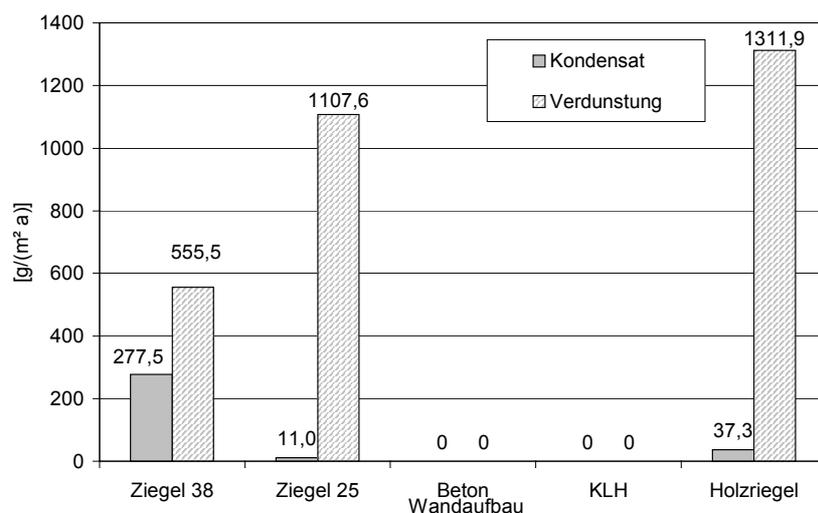


Abbildung 4.8: Kondensatmenge und Verdunstungspotenzial im Wandaufbau für alle Wandaufbauten mit Dampfbremse, dampfdicht

Wie aus der Abbildung 4.8 ersichtlich ist, wird durch die Anordnung einer absolut dichten Dampfsperre erreicht, dass bei allen Bauteilen das Verdunstungspotenzial größer als die Kondensationsmenge ist. Dies ist für die Wandaufbauten Ziegel 38, Ziegel 25, Beton und KLH auch ohne Dampfsperre erreicht, wie in Kapitel 4.2.1.1.6.1 gezeigt wurde. Für den Wandaufbau „Holzriegelwand“ ist auf jeden Fall eine innenseitige Dampfbremse vorzusehen. Die Berechnungen zeigten, dass hierfür eine Dampfbremse mit einer diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke von rechnerisch mehr als 20 m erforderlich ist (siehe Kapitel 4.2.1.1.6.1). Aus bauphysikalischen und hochbautechnischen Gründen ist es jedoch problematisch eine Holzkonstruktion ständig sowohl auf der Außenseite als auch an der Innenseite diffusionsdicht abzuschließen (siehe auch Kapitel 7.1.4.2).

In Abbildung 4.8 ist zu erkennen, dass die Kondensatmenge beim Ziegel 38 mit Dampfbremse gegenüber dem Wandaufbau ohne Dampfbremse (siehe Abbildung 4.6) deutlich angestiegen ist und die Verdunstungsmenge gesunken ist. Dieser Effekt ist beim Wandaufbau Ziegel 25 gegenläufig. Dies liegt an der größeren Dicke und besseren Wärmedämmfähigkeit des Ziegel 38.

In Abbildung 4.8 ist zu erkennen, dass die Kondensatmenge beim Ziegel 38 mit Dampfbremse gegenüber dem Wandaufbau ohne Dampfbremse (siehe Abbildung 4.6) deutlich angestiegen ist und die Verdunstungsmenge gesunken ist. Dieser Effekt ist beim Wandaufbau Ziegel 25 gegenläufig. Dies liegt an der größeren Dicke und besseren Wärmedämmfähigkeit des Ziegel 38.

4.2.1.1.8 Zusammenfassung der theoretischen Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusion

Prinzipiell wurde versucht, die sehr komplexen Zusammenhänge des Transports von Feuchtigkeit in Wandaufbauten mit Fassadenkollektoren ohne Hinterlüftung mit einem einfachen stationären Rechenmodell zu beschreiben. Die nachfolgenden Aussagen und Erkenntnisse können daher nur als Grundlage für weitere Untersuchungen herangezogen werden.

In diesem Kapitel wurden fünf verschiedene Wandaufbauten hinsichtlich ihrer Eignung bezüglich des Einsatzes von nicht hinterlüfteten Fassadenkollektoren untersucht. Die Berechnungen für den Standort Graz ergaben, dass es unter Zugrundelegung der o.a. Aufbauten im Betriebsfall rechnerisch zu keinen schädlichen Kondensationen im Bauteilinneren kommt. Es wurde rechnerisch ermittelt, dass bei dem Wandaufbau Holzriegelwand eine Dampfbremse mit einem s_D -Wert von mindestens 20 m vorzusehen ist, da es aufgrund der Schichtanordnung ansonsten zu mehreren Kondensationszonen im Bauteil kommt. Für relativ feucht eingebaute bzw. während der Montage feucht gewordene Baumaterialien (z.B. Holz und/oder Wärmedämmung) sind allerdings gesonderte Überlegungen anzustellen (siehe dazu Kapitel 7.1.4.2), da eine feuchte Holzkonstruktion nicht zwischen zwei dampfdichten Schichten eingesperrt werden darf.

Eine weitere Betrachtung zeigte, dass der Feuchteeintrag in den Kollektor zu Kondensationen insbesondere an der Glasabdeckung des Kollektors und damit zu einer optischen Beeinträchtigung der Fassade führt. Die Feuchtigkeit kann sich in strahlungsarmen Schlechtwetterperioden (z.B. Nebel während mehrerer Tage) im Kollektor kumulieren. Auch bei geringer Einstrahlung erwärmt sich der Absorber jedoch über die Umgebungstemperatur hinaus. Somit bleibt die Kondensation an der Glasscheibe auf wenige Stunden am Vormittag beschränkt.

In einer weiteren Untersuchung wurde jeder Wandaufbau zusätzlich rechnerisch mit einer Dampfsperre versehen. Mit dieser Maßnahme soll verhindert werden, dass Feuchtigkeit aus dem Gebäudeinneren in den Luftraum zwischen Absorber und Glasabdeckung gelangt. Die durchgeführte Berechnung zeigt, dass mit dieser Maßnahme auch keine schädlichen Kondensationen im Inneren des Wandaufbaues erfolgen.

4.2.1.2 Experimentelle Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusion

Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusion in Wandaufbauten mit integriertem Fassadenkollektor sind in Kapitel 7 angeführt. Es wurde ein Wandaufbau in Leichtbauweise und ein Wandaufbau in Massivbauweise jeweils mit integriertem Fassadenkollektor vermessen, um das unterschiedliche Verhalten des Systems Kollektor/Wand zu erfassen.

4.2.2 Wärmetransport

Um das dynamische Verhalten des Systems „Wand-Kollektor“ beurteilen zu können, wurden Wärmestromberechnungen für die 5 Wandaufbauten durchgeführt. Ziel dieser Berechnungen waren insbesondere die Identifikation von Überhitzungsproblemen bei starker Einstrahlung und die Definition von Mindestdämmstärken zur Vermeidung von Überhitzung. Weiters wurde der Einfluss der Solarerträge auch bei nicht durchströmtem Absorber auf die Transmissionswärmeverluste im Winter untersucht.

Um über das Ausmaß der sommerlichen Überhitzung bei nicht hinterlüftetem Fassadenkollektor eine Aussage treffen zu können, wurden typische Wandaufbauten ohne Kollektor zum Vergleich herangezogen (siehe Anhang 4).

Im Winter können am Absorber, auch bei geringer Einstrahlung, höhere Temperaturen auftreten als die vorhandenen Umgebungstemperaturen. Es wurden daher Simulationen durchgeführt, um zu zeigen, wie sich der fassadenintegrierte Kollektor auf die Transmissionswärmeverluste bzw. den effektiven U-Wert des untersuchten Wandabschnittes auswirkt.

In der Berechnung wurde numerisch die eindimensionale, instationäre Wärmeleitungsgleichung für vielschichtige Wandaufbauten gelöst. Jeder definierte Abschnitt ist in beliebig viele Schichten (für das numerische Rechenverfahren) unterteilbar. Jede Wandschicht wird über ihre Dicke und Dichte, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärme und die inneren Oberflächen über ihre Emissionskoeffizienten definiert. Bei einer Schicht ist eine Wärmequelle definierbar. Diese ist im Falle der Wand mit Kollektor der Absorber als Schicht nach der Glasabdeckung, im Falle der opak gedämmten Wand die äußerste Schicht, die durch die solare Einstrahlung erwärmt wird.

Als Randbedingungen werden die Außentemperatur und die Einstrahlung als Verteilung angegeben (siehe Tabellen 4.10, 4.14 und 4.15). Weiters werden eine mittlere Raumtemperatur und eine Windgeschwindigkeit angegeben.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind die zeitliche und räumliche Temperaturverteilung im gesamten Wandaufbau und deren zeitliche Mittelwerte der Periode. Diese wurden numerisch und graphisch dargestellt. Weiters wurde der effektive U-Wert (U_{eff}) der Periode ermittelt.

4.2.2.1 Wandaufbauten

Es wurden Wandaufbauten gewählt, wie sie typischerweise in Einfamilienhäusern und im Geschossbau verwendet werden ([Lit 5], [Lit 6]). Die Wandaufbauten wurden so bestimmt, dass sie den Wärmeschutzbestimmungen für Gebäude in österreichischen Bundesländern entsprechen (siehe Tabelle 4.8) [Lit 7]. Die Wandaufbauten sind in Anhang 4 enthalten.

Tabelle 4.8: U-Wert [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] Obergrenzen laut baugesetzlichen Wärmeschutzbestimmungen in österreichischen Bundesländern [Lit 7]

Stand:2/2000	B	K	N	O	S	St	T	V	W
Gültig seit/ab	98	97	96	95	91	97	98	96	93
Außenwand	0,45	0,4	0,4	0,5	0,47-0,56	MFH:0,5 EFH, ZFH:0,4	0,35	0,35	0,5

MFH...Mehrfamilienhaus

EFH...Einfamilienhaus

ZFH...Zweifamilienhaus

4.2.2.2 Absorbertemperaturen

Um den Wärmedurchgang durch das Gesamtsystem „Kollektor-Wand“ für die ausgewählten fünf Wandaufbauten berechnen zu können, wurden zunächst die Absorbertemperaturen ermittelt. Der Berechnungen der Absorbertemperaturen wurden die in Tabelle 4.9 dargestellten Randbedingungen sowie das in Abbildung 4.9 abgebildete Solarsystem zu Grunde gelegt.

Tabelle 4.9: Anlage zur Ermittlung der Absorbertemperatur für die Berechnung des Wärmedurchgangs durch die Wandaufbauten.

		Kollektorfläche	Speicher-volumen	WW-Bedarf	Personen	WW-Temperatur	Heizlast
		[m^2]	[l]	[l/d,Person]	[-]	[$^{\circ}\text{C}$]	[kW]
EFH	WW+RH	25	2000+300	40	4	50	8

EFH...Einfamilienhaus

WW...Warmwasser

RH...Raumheizung

Für die Ermittlung der Absorbertemperaturen wurde eine Kombianlage (Warmwasserbereitung und Raumheizung) herangezogen, da aufgrund der relativ großen Kollektorfläche dieser Systeme am ehesten mit hohen Absorbertemperaturen im Sommer zu rechnen ist. D.h. die getroffenen Annahmen stellen den „worst case“ bezüglich möglicher Überhitzungserschei-

nungen in einem Raum dar, der hinter der Wand mit dem Fassadenkollektor liegt. Auf Basis der beschriebenen Annahmen erfolgte die Simulation der Temperaturen mit Hilfe des Simulationsprogramms T*Sol [Lit 8].

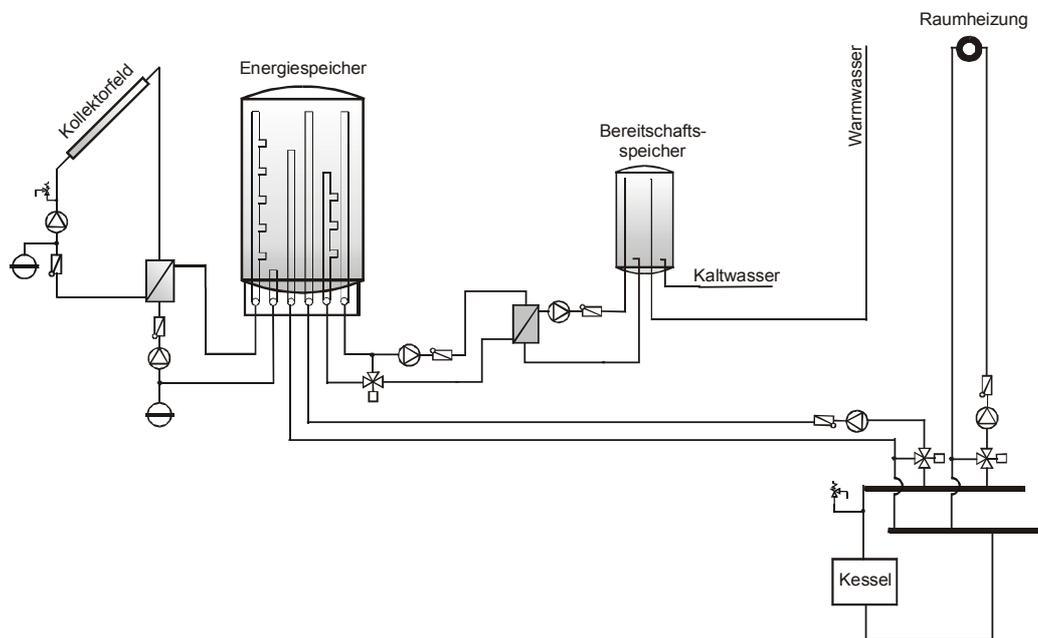


Abbildung 4.9: Hydraulisches Schaltschema der Anlage zur Ermittlung der Absorberrtemperaturen

4.2.2.3 Sommerfall – Berechnung des Wärmedurchgangs

Wie in der Einleitung des Kapitels 4.2.2 bereits beschrieben, war es das Ziel der Simulationen, festzustellen, ob und in welchem Ausmaß in sommerlichen Hitzeperioden durch die Direktintegration des Kollektors Überhitzung im Raum hinter der Wand mit dem Kollektor stattfindet. Basierend darauf sollten Mindestdämmstärken zur Vermeidung von Überhitzung definiert werden.

Jede Wand hat entsprechend ihres Aufbaus (mit oder ohne Kollektor bzw. Variation der Dämmstärke) eine bestimmte Wärmeabgabe in den Raum. Diese „Wärmeleistung“ wird in Watt je Quadratmeter angegeben. Es wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt, um eine Aussage darüber treffen zu können, wie sich die Leistung der Wand auf die Temperatur im Raum dahinter auswirkt (siehe Kapitel 4.2.2.3.3).

Die Berechnungen wurden mit Wetterdaten eines strahlungsintensiven Tages im Sommer durchgeführt. Die Klimadaten (Klimadaten Graz) sind in Tabelle 4.10 enthalten. Die Globalstrahlungssumme auf die Horizontale beträgt an diesem Tag 7273,6 Wh/m² in 24 Stunden, die Strahlung in die Wandebene 3522,1 Wh/m². Die Ermittlung der Strahlung in die Wandebene erfolgt mit Hilfe der Gleichung 5.1 (siehe Kapitel 5.1.1) aus den Klimadaten. Der Tag wird 14 mal wiederholt, um einen Gleichgewichtszustand zu erreichen. Die Wärmeleistung der Wand in W/m² wird als Durchschnitt der letzten 24 Stunden angegeben (= letzter Tag nach 14 Wiederholungen).

Die Absorberrtemperaturen wurden mit Hilfe des Programms T*Sol ermittelt (siehe Kapitel 4.2.2.2) und als begrenzendende Maximaltemperaturen des Absorbers bei der Simulation des Wärmedurchgangs durch die Wand vorgegeben. Somit wird ein laufender Kollektorkreis simuliert. Auf den Fall, dass der Kollektorkreis nicht läuft und die Anlage in Stagnation ist wird in Kapitel 4.2.2.3.2 eingegangen.

Tabelle 4.10: Strahlungsintensiver Tag, Sommer, Klimadaten vom Standort Graz und ermittelte Strahlung in die Wandebene

Stunde	Umgebungs- temperatur	Globalstrahlung	Diffusstrahlung	Strahlung in Wandebene
Nr.	[°C]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]
1	15	0	0	0
2	14,8	0	0	0
3	14,6	0	0	0
4	14,6	0	0	0
5	15,7	26,11	23,89	14,56
6	16,1	127,50	67,78	46,64
7	16,5	232,78	152,78	99,67
8	17,6	403,89	185,28	133,03
9	18,7	497,78	280,83	235,35
10	19,4	683,06	248,33	338,04
11	22	777,50	298,06	420,51
12	23,3	877,50	270,28	486,99
13	24,3	845,56	325,00	473,31
14	25,7	744,72	316,94	405,42
15	26,6	675,83	255,83	335,40
16	26,7	491,11	286,39	234,27
17	26,1	406,11	186,11	133,67
18	25	277,50	123,89	89,69
19	24,7	167,22	79,44	56,44
20	23,7	39,44	30,28	19,08
21	21,6	0	0	0
22	20,8	0	0	0
23	19,6	0	0	0
24	18,4	0	0	0

Die Abbildungen 4.10 bis 4.14 geben die Ergebnisse der Berechnungen wieder. In den Diagrammen werden der statische U-Wert und die Dicke der Dämmung der Wandaufbauten angegeben. Schließlich wird die errechnete Wärmeleistung der Wand je Quadratmeter angegeben. Bei den Kollektoren wird zwischen selektiv beschichteten Kollektoren und Kollektoren mit Solarlack unterschieden.

Die Vergleichswand „Beton“ wurde mit zwei unterschiedlichen Dämmstärken berechnet. Dies hat den Grund, dass die Wärmeschutzbestimmungen für Gebäude in den verschiedenen österreichischen Bundesländern unterschiedlich sind (siehe Tabelle 4.8) [Lit 7]. Um den Verordnungen der Länder Tirol und Vorarlberg zu entsprechen (U-Wert Obergrenzen: 0,35 W/m²K), wurde die Dämmstärke des Vergleichswandaufbaus erhöht.

Die Wandaufbauten Ziegel (25er, 38er) und Beton mit Kollektor wurden mit vier verschiedenen Dämmstärken (5, 8, 10 und 12 cm) berechnet. Bei der Holzriegelwand und der KLH-Wand wurden nur zwei verschiedene Dämmstärken (5 cm und 8 cm) variiert. Bei diesen beiden Wandaufbauten ist es das Ziel, den Kollektor so zu integrieren, dass er nicht über danebenstehende Wandelemente ohne Kollektor hinausragt. Der Kollektor wird also in die Holzriegelwand integriert. Die Gebäudedämmung wird in den Berechnungen von 20 auf 10 cm reduziert und der Rest der notwendigen Dämmung über den Kollektor als „Kollektordämmung“ angebracht.

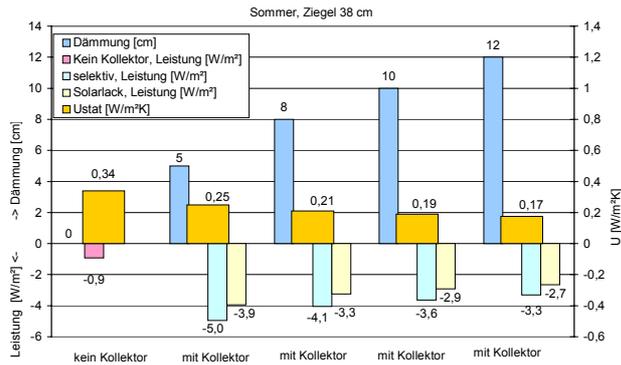


Abbildung 4.10: Wärmeleistung der 38er Ziegelwand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage

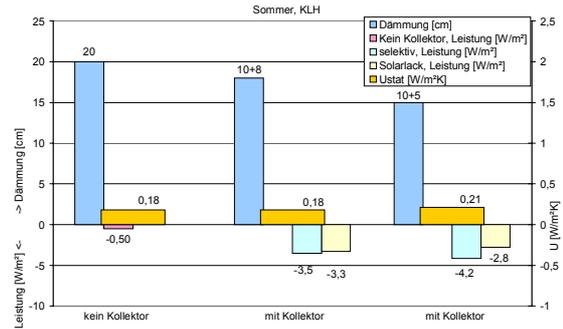


Abbildung 4.13: Wärmeleistung der KLH-Wand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage

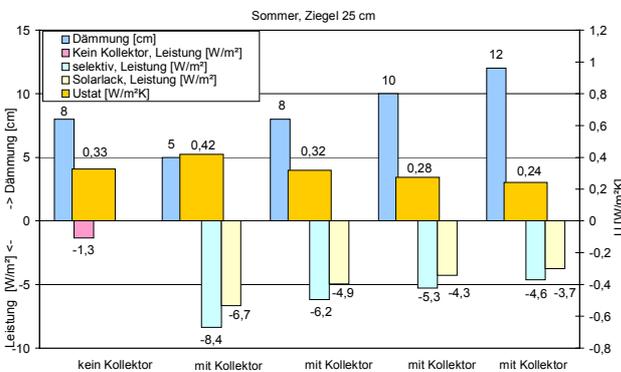


Abbildung 4.11: Wärmeleistung der 25er Ziegelwand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage

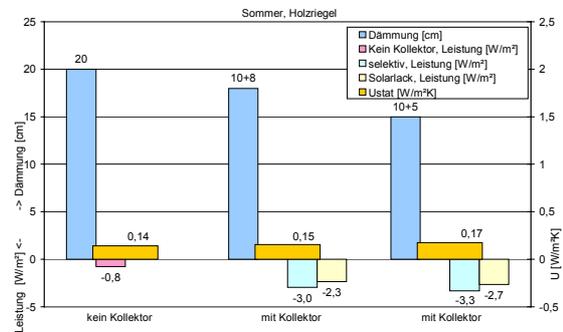


Abbildung 4.14: Wärmeleistung der Holzriegelwand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage

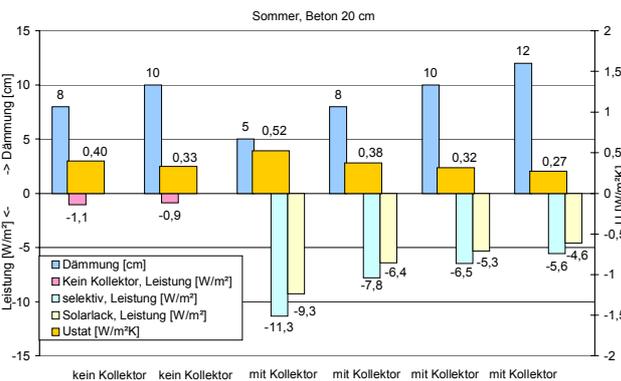


Abbildung 4.12: Wärmeleistung der Betonwand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage

4.2.2.3.1 Temperaturprofil

Durch die Ermittlung des Wärmedurchgangs durch die Wand erhält man stündliche Temperaturprofile durch den gesamten Wandaufbau. Abbildung 4.15 zeigt ein typisches Beispiel für den Temperaturverlauf bei starker Einstrahlung im Sommer in einer Massivwand (Ziegel) mit integriertem Kollektor bei laufendem Kollektorkreis. Der statische U-Wert des Wandaufbaus liegt bei $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$. Abbildung 4.16 zeigt den typischen Temperaturverlauf in einer Leichtbauwand (KLH-Wand) mit integriertem Kollektor, der statische U-Wert des Wandaufbaus liegt bei $0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$.

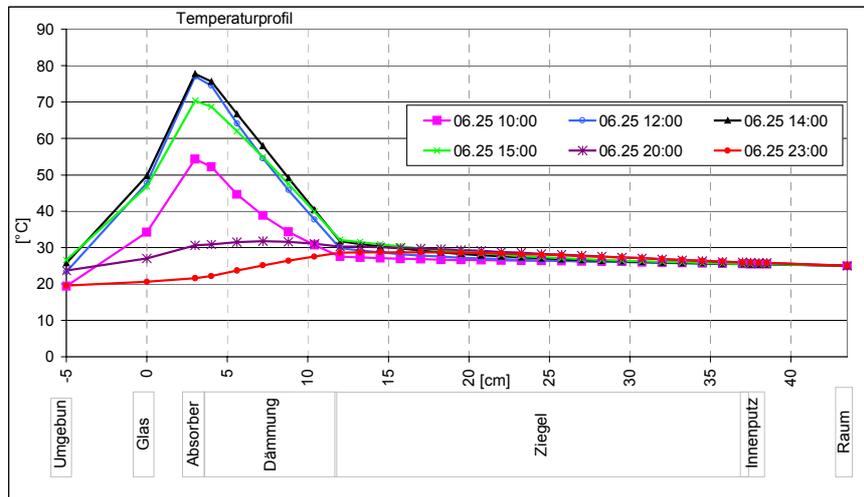


Abbildung 4.15: Temperaturverlauf im Wandaufbau mit Kollektor bei laufender Anlage während 24 Stunden, typischer Verlauf in Massivwänden, Sommerfall

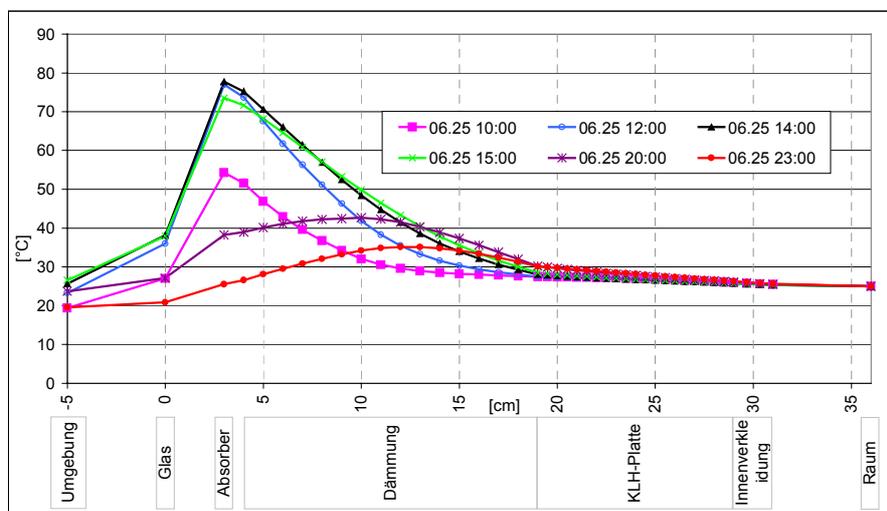


Abbildung 4.16: Temperaturverlauf im Wandaufbau mit Kollektor bei laufender Anlage während 24 Stunden, typischer Verlauf in Leichtbauwänden, Sommerfall

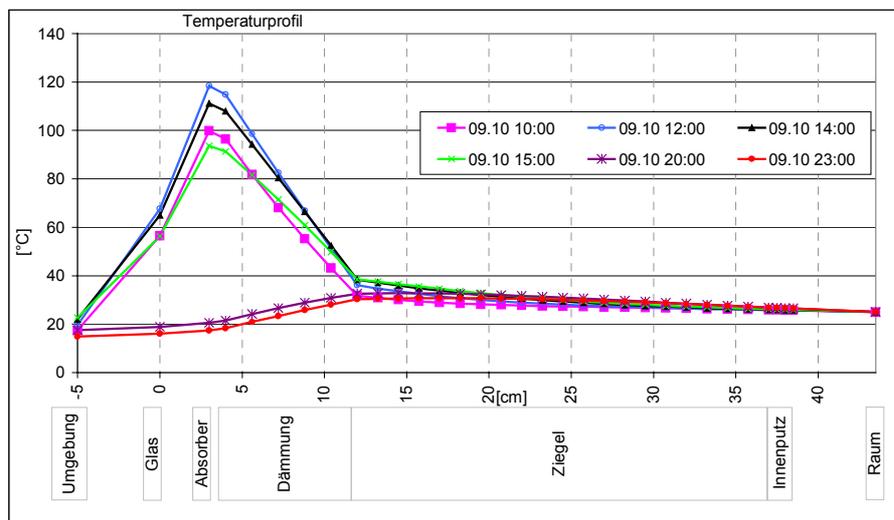
Der durchströmte Absorber erreicht während des Tages Spitzentemperaturen von bis zu 80°C . In der Nacht kühlt der Absorber auf annähernd Umgebungstemperatur ab, dadurch kann auch die gespeicherte Wärme im Wandaufbau hinter dem Kollektor nach außen teilweise abgebaut werden.

4.2.2.3.2 Stagnationsfall

Die oben gezeigten Berechnungen gelten für den Kollektor im Betrieb. Vergleichsrechnungen mit einem Simulationsprogramm zur Auslegung von Solaranlagen [Lit 8] haben gezeigt, dass ein Kollektor in der Fassade aufgrund des flachen Einstrahlwinkels im Sommer üblicherweise nicht in Stagnation geht. Obwohl die Globalstrahlungssumme bei dem oben an-

geführten Beispielen sehr hoch ist ($7273,6 \text{ Wh/m}^2$ in 24 Stunden) beträgt die Strahlung in die Wandebene nur $3522,1 \text{ Wh/m}^2$, also etwa die Hälfte.

Es wurden Vergleichsrechnungen mit dem Wandaufbau „Ziegel 25“ mit Kollektor für einen strahlungsintensiven Tag im September durchgeführt. Die Globalstrahlungssumme beträgt an diesem Tag $6222,8 \text{ Wh/m}^2$ in 24 Stunden, die Strahlung in die Wandebene $5636,6 \text{ Wh/m}^2$, was annähernd 90% der Globalstrahlungssumme ausmacht. Dies ist durch den wesentlich flacheren Einfall der Sonnenstrahlung zu dieser Jahreszeit begründet. Kann an solch einem Tag der Kollektor keine Wärme abführen, so zeigen die Berechnungen, dass ein Kollektor mit Solarlack bis zu 120°C erreicht (Abbildung 4.17). Im Vergleich dazu wurden



für einen selektiv beschichteter Kollektor auf dem selben Wandaufbau Temperaturen bis zu 195°C errechnet.

Abbildung 4.17: Temperaturverlauf im Wandaufbau im September, Stagnationsfall, Ziegel 25, 8 cm Dämmung

Die mittlere Wärmeleistung der Wand mit 8 cm Dämmung würde $-8,7 \text{ W/m}^2$ (bei selektivem Kollektor: -18 W/m^2) betragen, was eine Temperaturerhöhung der Raumluft im dahinterliegenden Raum mit Kollektor gegenüber einem Raum ohne Kollektor von $1,3^\circ\text{C}$ ausmachen würde (bei selektivem Kollektor: 3°K) (siehe unten, Kapitel 4.2.2.3.3, Vergleichsrechnungen von Räumen mit Wänden mit und ohne Kollektor).

Dieser Effekt ist in der Übergangszeit jedoch erwünscht, da bereits ein gewisser Heizenergiebedarf besteht. Im Sommer geht ein Kollektor in der Fassade außer bei Betriebsstörungen üblicher Weise nicht in Stagnation (siehe oben). Außerdem sind die Stagnationstemperaturen aufgrund des steilen Einstrahlungswinkels in die Fassade geringer, als in den Übergangszeiten.

4.2.2.3.3 Vergleichsrechnungen der Temperaturen in Räumen mit Wänden mit und ohne Kollektor

4.2.2.3.3.1 Ziel der Vergleichsrechnungen

Es sollte anhand von zwei Testräumen untersucht werden, wie sich die Raumtemperaturen in den Testräumen bzw. die jeweiligen Energieströme durch die Südfassade verhalten. Dazu wurde mit TRNSYS [Lit 9] ein Referenzgebäude modelliert, welches nachfolgend beschrieben wird. Für einen Testraum wurde ein Kollektor in die Südfassade integriert, der Vergleichsraum hat eine Fassade ohne Kollektor. Ausgabewerte der Simulation waren die jeweiligen Raumtemperaturen und der Energiestrom durch die Wand.

Als Ergebnis wurde ein Zusammenhang zwischen der Differenz der mittleren Wärmeleistung einer Wand mit Kollektor zu einer Wand ohne Kollektor und der daraus resultierenden Temperaturdifferenz der beiden Räume hinter den Wänden ermittelt.

4.2.2.3.3.2 Allgemeine Randbedingungen für die Simulation

- **Gebäude:** Es wurde ein zweistöckiges Einfamilienhaus (Grundfläche 10 mal 7 Meter) mit einer nach Süden orientierten Fassade modelliert (siehe Abbildung 4.8). Die Testräume mit 4 m x 3 m Südfassade und 3 m Raumtiefe wurden in der Mitte der Südfassade im Erdgeschoss bzw. im Obergeschoss jeweils im Osten und im Westen von einem Raum umgeben situiert. Als Nordbegrenzung wurde ein über die ganze Hausbreite gehender, über die zwei Stockwerke offener Raum festgelegt.

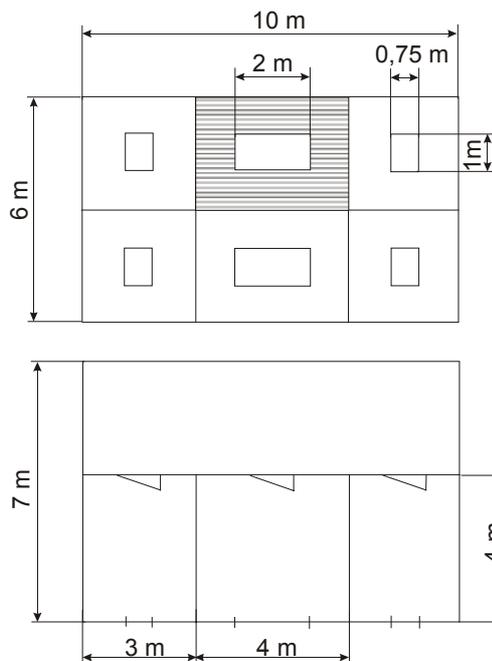


Abbildung 4.18: Grundriss und Aufriss der Südansicht des Testhauses, die Kollektorfläche ist schraffiert dargestellt

Das Haus wurde in die drei Zonen Testraum ohne Kollektor, Testraum mit Kollektor und das Resthaus aufgeteilt. Die Umgebungsparameter für die Testräume wurden folgendermaßen festgelegt: Die Trennwände zu den östlichen bzw. westlichen Räumen wurden als Leichtbauwände, die Trennwände zum Resthaus als massive Innenwände ausgeführt. Der Luftwechsel zwischen Testraum und Resthaus findet durch die Zimmertüre statt, es gibt keine Verbindung zu den Nachbarräumen.

Die Südfassade der Testräume hat eine Fläche von 12 m², davon wurden 2 m² als Fenster definiert. Auf der Südfassade des Testraumes mit Kollektor wurde davon ausgegangen, dass die gesamte Restfläche von 10 m² mit einem Fassadenkollektor belegt ist.

- **Kollektortemperatur:** Die Oberflächentemperatur des Absorbers wurde als Randbedingung für die Südfassade in Stundenwerten vorgegeben. Diese Stundenwerte wurden bei einer Kollektorsimulation bei ganztägig hoher Einstrahlung ermittelt. Die Ermittlung der Absorberrtemperatur wird in Kapitel 4.2.2.2 beschrieben.
- **Luftwechselraten:** Die durch Undichtigkeiten bei den Türen, Fenstern, usw. auftretenden Luftwechsel wurden mit durchgehend 0,3 h⁻¹ angenommen. Durch das Öffnen der Zimmertüre entsteht ein konstanter Luftwechsel von 17,3 kg/h. Durch das Öffnen bzw. Kippen des Fensters entsteht ein zusätzlicher Luftwechsel nach außen, der über die Zeit veränderlich definiert wurde (siehe Tabelle 4.11).

Tabelle 4.11: Festgesetzte Luftwechselraten

Zeit von - bis	Zeitdauer	Fensterzustand
00:00 bis 07:00 Uhr:	1,5 h ⁻¹	gekipptes Fenster
07:00 bis 09:00 Uhr:	3,0 h ⁻¹	geöffnetes Fenster
09:00 bis 20:00 Uhr:	0,0 h ⁻¹	geschlossenes Fenster
20:00 bis 23:00 Uhr:	1,5 h ⁻¹	gekipptes Fenster

- **Interne Lasten:** Generell wurden keine internen Lasten durch Personen, Computer oder Beleuchtungen simuliert.
- **Kühlung:** Es wurde keine Kühlung simuliert.

- **Wandaufbauten zur Beschreibung des Gebäudemodells:** Als Fenster wurden 2-Scheibenwärmeschutzverglasungen mit einem U-Wert des Glases von $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ bzw. einem g-Wert von 0,6 simuliert.

Untersucht wurde das Verhalten der Testräume in zwei verschiedenen Haustypen:

- 1.: Massivbauweise auf Basis eines 25er Hochlochziegel
- 2.: Leichtbau in Holzriegelbauweise

Die Abmessungen und Stoffdaten der simulierten Wandaufbauten sind im Anhang 4 enthalten.

4.2.2.3.3 *Änderung der Raumtemperatur*

Es wurde folgender Zusammenhang zwischen der Leistung der Wand und der Temperaturerhöhung in den definierten Vergleichsräumen ermittelt: Ist die Leistung der Wand mit Kollektor um 1 W/m^2 größer, als die Leistung der Wand ohne Kollektor, so ist die Lufttemperatur im oben definierten Testraum mit Kollektor um durchschnittlich $0,18 \text{ K}$ höher als im Vergleichsraum.

4.2.2.3.4 Sommerfall: Schlussfolgerungen, Ermittlung der Dämmstärke

Ziel der Berechnungen des Wärmestroms im Sommer in den ausgewählten Wandaufbauten mit integriertem Kollektor war, eventuelle Überhitzungsprobleme zu identifizieren und Mindestdämmstärken zu definieren.

Zur Ermittlung der Dämmstärken der Wandaufbauten mit Kollektor wurde ermittelt, wie groß die Differenz der Lufttemperaturen der Räume mit Fassadenkollektor und zu den Räumen ohne Fassadenkollektor ist. Dazu wurden die errechneten Wärmeleistungen der Wände (siehe Kapitel 4.2.2.3) mit Hilfe der Vergleichsrechnung (siehe Kapitel 4.2.2.3.3) umgerechnet auf Differenzen der Lufttemperaturen in den Testräumen.

Tabelle 4.12 enthält für sämtliche Wandaufbauten die ermittelten Wärmeleistungen und die Temperaturdifferenzen der Vergleichsräume mit Außenwänden mit und ohne Fassadenkollektor. Man erkennt in der Tabelle 4.12, dass bei Wandaufbauten mit einem Absorber mit Solarlack die Temperaturdifferenz geringer ist, als bei Wandaufbauten mit selektiv beschichtetem Absorber. Dies ist darin begründet, dass ein Absorber mit einer Solarlackbeschichtung einen größeren Teil der Wärme, die an der Oberfläche des Absorbers entsteht, in Form von Wärmestrahlung nach außen wieder abgibt, als ein selektiv beschichteter Absorber. Bei Solarlackbeschichtung liegt der Emissionskoeffizient zwischen 0,86 und 0,88, bei selektiven Schichten liegt er dagegen um 0,05 [Lit 10].

Tabelle 4.12: Mittlere Wärmeleistung der Wände und Temperaturdifferenz der Vergleichsräume mit und ohne Kollektor in der Fassade im Sommer

Wand	Absorber- beschichtung	Dämmung [cm]	U-Wert [W/m²K]	Wärmeleistung [W/m²]	Temperatur- differenz [°C]
Ziegel 38	kein Kollektor	0	0,34	-0,9	-
	selektiv	5	0,25	-5,0	+0,73
	selektiv	8	0,21	-4,1	+0,57
	selektiv	10	0,19	-3,6	+0,49
	selektiv	12	0,17	-3,3	+0,43
	Solarlack	5	0,25	-3,9	+0,54
	Solarlack	8	0,21	-3,3	+0,42
	Solarlack	10	0,19	-2,9	+0,36
	Solarlack	12	0,17	-2,7	+0,31
	Ziegel 25	kein Kollektor	8	0,33	-1,3
selektiv		5	0,42	-8,4	+1,26
selektiv		8	0,32	-6,2	+0,87
selektiv		10	0,28	-5,3	+0,71
selektiv		12	0,24	-4,6	+0,59
Solarlack		5	0,42	-6,7	+0,96
Solarlack		8	0,32	-4,9	+0,65
Solarlack		10	0,28	-4,3	+0,53
Solarlack		12	0,24	-3,7	+0,43
Beton		kein Kollektor	5	0,4	-1,1
	kein Kollektor	8	0,33	-0,9	-
	selektiv	5	0,52	-11,3	+1,85*
	selektiv	8	0,38	-7,8	+1,21*
	selektiv	10	0,32	-6,5	+0,98*
	selektiv	12	0,27	-5,6	+0,81*
	Solarlack	5	0,52	-9,3	+1,48*
	Solarlack	8	0,38	-6,4	+0,96*
	Solarlack	10	0,32	-5,3	+0,77*
	Solarlack	12	0,27	-4,6	+0,63*
				*Temperaturdifferenzen beziehen sich auf den Wandaufbau Beton mit 5 cm Dämmung	
KLH	kein Kollektor	20	0,181	-0,5	-
	selektiv	18	0,182	-3,5	+0,55
	selektiv	15	0,21	-4,2	+0,66
	Solarlack	18	0,182	-2,8	+0,41
	Solarlack	15	0,21	-3,3	+0,50
Holzriegel	kein Kollektor	20	0,14	-0,8	-
	selektiv	18	0,15	-3,0	+0,40
	selektiv	15	0,17	-3,3	+0,46
	Solarlack	18	0,15	-2,3	+0,28
	Solarlack	15	0,17	-2,7	+0,35

Um die Dämmstärke für einen Wandaufbau mit fassadenintegriertem Kollektor auszuwählen, werden nun folgende Kriterien angewandt:

- Die statischen U-Werte der Wandaufbauten mit Kollektor müssen den jeweiligen baugesetzlichen Bestimmungen in den Bundesländern entsprechen [Lit 7].
- Die errechnete Temperaturdifferenz soll 1 K nicht überschreiten, um den Wärmeeintrag in den Raum in Grenzen zu halten.

Für die Wandaufbauten mit Kollektor wurden daher folgende Dämmstärken ermittelt, die in Tabelle 4.13 aufgelistet werden.

Tabelle 4.13: Erforderliche Dämmstärken für die Wandaufbauten mit Kollektor

Wand	Absorber- beschichtung	Dämmung	Anmerkung
		[cm]	
Ziegel 38	selektiv	5	Statischer U-Wert kleiner als in allen Landesverordnungen vorgeschrieben
Ziegel 38	Solarlack	-"	-"
Ziegel 25	selektiv	8	Statischer U-Wert kleiner als in allen Landesverordnungen vorgeschrieben und die Temperaturdifferenz ist unter 1 K
Ziegel 25	Solarlack	8	Statischer U-Wert kleiner als in allen Landesverordnungen vorgeschrieben und die Temperaturdifferenz ist unter 1 K
Ziegel 25	Solarlack	5	Aufgrund des statischen U-Werts nach den Landesverordnungen nur für Wien, Burgenland, Oberösterreich, Salzburg und Steiermark (nur MFH) möglich.
Beton	selektiv	10	Statischer U-Wert kleiner als in allen Landesverordnungen und die Temperaturdifferenz ist unter 1 K
Beton	Solarlack	10	Statischer U-Wert kleiner als in allen Landesverordnungen und die Temperaturdifferenz ist unter 1 K
	Solarlack	8	Statischer U-Wert kleiner als in allen Landesverordnungen außer Tirol und Vorarlberg
KLH	selektiv	5	Der Kollektor kann in das Wandelement „versenkt“ werden und schließt mit der anschließenden Wand eben ab.
KLH	Solarlack	-"	-"
Holzriegel	selektiv	5	Der Kollektor kann in das Wandelement „versenkt“ werden und schließt mit der anschließenden Wand eben ab.
Holzriegel	Solarlack	-"	-"

MFH...Mehrfamilienhäuser

Man erkennt, dass abhängig vom Absorbertyp (selektive Beschichtung, Solarlack), bei den Wandaufbauten „Ziegel 25“ und „Beton“ unterschiedliche Dämmstärken ermittelt wurden, um eine sommerliche Überhitzung zu vermeiden. Weiters ergibt sich bei diesen beiden Wandaufbauten, dass man mit einer bestimmten Dämmstärke einige Landesverordnungen zwar erfüllt, andere aber nicht (siehe Tabelle 4.13). Es wird daher empfohlen, die jeweils größere Dämmstärke für einen Wandaufbau zu wählen, da sonst viele Sonderfälle zu beachten sind, was sich in erhöhten Produktionskosten niederschlägt.

Bei den übrigen Wandaufbauten wurde kein Unterschied in der Dämmstärke ermittelt, da andere Faktoren als der Absorbertyp einen stärkeren Ausschlag gegeben haben.

Bei dem Wandaufbau „Ziegel 38“ hat die Wand selbst bereits einen so niedrigen U-Wert, dass jede zusätzliche Dämmung den Einfluss des Absorbertyps noch verringert.

Die Wände „KLH“ und „Holzriegel“ sind bereits sehr gut gedämmt und haben U-Werte, die bereits unter allen Landesverordnungen liegen. Es wurde mit dünneren Dämmstärken gerechnet, als der Wandaufbau ohne Kollektor hat. Dadurch ist es möglich, den Kollektor im Wandaufbau zu „versenken“ und ihn in einer Ebene mit den umgebenden Wandelementen (ohne Kollektor) abschließen zu lassen. Die eingesparten Kosten für die Dämmung können dem Kollektor gut geschrieben werden.

4.2.2.4 Winterfall – Berechnung des effektiven U-Werts

Es war das Ziel der folgenden Untersuchungen, den Einfluss eines fassadenintegrierten Kollektors auf die Transmissionswärmeverluste einer Wand im Winter zu untersuchen. Am Absorber treten auch bei geringer Einstrahlung höhere Temperaturen auf, als in der Umgebung. Dadurch werden die Transmissionswärmeverluste des Wandabschnittes mit Kollektor vermindert, dies findet in einer Herabsetzung des U-Werts seinen Ausdruck. Dieser U-Wert, der aus den tatsächlichen Gegebenheiten von Wärmestrom, Innen- und Außentemperaturen errechnet wird, wird effektiver U-Wert (U_{eff}) genannt.

Der effektive U-Wert ist im Gegensatz zum statischen U-Wert kein konstanter Wert und ist abhängig von verschiedenen Randbedingungen, wie z.B. der solaren Strahlung und den herrschenden Innen- und Außentemperaturen. Eine Erwärmung eines nicht hinterlüfteten Kollektors in der Fassade bewirkt eine Absenkung des effektiven U-Werts, wobei ein positiver U-Wert einen Wärmestrom vom Raum in die Umgebung, also Wärmeverluste, und ein negativer U-Wert einen Wärmestrom ins Rauminnere, also Gewinne, bedeutet.

Die Berechnungen wurden mit Wetterdaten eines strahlungsintensiven und eines strahlungsarmen Tages im Winter durchgeführt. An dem strahlungsreichen Tag wird dem Kollektor Wärme entnommen. Die Absorbertemperaturen wurden mit Hilfe des Programms T*Sol ermittelt (siehe Kapitel 4.2.2.2) und als begrenzende Maximaltemperaturen des Absorbers bei der Simulation des Wärmedurchgangs durch die Wand vorgegeben. Am strahlungsarmen Tag befindet sich der Kollektor in Stagnation, da er sich nicht genügend erwärmt, um das Anlaufen des Kollektorkreises zu bewirken.

Der jeweilige Tag wird 14 mal wiederholt, um eine eingeschwungene Wand zu simulieren, und der letzte Tag ausgewertet. Die Klimadaten (Klimadaten Graz, Einstrahlung, Außentemperatur) sind in Tabelle 4.14 und Tabelle 4.15 enthalten.

Die Globalstrahlungssumme auf die Horizontale beträgt am strahlungsintensiven Tag 2153,3 Wh/m² in 24 Stunden, die Strahlung in die Wandebene 4814,3 Wh/m². Am strahlungsarmen Tag beträgt die Globalstrahlungssumme 457,2 Wh/m² in 24 Stunden, die Strahlung in die Wandebene 434 Wh/m². Der Anteil der Diffusstrahlung an der Globalstrahlung beträgt an diesem Tag nahezu 100%.

Die Strahlung in die Wandebene wurde mit Hilfe der Gleichung 5.1 (siehe Kapitel 5.1.1) aus den Klimadaten ermittelt.

Tabelle 4.14: Strahlungsintensiver Tag im Winter, Klimadaten vom Standort Graz und ermittelte Strahlung in die Wandebene

Stunde	Umgebungs- temperatur	Globalstrahlung	Diffusstrahlung	Strahlung in Wandebene
Nr.	[°C]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]
1	-5,9	0	0	0
2	-5,6	0	0	0
3	-6,2	0	0	0
4	-6,5	0	0	0
5	-5,8	0	0	0
6	-5,7	0	0	0
7	-5,9	0	0	0
8	-5,4	0	0	0
9	-5,3	91,11	41,11	282,66
10	-4,8	218,61	60,83	565,79
11	-3,5	333,61	70,00	793,10
12	-2,3	424,44	116,39	903,23
13	-1,6	385,00	117,78	792,12
14	-0,2	305,28	115,56	611,32
15	0,2	224,17	102,78	456,99
16	0,6	149,17	67,50	390,41
17	0,7	21,94	21,94	18,65
18	-0,3	0	0	0
19	-2	0	0	0
20	-3,3	0	0	0
21	-3,7	0	0	0
22	-4	0	0	0
23	-4	0	0	0
24	-1,8	0	0	0

Tabelle 4.15: Strahlungsarmer Tag im Winter, Klimadaten vom Standort Graz und ermittelte Strahlung in die Wandebene

Stunde	Umgebungs- temperatur	Globalstrahlung	Diffusstrahlung	Strahlung in Wandebene
Nr.	[°C]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]
1	-6,5	0	0	0
2	-6,5	0	0	0
3	-5,6	0	0	0
4	-5,3	0	0	0
5	-5,2	0	0	0
6	-5,3	0	0	0
7	-5,4	0	0	0
8	-5,5	0	0	0
9	-5,7	1,11	1,11	0,94
10	-6,2	39,72	39,72	33,76
11	-6,4	53,06	53,06	45,10
12	-5,8	86,11	86,11	73,19
13	-5,5	104,17	104,17	88,54
14	-5,5	141,39	123,06	165,51
15	-4,7	24,72	24,72	21,01
16	-4,7	6,94	6,94	5,90
17	-5	0,00	0	0
18	-5,8	0	0	0
19	-5,1	0	0	0
20	-5,2	0	0	0
21	-5,7	0	0	0
22	-6,6	0	0	0
23	-6,3	0	0	0
24	-6,4	0	0	0

Der effektive U-Wert wird durch die Erwärmung des Kollektors herabgesetzt. In einer Periode strahlungsintensiver Tage wurden für die simulierten Wandaufbauten effektive U-Werte zwischen 0,02 und 0,1 W/m²K ermittelt (Abbildung 4.19 bis Abbildung 4.23, hellgelbe Balken). Diese werden durch die Dämmstärke und die Art des Absorbers beeinflusst.

Den stärksten Einfluss auf den effektiven U-Wert in einer Periode strahlungsintensiver Tage hat der Absorbertyp. In den Abbildungen ist zu erkennen, dass bei den Wandaufbauten mit Kollektor und selektiver Beschichtung des Absorbers die effektiven U-Werte durchwegs niedriger sind, als bei den Wandaufbauten mit Kollektoren mit solarlackbeschichteten Absorbern.

Auch an strahlungsarmen Tagen erwärmt sich der Absorber und bewirkt eine Herabsetzung des effektiven U-Werts. Selbst bei geringster Einstrahlung, wenn sich der Kollektor so wenig erwärmt, dass er keine Wärme in den Speicher liefern kann, d.h. wenn er nicht durchströmt wird, findet eine Herabsetzung des effektiven U-Wertes statt, da der Kollektor sich gegenüber der Umgebung deutlich erwärmt (siehe auch Kapitel 4.2.2.4.1).

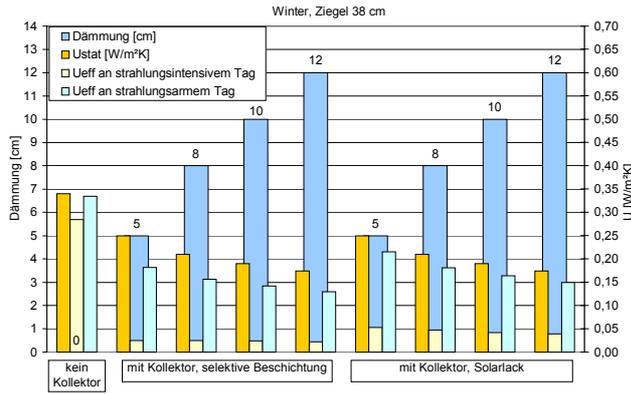


Abbildung 4.19: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen. Ziegel 38, unterschiedliche Dämmstärken

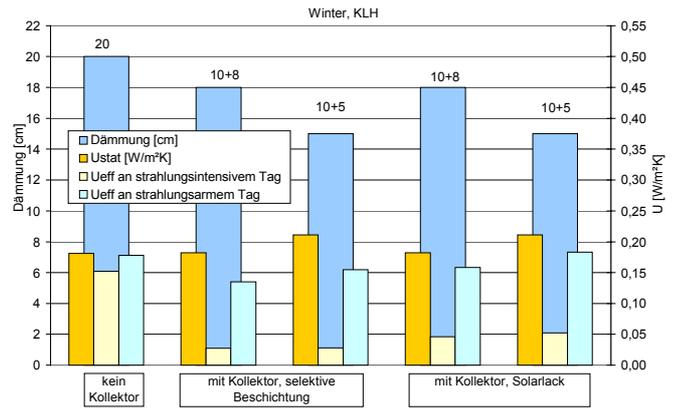


Abbildung 4.22: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen. KLH-Wand, unterschiedliche Dämmstärken

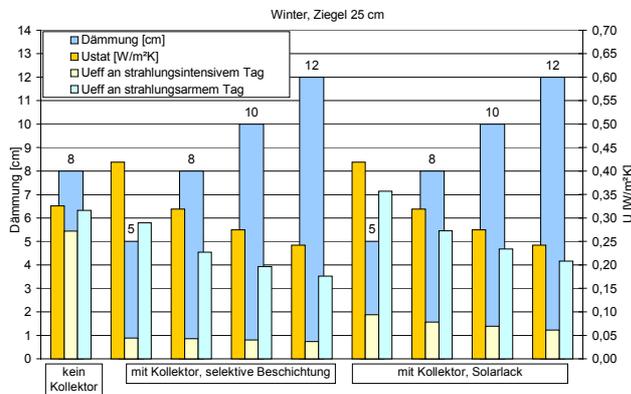


Abbildung 4.20: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen. Ziegel 25, unterschiedliche Dämmstärken

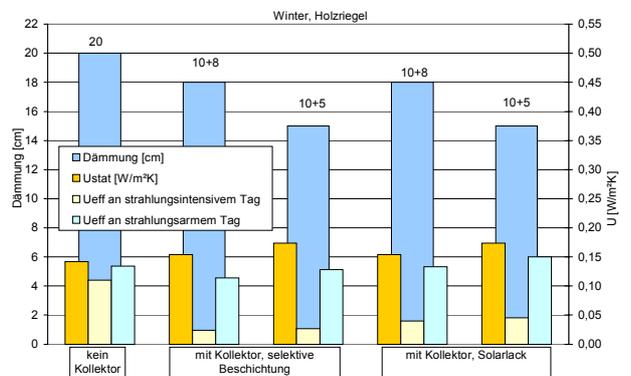


Abbildung 4.23: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen, Holzriegel-Wand, unterschiedliche Dämmstärken

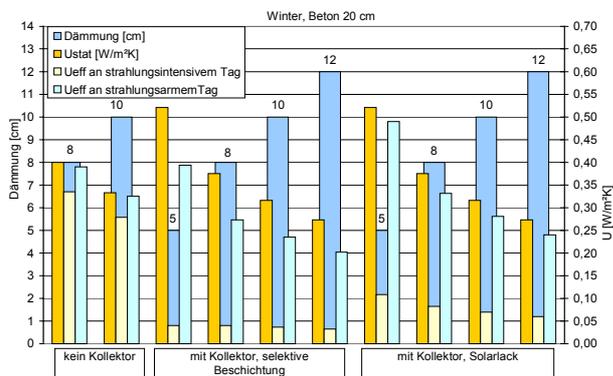


Abbildung 4.21: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen. Beton, unterschiedliche Dämmstärken

4.2.2.4.1 Temperaturprofil

Abbildung 4.24 zeigt ein typisches Beispiel für den Temperaturverlauf bei schwacher Einstrahlung im Winter in einer Massivwand (Ziegel) mit integriertem Kollektor (hier solarlackbeschichtet). Der Kollektor erwärmt sich bei einer Außentemperatur von unter -5°C auf über $+10^{\circ}\text{C}$. Dies erreicht er allein durch die diffuse Strahlung, die an diesen Tagen vorhanden ist. Dadurch wird der effektive U-Wert herabgesetzt.

Abbildung 4.25 zeigt ein typisches Beispiel für den Temperaturverlauf bei schwacher Einstrahlung im Winter in einer Leichtbauwand (KLH-Wand) mit integriertem Kollektor (hier mit Solarlack beschichtet).

Abbildung 4.26 und Abbildung 4.27 zeigen typische Temperaturverläufe in einer Massivwand und in einer Leichtbauwand mit integriertem Kollektor an einem strahlungsintensiven Tag bei durchströmtem Absorber. Man erkennt, dass der Absorber (hier solarlackbeschichtet) tagsüber maximale Temperaturen bis 60°C erreicht. Dadurch werden sehr niedrige effektive U-Werte erreicht und die Transmissionswärmeverlust signifikant verringert (siehe Tabelle 4.16).

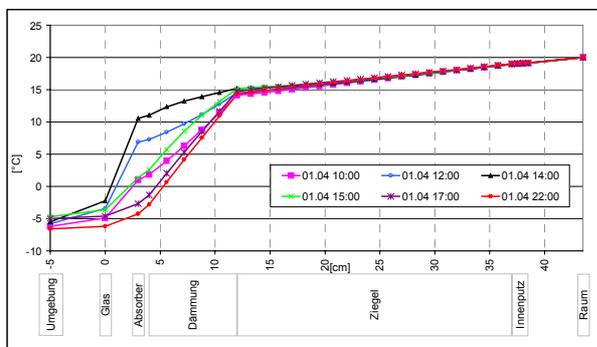


Abbildung 4.24: Temperaturverlauf im Wandaufbau, Ziegel 25, 8 cm Dämmung, ein Tag in einer Periode strahlungsarmer Wintertage

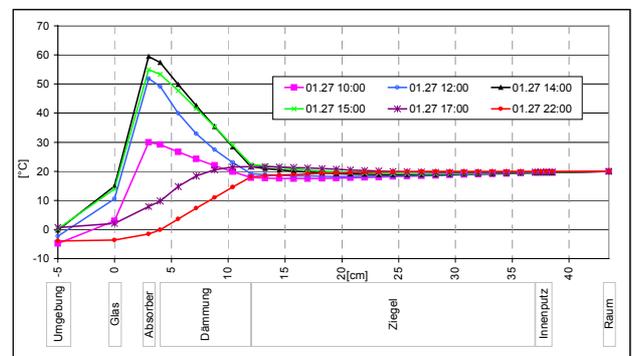


Abbildung 4.26: Temperaturverlauf im Wandaufbau, Ziegel 25, 8 cm Dämmung, ein Tag in einer Periode strahlungsintensiver Wintertage, laufende Kollektoranlage

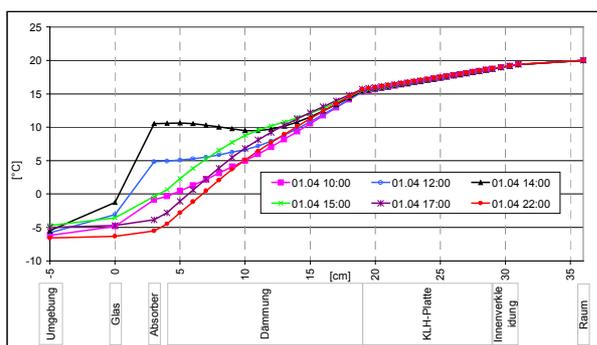


Abbildung 4.25: Temperaturverlauf im Wandaufbau, KLH-Wand, 10+5 cm Dämmung, ein Tag in einer Periode strahlungsarmer Wintertage

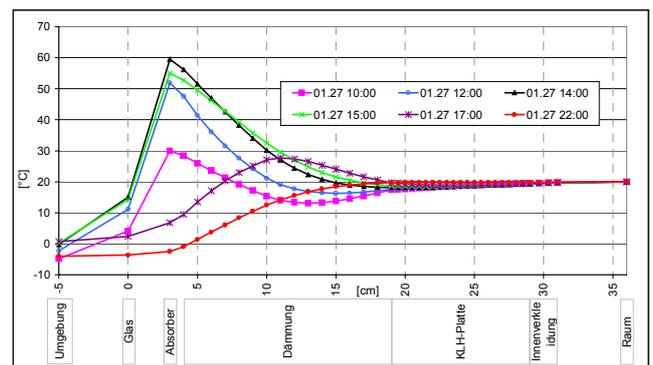


Abbildung 4.27: Temperaturverlauf im Wandaufbau, KLH, 10+5 cm Dämmung, ein Tag in einer Periode strahlungsintensiver Wintertage, laufende Kollektoranlage

4.2.2.4.2 Winterfall: Schlussfolgerungen

Das Ziel der Berechnungen des Wärmedurchgangs durch die Wandaufbauten im Winter war, die Auswirkung des fassadenintegrierten Kollektors auf die Transmissionswärmeverluste zu ermitteln. Dies kann durch den effektiven U-Wert (U_{eff}) angegeben werden. Ein niedrigerer effektiver U-Wert bedeutet geringere Transmissionswärmeverluste für das Gebäude. Tabelle 4.16 gibt sämtliche ermittelten effektiven U-Werte für eine Periode strahlungsintensiver und eine Periode strahlungsarmer Wintertage an.

Für die Ermittlung der Dämmstärke der ausgewählten Wandaufbauten mit Kollektor hat der Winterfall keine Relevanz. In jedem Fall findet durch die Direktintegration des Kollektors eine Verbesserung des effektiven U-Wertes statt, was die Transmissionswärmeverluste der Wand herabsetzt (vorausgesetzt eine wärmebrückenfreie Anbindung des Kollektors an das Gebäude). Als Kriterium für die Auswahl sind daher die sommerliche Überhitzung und die Wärmeschutzbestimmungen für Gebäude in österreichischen Bundesländern heranzuziehen (siehe Kapitel 4.2.2.3.4).

Für strahlungsintensive Wintertage wurden je nach Dämmstärke und Absorbertyp effektive U-Werte von 0,02 bis 0,1 W/m²K ermittelt. Zieht man die statischen U-Werte der Vergleichswände ohne Kollektor heran, so ergeben sich Verminderungen des Wärmeverlustes von 60% bis 90%. An strahlungsintensiven Tagen im Winter sind auch negative effektive U-Werte erreichbar, was einen Wärmestrom in den Raum und somit einen Wärmegewinn bedeutet.

Der effektive U-Wert wird als Durchschnitt von 24 Stunden nach Einstellen eines eingeschwungenen Zustandes angegeben (das heißt, es sind bereits 14 Tage mit der selben Einstrahlung vorangegangen).

Tabelle 4.16: Effektive U-Werte an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen für die untersuchten Wandaufbauten

Wand	Absorber- beschichtung	Dämmung	U_{stat}	U_{eff} strahlungs- intensiver Tag	U_{eff} strahlungs- armer Tag
		[cm]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]
Ziegel 38	kein Kollektor	0	0,340	0,284	0,335
	selektiv	5	0,250	0,025	0,182
	selektiv	8	0,210	0,025	0,156
	selektiv	10	0,190	0,024	0,142
	selektiv	12	0,174	0,022	0,130
	Solarlack	5	0,250	0,053	0,215
	Solarlack	8	0,210	0,047	0,181
	Solarlack	10	0,190	0,042	0,164
	Solarlack	12	0,174	0,039	0,150
Ziegel 25	kein Kollektor	8	0,326	0,272	0,316
	selektiv	5	0,419	0,044	0,290
	selektiv	8	0,319	0,043	0,227
	selektiv	10	0,275	0,040	0,196
	selektiv	12	0,242	0,037	0,176
	Solarlack	5	0,419	0,094	0,357
	Solarlack	8	0,319	0,078	0,273
	Solarlack	10	0,275	0,069	0,234
	Solarlack	12	0,242	0,061	0,208
Beton	kein Kollektor	8	0,400	0,335	0,390
	kein Kollektor	10	0,333	0,279	0,325
	selektiv	5	0,521	0,040	0,394
	selektiv	8	0,375	0,040	0,273
	selektiv	10	0,316	0,037	0,235
	selektiv	12	0,273	0,033	0,202
	Solarlack	5	0,521	0,108	0,490
	Solarlack	8	0,375	0,082	0,332
	Solarlack	10	0,316	0,070	0,281
KLH	kein Kollektor	20	0,181	0,152	0,178
	selektiv	18	0,182	0,027	0,135
	selektiv	15	0,211	0,028	0,155
	Solarlack	18	0,182	0,046	0,158
	Solarlack	15	0,211	0,052	0,183
Holzriegel	kein Kollektor	20	0,142	0,110	0,134
	selektiv	18	0,154	0,024	0,114
	selektiv	15	0,174	0,027	0,128
	Solarlack	18	0,154	0,040	0,133
	Solarlack	15	0,174	0,045	0,150

4.2.2.5 Schlussfolgerung aus den Wärmestromberechnungen

Ziele dieser Berechnungen des Wärmestroms durch ausgewählte Wandaufbauten mit Kollektor waren insbesondere die Identifikation von Überhitzungsproblemen bei starker Einstrahlung und die Definition von Mindestdämmstärken zur Vermeidung von Überhitzung im Sommer. Weiters wurde der Einfluss der Solarerträge auch bei nicht durchströmtem Absorber auf die Transmissionswärmeverluste im Winter untersucht.

Für die Ermittlung der optimalen Dämmstärke eines Wandaufbaus mit fassadenintegriertem Kollektor ist das Verhalten im Sommer im Bezug auf Überhitzung entscheidend. Für den Sommerfall wurde die Wärmeabgabe in W/m^2 der Wände mit und ohne Kollektor an den dahinterliegenden Raum ermittelt. Davon abgeleitet konnte die Temperaturerhöhung eines Raumes mit Kollektor in der Außenwand im Vergleich zu einem Raum ohne Kollektor ermittelt werden. Als Kriterium zur Ermittlung der Dämmstärken für die Wandaufbauten mit Kollektor wurde festgelegt, dass eine Temperaturerhöhung von 1 K im Vergleich zu einem Raum ohne Kollektor nicht überschritten werden soll.

Die Auswahl der Dämmstärke zielte bei den Leichtbauwänden (KLH-Wand, Holzriegelwand) darauf ab, das Kollektorelement in den Wandaufbau versenkbar zu gestalten. Daher wurde bei diesen Wandaufbauten mit Kollektor weniger Dämmstärke gewählt, als bei den Vergleichswänden ohne Kollektor. Diese Ersparnis kann vom wirtschaftlichen Standpunkt dem Kollektor gutgeschrieben werden.

Tabelle 4.13 enthält die ausgewählten Dämmstärken für die berechneten Wandaufbauten mit Kollektor. Die Differenzen der Temperaturen in den Räumen mit und ohne Fassadekollektor davor liegen für die Wandaufbauten mit den ausgewählten Dämmstärken zwischen 0,28 und 0,98 K. Somit sind sie unkritisch in Bezug auf sommerliche Überhitzung!

Vergleichsrechnungen mit einem Simulationsprogramm zur Auslegung von Solaranlagen [Lit 8] haben gezeigt, dass Fassadenkollektoren im Sommer üblicherweise nicht in Stagnation gehen, da der Sonneneinstrahlungswinkel zu dieser Jahreszeit zu steil ist. Daher wurde der Stagnationsfall für die Übergangszeit (Sommer/Winter) berechnet, wenn die Einstrahlung in die Vertikale durch den flacheren Einfallswinkel der Sonne bereits stark erhöht ist, jedoch nur wenig Heizenergie aus dem Energiespeicher benötigt wird. Im Stillstand wurde für einen Kollektor mit Solarlack eine Kollektortemperatur von $120^{\circ}C$ und für einen selektiven Kollektor eine Kollektortemperatur von $195^{\circ}C$ ermittelt. Für eine 25er Ziegelwand mit 8 cm Dämmung und Kollektor wurde eine Temperaturerhöhung der Luft im Raum mit Kollektor gegenüber dem Raum ohne Kollektor von 1,3 K ermittelt (bei selektivem Kollektor: $3^{\circ}K$). Dieser Effekt ist in der Übergangszeit jedoch erwünscht, da bereits ein gewisser Heizenergiebedarf besteht. Im Sommer geht ein Kollektor in der Fassade außer bei Betriebsstörungen üblicher Weise nicht in Stagnation (siehe oben). Außerdem sind die Stagnationstemperaturen aufgrund des steilen Einstrahlungswinkels in die Fassade geringer, als in den Übergangszeiten.

Für den Winterfall konnte in jedem betrachteten Fall eine Verbesserung des effektiven U-Werts gegenüber einem Wandaufbau ohne Kollektor ermittelt werden (siehe Tabelle 4.16). Selbst wenn die Einstrahlung sehr gering ist (nur Diffusstrahlung), verbessert sich der effektive U-Wert im Durchschnitt um ca. 20% für die Wandaufbauten mit den ausgewählten Dämmstärken! Bei starker Einstrahlung wurden mittlere effektive U-Werte abhängig vom Wandaufbau von lediglich 0,06 bis 0,09 W/m^2K ermittelt. Zeitweise sind negative mittlere effektive U-Werte erreichbar, was nicht nur eine Herabsetzung der Wärmeverluste des Hauses durch Transmission, sondern sogar einen geringen Energiegewinn bedeutet!

Durch direkt integrierte Fassadenkollektoren sind keine negativen Auswirkungen auf das Raumklima bzw. den Komfort in den Räumen „hinter“ einem Fassadenkollektor durch eine Überhitzung im Sommer zu erwarten.

4.2.2.6 Auswirkung von Wärmebrücken

Eine Wandkonstruktion sollte so konzipiert werden, dass eine Minimierung der Energieverluste nach außen stattfindet. Es ist daher bei der Art der Materialien der Außenwand und des

Kollektors, sowie deren Befestigungsmittel darauf im besonderen Rücksicht zu nehmen. Wärmebrücken in der Gebäudehülle bewirken unter Umständen eine erhebliche Erhöhung der Transmissionswärmeverluste und können außerdem zu Feuchteschäden durch Kondensation führen.

Durch die Anbringung von Befestigungsmitteln entstehen materialbedingte Wärmebrücken, d.h. thermische Schwachstellen in der Außenhülle. Die Auswirkung der stoffbedingten Wärmebrücke ist umso größer, je unterschiedlicher die Wärmeleitfähigkeiten benachbarter Stoffe sind. Entscheidend für die Höhe der Wärmeverluste durch Befestigungselemente ist die Anzahl dieser je Fläche.

Die Auswirkung von Wärmebrücken bei der Befestigung von Fassadenkollektoren wurde anhand der errichteten Testanlagen untersucht. Die Befestigung eines Fassadenkollektors auf einem Leichtbau ist in Kapitel 7.1.2 und die Befestigung eines Fassadenkollektors auf einem Massivbau in Kapitel 7.2.2 erläutert.

4.2.2.7 Experimentelle Untersuchungen zum Wärmetransport

Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen zum Wärmetransport in Wandaufbauten mit integriertem Fassadenkollektor sind in Kapitel 7 angeführt. Es wurden die Temperaturen und der Wärmestrom eines Wandaufbaus in Leichtbauweise und eines Wandaufbau in Massivbauweise jeweils mit integriertem Fassadenkollektor vermessen, um das unterschiedliche Verhalten des Systems Kollektor/Wand zu erfassen.

4.3 Bautechnische Aspekte

Für die Errichtung von Fassadenkollektoranlagen, insbesondere in mehrgeschossiger Ausführung gelten grundlegend andere bautechnische Anforderungen, als bei der Aufdachmontage oder Dachintegration von thermischen Kollektoranlagen. Daher wurde vor der Konzeptionierung des Fassadenkollektors alle für diesen Bauteil bzw. für Glasfassaden in Frage kommenden Bauvorschriften, Normen sowie Brand- und Schallschutzanforderungen erhoben und auf ihre Anwendbarkeit auf Fassadenkollektoren überprüft und dokumentiert. Inhaltlich wurde dabei den wärme- und schallschutztechnischen Aspekten sowie den brandschutztechnischen Aspekten das Hauptaugenmerk gewidmet.

Die Ergebnisse der Literaturerhebung lassen sich nicht in der Form zusammenfassen, dass Vorgaben für einen Fassadenkollektor gegeben werden können, die jeder Bauordnung der Bundesländer und allen Normen und Richtlinien entsprechen. Der Grund liegt vor allem in den Brandschutzbestimmungen, wo einzelne Bundesländer die Einbeziehung von Brandschutzsachverständigen zwingend vorgeschrieben haben.

Detaillierte Ausführungen zum Baurecht – die kompetenzrechtliche Situation, zu den baurechtlichen Bestimmungen der Bundesländer, die Bestimmungen der ÖNORMEN, die Bestimmungen diverser Richtlinien und der Sicherheit von Fassadenverankerungen sind im Anhang 3 enthalten und entsprechen dem Stand der Erhebungen im Jahr 2000.

4.4 Solartechnische und systemtechnische Aspekte

Generell ist es bei der Einbindung von Kollektoren in der Fassade von Vorteil, wenn diese eine möglichst einfache hydraulische Verschaltung haben.

Um den Verrohrungsaufwand so gering wie möglich zu halten, sollte daher der hydraulischen Verschaltung des Kollektorfeldes besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Im Folgenden werden hydraulische Verschaltungen von Kollektorfeldern in der Fassade dargestellt [Lit 10]. Diese sind von der Betriebsart der Solaranlage abhängig. Generell werden diese durch den Massenstrom des Wärmeträgermediums durch den Kollektor in Low Flow und High Flow Anlagen unterschieden, die jeweils eine andere hydraulische Verschaltung

des Kollektors erfordern. Die Verschaltung von Low Flow Anlagen hat den Vorteil, dass durch große hydraulische Rohrlängen ein geringer Verschaltungsaufwand erforderlich ist, was Fassadenkollektoranlagen generell entgegenkommt.

4.4.1 Betriebsarten von Solaranlagen

4.4.1.1 Low Flow und High Flow Anlagen

„Konventionell“ betriebene Solaranlagen werden mit spezifischen Kollektormassenströmen von 35–70 kg/m²h betrieben (High Flow Anlagen). Die Temperaturdifferenz zwischen Kollektorvorlauf und Kollektorrücklauf liegt dabei unter 15 K. Die Speichertemperatur wird, gleichmäßige Einstrahlung vorausgesetzt, bei jedem Kollektordurchlauf etwas erhöht. Das erwünschte Temperaturniveau wird relativ langsam erreicht.

Durch die Kollektoren von Low Flow Anlagen fließen wesentlich geringere spezifische Kollektormassenströme von etwa 8–18 kg/m²h. Dadurch wird ein deutlich größerer Temperatursprung zwischen Kollektorvorlauf und Kollektorrücklauf erreicht. Das mit diesem geringeren Durchfluss erreichte Temperaturniveau soll sofort Nutztemperatur haben und für den Verbraucher unmittelbar zur Verfügung stehen. Um diese rasche Verfügbarkeit der Energie zu erhalten, ist es notwendig, in Low Flow Anlagen die Speicher temperaturorientiert zu be-laden.

Folgende Vorteile können durch Low Flow bei entsprechender Hydraulik und richtig dimensi-onierten Anlagenkomponenten erwartet werden:

1. Bei Low Flow Anlagen ergibt sich aufgrund der vergleichsweise geringeren Volumen-ströme ein geringerer Verrohrungsaufwand und damit niedrigere Kosten.
2. Die thermischen Rohrleitungsverluste fallen durch die Verwendung dünnerer Rohre mit spezifisch kleinerer Oberfläche geringer aus.
3. Eine Einsparung ergibt sich auch durch kleinere elektrische Pumpleistungen.
4. Die Systemtechnik, kann durch die Verwendung von selbstregelnden, temperaturorien-tierten Speicherladesystemen, sehr einfach gehalten werden.
5. Durch das dynamische Verhalten von richtig dimensionierten Low Flow Anlagen verringert sich der Nachheizbedarf.

Häufig werden Low Flow Systemen im Vergleich zu High Flow Systemen höhere Kollektor-mitteltemperaturen und somit geringere Kollektorwirkungsgrade berechtigt nachgesagt. Be-trachtet man eine überdimensionierte Low Flow Anlage, bei der die aus dem Speicher ent-nommene Wassermenge im täglichen Durchschnitt kleiner als der Gesamtdurchsatz durch den Kollektor ist, kann dessen Rücklauftemperatur nicht niedrig genug gehalten werden, der Kollektorwirkungsgrad sinkt und liegt unter dem einer vergleichbaren High Flow Anlage. E-benso tritt eine Kollektorwirkungsgradminderung bei reinen, Low Flow betriebenen Vor-wärmanlagen (geringer solarer Deckungsgrad, hoher spezifischer Kollektorsertrag) auf. Der Kollektorrücklauf der vergleichbaren High Flow Anlage erhält durch ständige Entnahmen aus dem Speicher immer kaltes Medium, erreicht dadurch aufgrund der geringeren Temperatur-höhe kleinere Kollektormitteltemperaturen und somit einen höheren Kollektorwirkungsgrad als eine Low Flow Anlage.

Diese Beispiele zeigen deutlich, dass durch falsche Dimensionierung und Hydraulik von Low Flow Anlagen ein durchschnittlich geringerer Kollektorwirkungsgrad und somit Ertrags-nachteile bewirkt werden können.

M. Mack und C. Fünfgeld [Lit 11] formulieren zum Vergleich des Kollektorwirkungsgrades für stationäre Zustände einen recht übersichtlichen Ansatz, der in Abbildung 4.28 dargestellt wird.

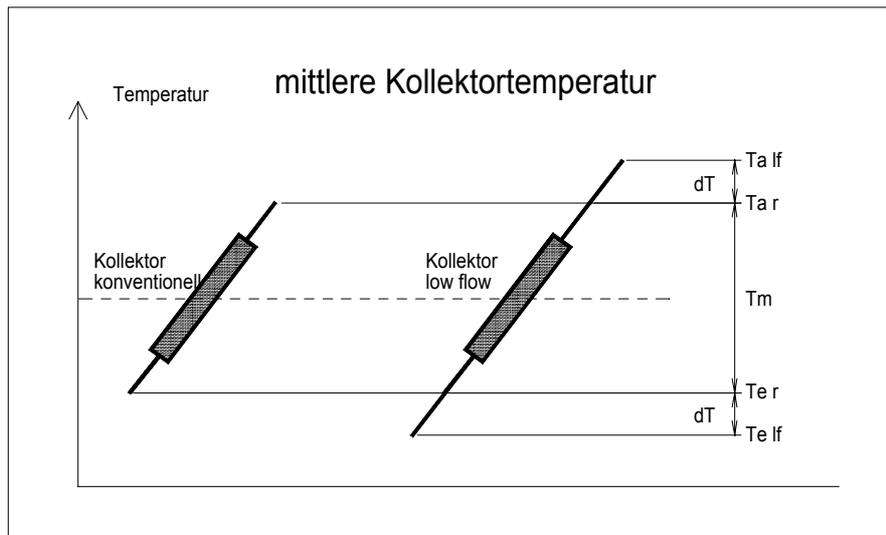


Abbildung 4.28: Darstellung der mittleren Kollektortemperatur

Gleichung 4.1

$$dT = \frac{T_{a,r} - T_{e,r}}{2} \left(\frac{\dot{m}_r}{\dot{m}_{lf}} - 1 \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\dot{Q}_r}{\dot{m}_r \cdot c_p} \cdot \left(\frac{\dot{m}_r}{\dot{m}_{lf}} - 1 \right)$$

darin bedeuten:

dT	erforderlicher Temperatursprung für vergleichbare mittlere Kollektortemperatur
$T_{a,r}$	Austrittstemperatur des Referenzkollektors (konventionell betrieben)
$T_{e,r}$	Eintrittstemperatur des Referenzkollektors (konventionell betrieben)
$T_{a,lf}$	Austrittstemperatur des im Low Flow betriebenen Kollektors
$T_{e,lf}$	Eintrittstemperatur des im Low Flow betriebenen Kollektors
T_m	mittlere Kollektortemperatur
$\frac{\dot{m}_r}{\dot{m}_{lf}}$	Verhältnis der jeweiligen Massenflüsse
$\frac{\dot{Q}_r}{\dot{m}_r \cdot c_p}$	Verhältnis Leistung zu Wasserwert des Referenzkollektors

dT ist die Temperaturdifferenz, um die der Rücklauf des Low Flow Kollektors tiefer liegen muss als die des konventionellen Kollektors, damit die mittlere Kollektortemperatur, also auch der Wirkungsgrad des Kollektors, vergleichbar hoch ist. Wenn man davon ausgeht, dass die Speicher am Morgen unter gleichen Ausgangsbedingungen betrachtet werden, ist der Low Flow Kollektor im Wirkungsgradnachteil bis der High Flow Kollektor die mittlere Speichertemperatur um dT angehoben hat. Ab diesem Zeitpunkt ist der Low Flow Kollektor im Vorteil, bis der Speicher voll durchgeladen ist.

Unter den Vorteilen von Low Flow kann die Möglichkeit der Senkung der Installationskosten durch den geringen Verrohrungsaufwand und der reduzierten Pumpleistung bei Anlagengrößen durchschnittlicher Raumheizungsanlagen als wesentlichster Vorteil gegenüber High Flow gesehen werden.

4.4.1.2 Matched Flow

Sogenannte Matched Flow Systeme kombinieren die Vorteile von High Flow und Low Flow Systemen. Dabei wird der Massenstrom über eine Drehzahlregelung entsprechend Strahlungsangebot, Energieinhalt des Speichers und Verbrauchsanforderungen definiert. Um den

günstigsten Betriebszustand zu definieren, spielt bei einigen am Markt angebotenen Systemen der erreichte Kollektorwirkungsgrad als Regelgröße eine wichtige Rolle. Durch solche, meist aufwendige Regelungen ist man in der Lage, ein nahezu optimales Speicheranagement unter ständiger Berücksichtigung des Kollektorwirkungsgrades zu betreiben, d.h. mit Low Flow auf Temperatur, mit High Flow auf Energie.

Tabelle 4.17 zeigt die Überlagerung von Matched Flow mit den üblichen High Flow und Low Flow Massenströmen.

Tabelle 4.17: Spezifische Massenströme für High-, Low- und Matched Flow Systeme

Bezeichnung	spez. Massenstrom
High Flow	35 - 70 kg/m ² h
Matched Flow	8 - 70 kg/m ² h
Low Flow	8 - 18 kg/m ² h

4.4.2 Hydraulische Verschaltung von Kollektorfeldern

Die hydraulische Verschaltung eines Kollektorfeldes unterliegt, egal ob Low Flow oder High Flow - nicht nur dem Gesichtspunkt eines möglichst guten Wärmeüberganges zwischen Absorber und Wärmeträger, sondern auch den entstehenden Druckverlusten [Lit 10].

Da die Wärmeübergangszahl, für welche die Nußeltzahl maßgebend ist, im laminaren Strömungszustand um etwa eine Größenordnung kleiner ist als im turbulenten, sollte bei der Erstellung des Verrohrungs- und Durchströmungsplanes ein möglichst häufig turbulenter Strömungszustand über den Betriebsbereich des Kollektors angestrebt werden. Der Strömungszustand, ausgedrückt durch die Reynoldszahl, wird als Verhältnis von Trägheitskräften des Mediums zu Zähigkeitskräften desselben wie folgt definiert:

Gleichung 4.2

$$Re = \frac{c \cdot L}{\nu}$$

Re	Reynoldszahl (laminare Strömung $Re < 2320 < Re$ turbulente Strömung)	
c	Strömungsgeschwindigkeit im Kanal	[m/s]
L	Charakteristische Länge In Strömungskanälen wird die charakteristische Länge vom hydraulischen Durchmesser dargestellt. Dieser ist bei kreisrunden Kanälen der Innendurchmesser, bei nicht kreisrunden Kanälen ein Verhältnis aus Kanalquerschnitt zum Kanalumfang und kann wie folgt ermittelt werden:	[m]
$d_h = \frac{4 \cdot A}{U}$	Hydraulischer Durchmesser bei nicht kreisrunden Strömungskanälen	[m]
A	Querschnitt des durchströmten Kanals	[m ²]
U	Umfang des durchströmten Kanals	[m]
$\nu = \frac{\eta}{\rho}$	Kinematische Zähigkeit	[m ² /s]
η	Dynamische Zähigkeit	[kg/ms]
ρ	Dichte des Mediums	[kg/m ³]

Aufgrund der im turbulenten Strömungszustand auftretenden Querbewegungen der Mediumsteilchen ist der Druckverlust höher als im laminaren Strömungszustand. Zusätzlich ist die Zähigkeit stark temperaturabhängig und wird bei Flüssigkeiten, im Gegensatz zu Gasen, bei steigender Temperatur kleiner. Dadurch kann im allgemeinen ein turbulenter Strömungszustand bei tiefen Kollektortemperaturen nur in Verbindung mit sehr großen Druckverlusten erreicht werden.

Nachfolgend werden für ein dachintegriertes Kollektorfeld mit ca. 40 m² Bruttokollektorfläche in Abbildung 4.29 und Abbildung 4.31, eine High- bzw. eine Low Flow Hydraulikvariante, und damit die wesentlichen hydraulischen Unterschiede, gezeigt. Um die Arbeiten auf der Bau-

stelle zu vereinfachen und die Montagezeiten gering zu halten, werden vielfach von den Anbietern vorgefertigte Absorberelemente in fixen Abmessungen angeboten. Durch die Verwendung solcher Bausätze können die Kollektorkosten reduziert werden.

Durch die verwendeten Absorberelemente ergibt sich in diesem Beispiel eine Nettoabsorberfläche von 37,03 m². Das Abdeckscheibenformat wurde hier mit 2x1 m festgelegt. Mit dem Simulationsprogramm zur Optimierung von Solarsystemen, Kollektor/Speicher/Rohrnetz [Lit 12] wurde für beide Verschaltungen der Kollektorwirkungsgradverlauf über der mittleren Fluidtemperatur ermittelt. Um die Ergebnisse der beiden Verschaltungsvarianten trotz der unterschiedlichen Hydrauliksituationen miteinander vergleichen zu können, wurden gleiche mittlere Kolleortemperaturen angestrebt.

Folgende Parameter wurden der Simulation zugrunde gelegt:

- Kolleortestergebnis des zugrundegelegten, konventionellen Flachkollektors mit selektiven Absorbern, Finnenbreite 143 mm, Rohrinnendurchmesser 8,25 mm
 $c_0 = 0,739$
 $c_1 = 3,45 \text{ [W/m}^2\text{K]}$
 $c_2 = 0,0115 \text{ [W/m}^2\text{K}^2]$
 Die Kollektorprüfung erfolgte bei sehr niedrigen Reynoldszahlen, also im laminaren Strömungszustand.
- Identische Einbausituation und identisches Absorberelement für die beiden neu definierten Kollektorschaltungen wie beim Prüfkollektor
- Eine Umgebungstemperatur von 20°C
- Eine Einstrahlung von 800 W/m²
- Eine spezifische Durchflussmenge von 15 kg/m²h für Low Flow und 55 kg/m²h für High Flow
- 35% Ethylenglykol im Wärmeträger

4.4.2.1 High Flow Kollektorschaltung

Kennzeichnend für eine High Flow Verschaltung sind angepasst an die Absorbergeometrie, eine geringe thermische Länge sowie eine große Anzahl paralleler Stränge. Die thermische Länge ist der Weg, den der Wärmeträger vom Eintritt in den Kollektor bis zum Austritt zurücklegen muss. Daraus resultiert in Kombination mit den für High Flow üblichen hohen Massenströmen ein geringer Temperaturhub innerhalb eines Kollektordurchlaufs.

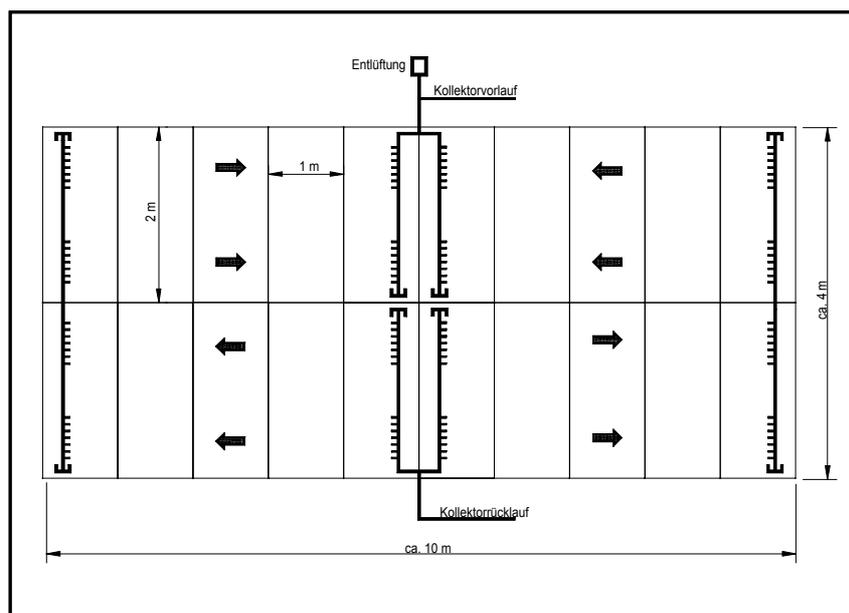


Abbildung 4.29: Beispiel einer typischen High Flow Verschaltung mit marktüblichen Absorberelementen

Abbildung 4.30 zeigt die Wirkungsgradkennlinie des Prüfkollektors (tiefer liegende Kennlinie) und die durch Zugrundlegung der Messergebnisse errechnete Kollektorwirkungsgradlinie speziell für obige Verschaltung. Deutlich zu erkennen ist die theoretische Wirkungsgradsteigerung für die neu definierte Kollektorverschaltung infolge des Umschlags zwischen laminarer und turbulenter Strömung bei ca. 51°C.

Die Nachrechnung des Prüfkollektors dieses Beispiels zeigte, dass während des Prüfvorganges über den gesamten Temperaturbereich ausschließlich laminarer Strömungszustand vorherrschte. Auch eine Vielzahl anderer marktüblicher Kollektoren werden mit strömungstechnisch nicht optimierten Verschaltungen betrieben und somit der turbulente Strömungszustand nicht erreicht. Durch Optimierung der hydraulischen Verschaltung und Anpassung des Massenstromes an diese, ergibt sich im Vergleich zum Prüfkollektor eine günstigere Kollektorwirkungsgradkennlinie.

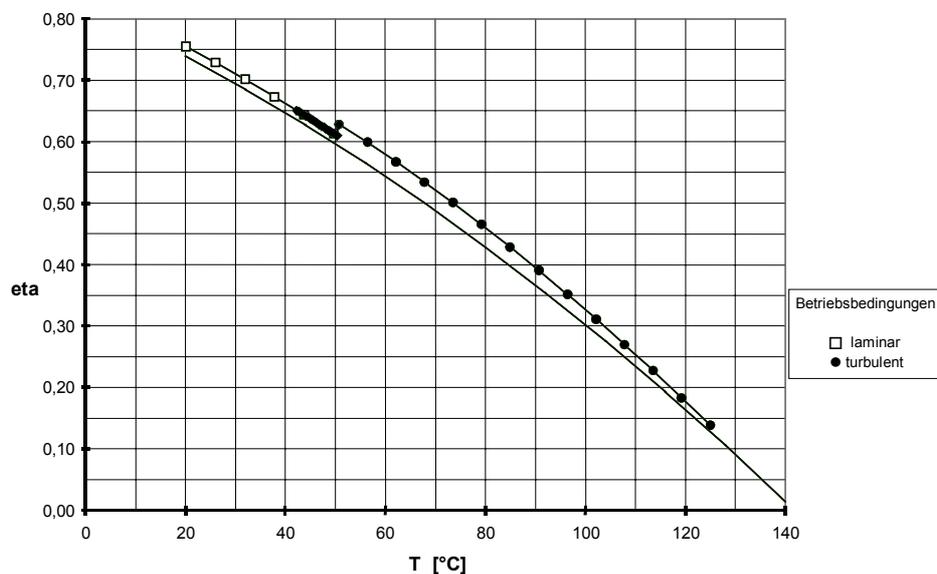


Abbildung 4.30: Wirkungsgradverlauf des im High Flow betriebenen Kollektorfeldes über der mittleren Fluidtemperatur (800 W/m^2 , 20°C Umgebungstemperatur) im Vergleich zur gemessenen Kennlinie des Prüfkollektors (tiefer liegende Kennlinie).

Die Anhäufung der fetten Quadrate stellt die gerechneten Punkte für einen Kollektordurchgang bei 42°C Kollektoreintritts- und 51°C Austrittstemperatur dar. Die sich daraus ergebende Temperaturdifferenz von 9 K, bei einer Einstrahlung von 800 W/m^2 ist typisch für einen High Flow Betrieb mit zugrunde gelegter thermischen Absorberlänge von 9,6 m und der gegebenen Absorbergeometrie. Die mittlere Kollektortemperatur beträgt damit 46,5 K. Der Druckverlust über das gesamte Kollektorfeld, einschließlich des Druckverlustes verursacht durch Sammler, Zu- und Ableitungen sowie Verbindungsleitungen zwischen den Elementen, beträgt bei beschriebener Temperatursituation und einem Gesamtmassenstrom von 2037 kg/h 6000 Pa (entspricht $0,6 \text{ mWS}$).

4.4.2.2 Low Flow Kollektorverschaltung

Mit der Bezeichnung Low Flow geht oft der Irrtum einher, den konventionell verschalteten Kollektor einfach mit einer kleineren Durchflussrate als üblich betreiben zu können, um hohe Kollektoraustrittstemperaturen zu erreichen. Vielfach werden die strömungstechnischen Verhältnisse im Kollektor außer acht gelassen, was bei üblichen Absorbersystemen zu unnötigen Ertragsminderungen von Solaranlagen führt. Kennzeichnend für eine Low Flow Verschaltung sind, angepasst an die Absorbergeometrie, eine vergleichsweise große thermische Länge sowie eine geringere Anzahl paralleler Stränge. Daraus resultiert in Kombination

mit den für Low Flow üblichen niedrigen Massenströmen ein großer Temperaturhub innerhalb eines Kollektordurchlaufs.

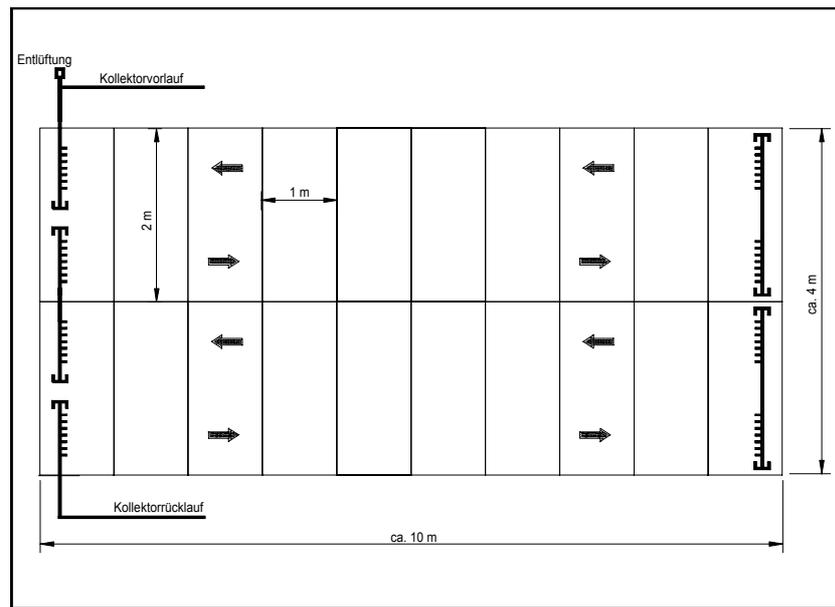


Abbildung 4.31: Beispiel einer typischen Low Flow Verschaltung mit marktüblichem Streifen-system

Abbildung 4.32 zeigt wiederum die Wirkungsgradkennlinie des Prüfkollektors (tiefer liegende Kennlinie) und die durch Zugrundlegung der Messergebnisse errechnete Kollektorwirkungsgradlinie speziell für obige Low Flow Verschaltung. Durch Anpassung der hydraulischen Verschaltung an die Betriebsart Low Flow ergibt sich wie vorhin bei High Flow gegenüber dem Prüfkollektor eine günstigere Kollektorkennlinie für die neu definierte Kollektorverschaltung.

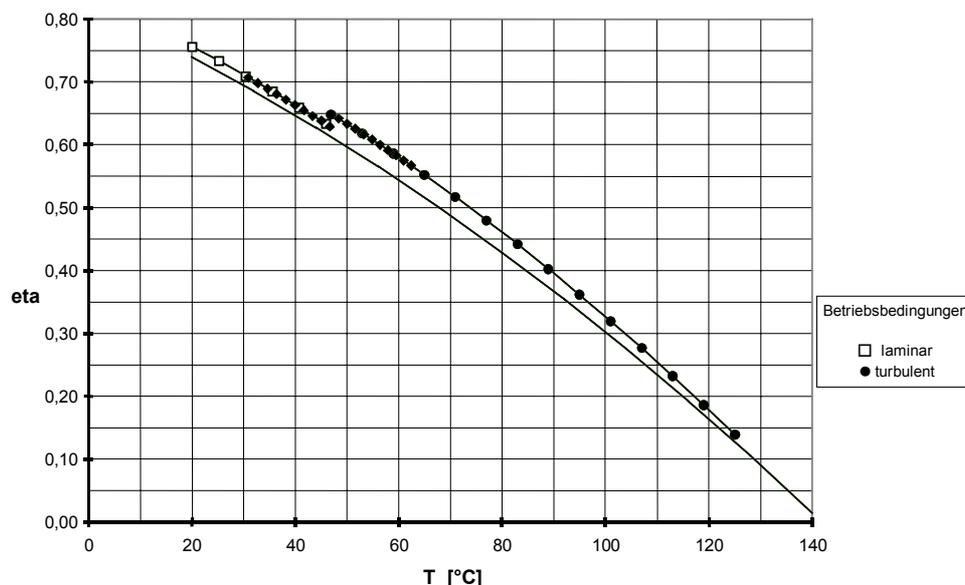


Abbildung 4.32: Wirkungsgradverlauf des im Low Flow betriebenen Kollektorfeldes über der mittleren Fluidtemperatur (800 W/m^2 , 20°C Umgebungstemperatur) im Vergleich zur gemessenen Kennlinie des Prüfkollektors (tiefer liegende Kennlinie).

Der Strömungsumschlag zwischen laminarer und turbulenter Strömung erfolgt hier schon bei 47°C . Die Anhäufung der fetten Quadrate stellt die gerechneten Punkte für einen Kollektor-

durchgang bei 30°C Kollektoreintritts- und 63°C Austrittstemperatur dar. Der Temperaturhub beträgt somit bedingt durch die für Low Flow und der zugrundegelegten Absorbergeometrie üblichen thermischen Länge von 38,4 m und eines spezifischen Massenstroms von 15 kg/m²h 33 K. Die mittlere Kollektortemperatur beträgt wie schon bei High Flow 46,5 K.

Der Druckverlust über das gesamte Kollektorfeld, einschließlich des Druckverlustes verursacht durch Sammler, Zu- und Ableitungen sowie Verbindungsleitungen zwischen den Elementen, beträgt bei beschriebener Temperatursituation und einem Gesamtmassenstrom von 555 kg/h 17200 Pa (entspricht 1,72 mWS).

4.4.2.3 Vergleich der Kollektorförderleistungen

Die Güte einer Kollektorverschaltung wird zum einen von der erreichten thermischen Kollektorleistung und zum anderen von der benötigten Kollektorförderleistung bestimmt. Die notwendige Kollektorförderleistung hängt nun nicht nur vom Druckverlust, sondern auch vom gewünschten Massenstrom ab und wird wie folgt errechnet:

Gleichung 4.3

$$P_{\text{koll.}} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta p_{\text{koll.}}}{\rho \cdot 3600}$$

$P_{\text{koll.}}$	Kollektorförderleistung oder hydraulische Leistung	[W]
\dot{m}	Massenstrom	[kg/h]
ρ	mittlere Dichte des Mediums	[kg/m ³]
$\Delta p_{\text{koll.}}$	Druckverlust im Kollektor	[Pa]

Die mittlere Dichte beträgt für ein Wasser-Frostschutzgemisch mit 35% Ethylenglykol bei einer mittleren Kollektortemperatur von 46,5 K 1039 kg/m³. Setzt man jetzt Massenstrom und Druckverlust der beiden Verschaltungsbeispiele ein, erhält man die dazugehörigen Kollektorförderleistungen.

$$\text{High Flow: } P_{\text{koll.}} = \frac{2037 \cdot 6000}{1039 \cdot 3600} = 3,27 \text{ W}_{\text{hydraulisch}}$$

$$\text{Low Flow: } P_{\text{koll.}} = \frac{555 \cdot 17200}{1039 \cdot 3600} = 2,55 \text{ W}_{\text{hydraulisch}}$$

Die Förderleistung für das Low Flow Feld liegt, bei praktisch gleicher thermischer Leistung mit 2,55 W um 22% unter der Förderleistung für das High Flow Feld. Trotz des wesentlich höheren Druckverlustes bei Low Flow, ist die aufzuwendende elektrische Leistung schon im Kollektor niedriger als bei High Flow. Fortgesetzt über die übrigen Anlagenkomponenten ergibt sich für Low Flow, wie schon in Kapitel 4.4.1.1 angeführt, bei größeren Anlagen eine wesentlich geringere Förderleistung.

Die Ergebnisse dieser beiden Beispiele zeigen aber, wie gering die benötigte elektrische Leistung ist, um ein Kollektorfeld mit 40 m² Bruttokollektorfläche mit hundertprozentigem Pumpenwirkungsgrad zu betreiben. Übernimmt man Druckverlust und Massenstrom in ein Pumpendiagramm, ist sehr bald zu erkennen, dass für den gewünschten Betriebspunkt nur Pumpen mit wesentlich höherer elektrischer Leistungsaufnahme in Frage kommen, da der Pumpenwirkungsgrad von Kreiselpumpen in den üblichen Betriebspunkten von Solaranlagen (große Förderhöhe, verhältnismäßig kleine Massenströme) sehr gering ist.

Vor allem bei Low Flow Systemen werden aus diesem Grund von einigen Anbietern schon Alternativen zu Kreiselpumpen (Drehschieberpumpen, Membranpumpen) eingesetzt.

4.4.2.4 Thermische Rohrlänge bei Low Flow Betriebsweise

Bei der Planung von Anlagen in Low Flow Betriebsweise mit fassadenintegrierten Sonnenkollektoren muss darauf geachtet werden, dass die notwendige thermische Rohrlänge eingehalten werden kann.

Bei einer Low Flow oder Matched Flow Betriebsweise des Kollektors werden mit einem Umlauf des Wärmeträgers hohe Temperaturdifferenzen erreicht. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass diese Betriebsweise einen geeigneten Verrohrungs- und Durchströmungsplan (siehe Kapitel 4.4.2.2) benötigt.

Kennzeichnend für eine Low Flow Verschaltung sind, angepasst an die Absorbergeometrie, eine große thermische Länge sowie eine geringe Anzahl paralleler Stränge. Die thermische Länge des Kollektors ist direkt abhängig von dem gewählten Durchmesser der Rohre. Bei einem Rohrdurchmesser von 7 mm ergibt sich eine notwendige thermische Rohrlänge von 20 bis 25 m. Um die nötige thermische Länge bei Low Flow Betriebsweise zu erreichen werden die Felder seriell durchströmt.

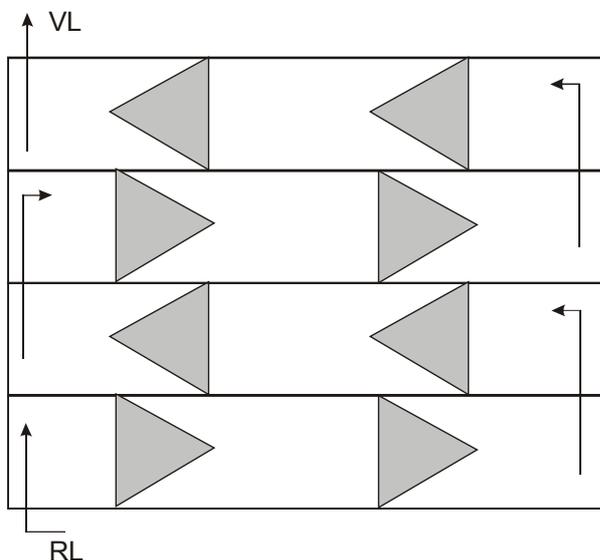


Abbildung 4.33: Low Flow Verschaltung, horizontal angeordnete Rohre

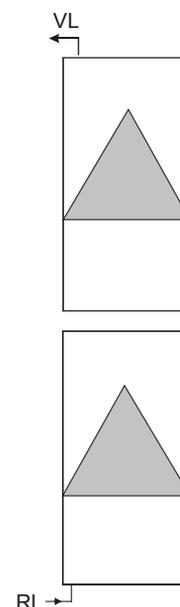


Abbildung 4.34: Low Flow Verschaltung, vertikal angeordnete Rohre

Im Sommer ist durch den flachen Einfallswinkel der Sonnenstrahlen auf die Fassade nicht zu erwarten, dass die Kollektoren in der Fassade in den Stillstand gehen und sich Dampf bildet. In den Übergangszeiten ist dies jedoch nicht zur Gänze auszuschließen, wenn der Kollektor keine Wärme abführen kann. Es sollte daher darauf geachtet werden, dass bei Entstehung von Dampf Restflüssigkeit vollständig nach unten aus dem Kollektor ausgedrückt werden kann. Dies wird durch eine in Strömungsrichtung horizontale und/oder ansteigende Rohrführung erreicht (siehe Abbildung 4.33). Ist eine vertikale Anordnung der Rohre vorgesehen, so müssten die Kollektorfelder daher übereinander angeordnet werden (siehe Abbildung 4.34).

4.4.3 Speichermanagement bei Anlagen mit Fassadenkollektor

Auf Basis der durchgeführten Simulationen und bei der Erhebung von bestehenden Solaranlagen mit Fassadenkollektor wurde festgestellt, dass einige Kombianlagen außerhalb der Heizsaison den Warmwasserbedarf – trotz großer Kollektorfläche – nicht vollständig decken können.

Bei thermischen Solaranlagen zur Warmwasserbereitung gibt es keinen Unterschied in der hydraulischen Einbindung des Speichers zwischen Anlagen mit Fassadenkollektoren und Anlagen mit geneigten Kollektoren. Die gesamte aus den Kollektoren gewonnene Wärme wird über einen externen oder internen Wärmetauscher in einen Speicher eingebracht, der in Abstimmung mit der Kollektorfläche und nach dem voraussichtlichen Warmwasserbedarf dimensioniert wird. Die Nachheizung erfolgt bei Bedarf in den Warmwasserspeicher.

Bei Kombianlagen zur Warmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung gibt es zumeist einen größeren Energiespeicher für die Raumwärmeversorgung und einen kleineren Warmwasserspeicher oder eine (bzw. bei Mehrfamilienhäusern mehrere) Wärmeübertragungseinheit(en) für die Warmwasserbereitung. Dieser Energiespeicher wird entweder über einen externen Wärmetauscher mit Schichtenladern im Speicher oder durch mehrere interne Wärmetauscher, die mit Hilfe von Ventilen geregelt werden, temperaturbezogen beladen. Die Nachheizung erfolgt zumeist nur in den Energiespeicher.

Bei einer Anlage in Low Flow Betriebsweise wird mit niedrigen Massenströmen ein großer Temperaturhub innerhalb eines Kollektordurchlaufs erzielt. Das von der Solaranlage erwärmte Heizmedium wird abhängig von seiner Temperatur in den Energiespeicher eingeschichtet.

Ist nun die Solaranlage so dimensioniert, dass der Warmwasserbedarf außerhalb der Heizsaison ohne Nachheizung abgedeckt werden kann, so muss dennoch zunächst der gesamte Energiespeicher beladen werden. Um die Warmwasserbereitstellung so schnell wie möglich zu gewährleisten, wäre es aber sinnvoll, wenn im Sommer ein geringeres Speichervolumen zur Verfügung stünde.

Dies kann dadurch erreicht werden, dass durch Umschalten eines Ventils der Solarrücklauf nicht mehr aus dem untersten Bereich des Speichers, sondern aus einem Bereich mit höherer Temperatur im oberen Teil des Speichers (siehe Abbildung 4.35) entnommen wird. Das Heizungsmedium wird nun so weit erwärmt, dass vorerst nur der oberste Teil des Speichers beladen wird.

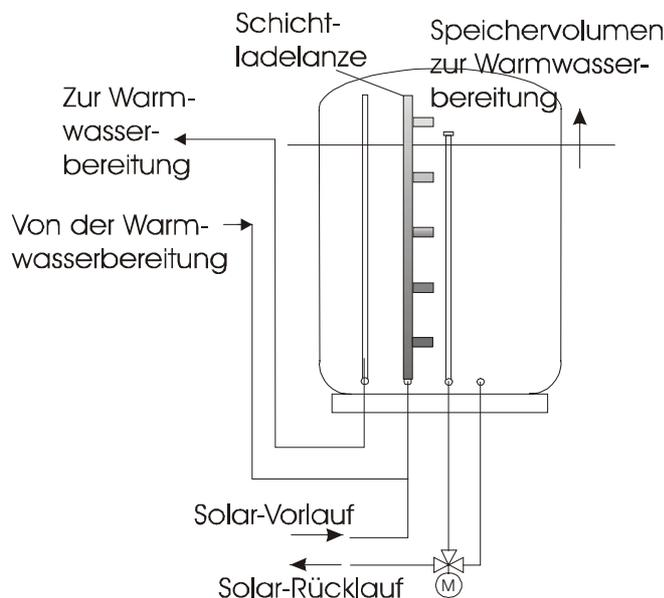


Abbildung 4.35: Speichermanagement bei Anlagen mit Fassadenkollektor. Drei-Wege-Ventil für die Umschaltung der Entnahme aus dem Speicher für den Solarrücklauf und „Teilung“ bzw. Reduzierung des Energiespeichervolumens für den Sommerbetrieb.

Bei Erreichen der Mindesttemperatur schaltet das Ventil um, und der Solarrücklauf wird wieder aus dem untersten Teil des Energiespeichers entnommen. Damit wird wieder der gesamte Energiespeicher von der Solaranlage beladen. Mit dieser Regelung wird sichergestellt, dass in den Sommermonaten die Nachheizung des Speichers auf ein Minimum reduziert wird.

Dieses Speichermanagement wurde bei der Testanlage angewandt, die ein Zweifamilienhaus mit Energie für die Raumheizung und Warmwasserbereitung versorgt („Testanlage Leichtbau“). Die Einbindung des Energiespeichers in das gesamte Hydrauliknetz der Testanlage Leichtbau ist in Kapitel 7.1 dargestellt.

5 Dimensionierung von Fassadenkollektoranlagen

Das spezifische Verhalten von Fassadenkollektoren mit ihrem relativ ausgeglichenen Einstrahlungsprofil über das Jahr wurde untersucht. Für diese Zwecke werden Anlagen zur reinen Warmwasserbereitstellung von Anlagen zur zusätzlichen solaren Raumbeheizung unterschieden.

Zunächst wurde das Einstrahlungsprofil in die Fassade erarbeitet. Weiters wurden die Auswirkung der senkrechten Kollektoranordnung auf U-Wert und Kollektoreffizienz und die Auswirkungen von Abschattungen durch Bauteile und angrenzende Gebäude untersucht und dargestellt.

Die Berechnungen der thermischen Ausbeute und des Deckungsanteils wurde mit Hilfe des Simulationsprogramms T*Sol durchgeführt [Lit 8]. Das energetische Verhalten wird auch im Vergleich zu dachmontierten Kollektoranlagen dargestellt.

5.1 Simulation und Ertragsvorhersage

5.1.1 Einstrahlungsprofil auf die Fassade

5.1.1.1 Angebot: Einstrahlung in die Fassade

Beim Fassadenkollektor steht dem energetischen Nachteil durch die geringere jährliche Globalstrahlungssumme im Vergleich zur Dachmontage ein gleichmäßiges Ertragsprofil und eine verbesserte Wärmedämmung sowohl des Kollektors, als auch des Gebäudes entgegen [Lit 13]. Die jährliche Globalstrahlungssumme in der Fassade ist um ca. 30% geringer als bei 45° geneigten Flächen.

Während bei geneigten Dachflächen in den Sommermonaten ein deutliches Maximum im Einstrahlungsprofil eintritt, weist die Einstrahlung in der Fassade in den Monaten März bis September ein sehr ausgeglichenes Profil mit geringen Unterschieden auf (siehe Abbildung 5.1).

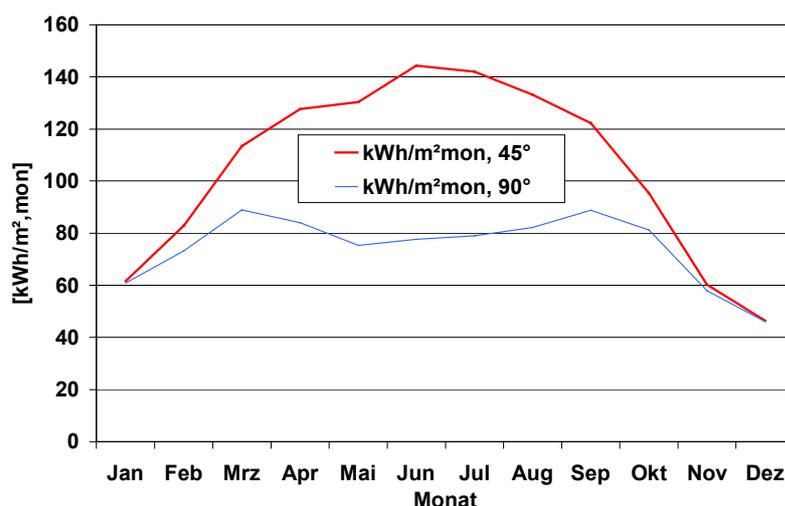


Abbildung 5.1: Jahreszeitlicher Verlauf der mittleren täglichen Strahlungssumme auf südorientierte Flächen mit 45° und 90° Neigung, Süd, Klimadaten Graz

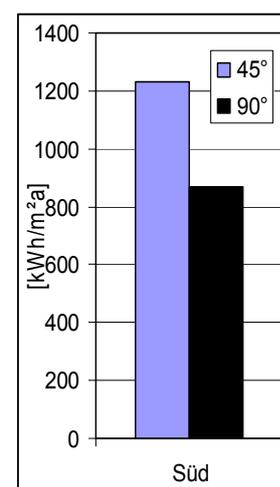


Abbildung 5.2: Jährliche Strahlungssumme auf südorientierte Flächen mit 45° und 90° Neigung (Graz)

Die gesamte auf die Fläche auftreffende Strahlung ergibt sich aus der Summe aus direkter Himmelsstrahlung, diffuser Himmelsstrahlung und Reflexionsstrahlung vom Boden auf den Kollektor:

Gleichung 5.1

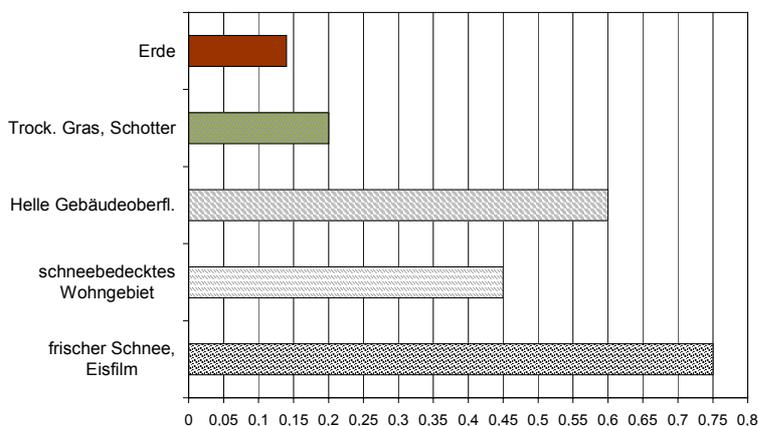
$$I_g = I_S \cdot R_S + I_d \cdot \frac{(1 + \cos S)}{2} + (I_S + I_d) \cdot \frac{(1 - \cos S)}{2} \cdot re$$

I_g	[W/m ²]	Gesamtstrahlung auf die Kollektorfläche
I_S	[W/m ²]	Direkte Einstrahlung auf die horizontale Fläche
R_S	[-]	Umrechnungsfaktor: direkte Einstrahlung von horizontaler auf geneigte Fläche
I_d	[W/m ²]	Diffusstrahlung auf die Kollektorfläche
S	[°]	Neigung der Fläche
re	[-]	Bodenreflexionskoeffizient

5.1.1.1.1 Reflexionsstrahlung

Der dritte Term der oben genannten Gleichung stellt die vom Boden reflektierte Strahlung auf die betrachtete Fläche dar. Diese ist umso kleiner, je kleiner der Neigungswinkel der Fläche ist. Bei einer horizontalen Fläche wird die Reflexionsstrahlung Null. Für schneefreien Untergrund mit Gras oder Schotter beträgt der Reflexionsgrad 0,2 (siehe Abbildung 5.3).

Hier wird allerdings nicht berücksichtigt, dass bei einer geneigten Fläche am Dach in einigen Metern Höhe die reflektierende Fläche sehr groß sein müsste, damit alle reflektierten Strahlen das Dach auch erreichen. Bei einem senkrechten Kollektor, der sich nur knapp über dem Boden befindet, reicht dagegen eine weitaus kleinere Fläche, um den Hauptteil der auftreffenden Strahlung auf den Kollektor zu reflektieren. Für die



schneereichen Wintermonate kann ein Reflexionsgrad von 0,45 bis 0,75 eingesetzt werden.

Abbildung 5.3: Reflexionsgrad in Abhängigkeit von der Umgebung (ÖNORM M7714)

Die Abbildung 5.4 zeigt die Erhöhung der jährlichen Einstrahlung auf südorientierte Flächen durch Schneereflexion (Annahme: durchgehende Schneelage von November bis Februar). Man erkennt, dass der Einfluss in die Fassade stärker ist, als in eine 45° geneigte Fläche. In Abbildung 5.5 ist die Strahlungssumme von November bis Februar dargestellt (Annahme: durchgehende Schneelage). Durch die Reflexion der Strahlung vom schneebedeckten Boden wird die Einstrahlung in die Fassade in dieser Zeit um 20% erhöht, während sie in einer 45° geneigten Ebene nur um 5% erhöht wird. Dadurch wird die Einstrahlung in die Fassade in dieser Zeit sogar größer, als in eine 45° geneigte Fläche.

Dieser Vorteil der Fassadenkollektoren bleibt im allgemeinen bei der Dimensionierung von Solaranlagen unberücksichtigt.

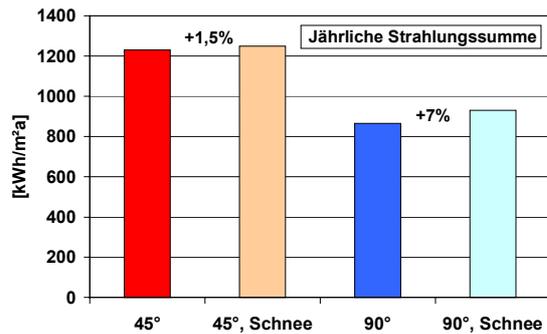


Abbildung 5.4: Erhöhung der jährlichen Strahlungssumme auf südorientierte Flächen mit 45° und 90° Neigung durch Schneereflexion (Graz)

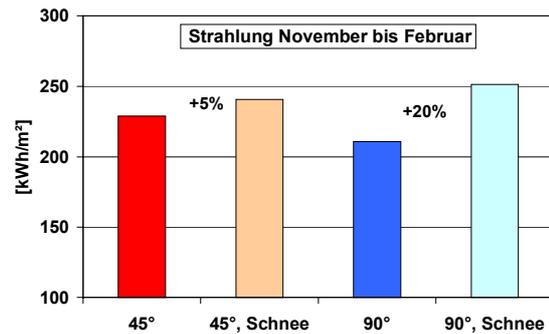


Abbildung 5.5: Erhöhung der Strahlungssumme auf südorientierte Flächen mit 45° und 90° Neigung von November bis Februar durch Schneereflexion (Graz)

Weiters findet die Tatsache, dass Schnee unter einer gewissen Neigung nicht mehr abrutschen kann in den Simulationsprogrammen keine Berücksichtigung. Kollektoren werden in diesem Fall durch Schnee abgedeckt und können keine Leistung mehr bringen. Kollektoren in der Fassade werden dagegen nicht durch Schnee abgedeckt, wie die Abbildung 5.6 eindrucksvoll zeigt.



Abbildung 5.6: Fassadenkollektoranlage, Arlberg, Foto: AKS DOMA Solartechnik

5.1.1.1.2 Azimut

Durch die Berücksichtigung der Schneereflexion wird bei senkrechten Flächen eine Erhöhung der jährlichen Einstrahlung um bis zu 7% ermittelt (siehe Abbildung 5.4). Das gilt für die Südausrichtung und die Süd-West-Ausrichtung. Abweichungen von der optimalen Ausrichtung nach Süden nach Südwest (SW) oder Südost wirken sich bei der gesamten jährlichen Einstrahlung nur geringfügig aus (siehe Abbildung 5.7).

Abbildung 5.8 zeigt allerdings, dass bei Südorientierung das Einstrahlungsprofil am gleichmäßigsten über das Jahr ist. Dies ist insbesondere für Anlagen zur Heizungsunterstützung von Vorteil. Abweichungen nach SW und SO wirken sich nur geringfügig aus, größere Abweichungen führen aber zu erheblichen Einbußen und sind daher zu vermeiden.

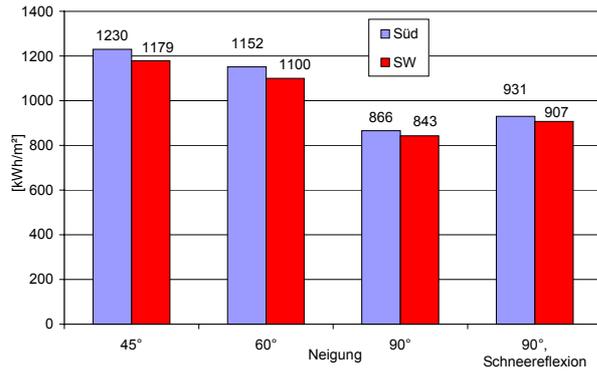


Abbildung 5.7: Jährliche Einstrahlung in Abhängigkeit von Neigung, Azimut und Schneereflexion (Klimadaten Graz)

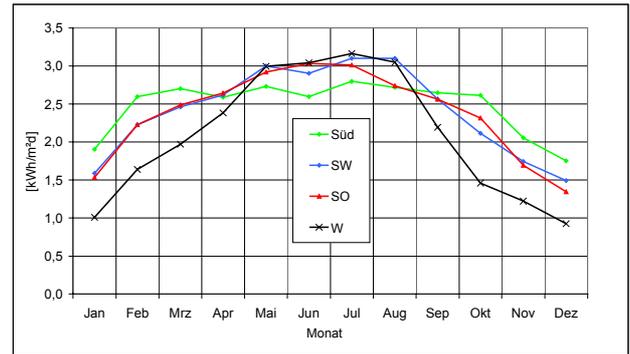


Abbildung 5.8: Mittlere tägliche Einstrahlung in Abhängigkeit vom Azimut bei 90° Neigung und bei Berücksichtigung der Schneereflexion (Klimadaten Graz)

5.1.1.2 Verbrauch: Warmwasser und Raumheizung

Der vorhandenen Einstrahlung steht nun der Energieverbrauch (Warmwasser, Heizenergie) gegenüber. Während der Warmwasserverbrauch über das Jahr annähernd konstant ist, unterliegt der Heizenergiebedarf jahreszeitlich bedingt starken Schwankungen.

Abbildung 5.9 zeigt die Verbrauchsdaten für ein Einfamilienhaus mit einem täglichen Warmwasserbedarf von 160 l/d bei 50°C und einer Heizlast von 8 kW. Weiters wird das Einstrahlungsprofil mit dem Verbrauchsprofil verglichen. Die Einstrahlung bezieht sich auf eine 25 m² große Kollektorfläche und wird für einen Fassadenkollektor und für einen 45° geneigten Kollektor angegeben. Für den Fassadenkollektor wird im Winter und in den Übergangszeiten Schneereflexion angenommen, wie in Kapitel 5.1.1.1 beschrieben.

Man erkennt, dass das Einstrahlungsprofil des Fassadenkollektors dem Verbrauchsprofil entgegenkommt, da er in verbrauchsarmen Zeiten kein Überangebot liefert. Dieses kann bei einer 45° geneigten Fläche, wenn keine Möglichkeit einer saisonalen Speicherung gegeben ist, zu Überhitzungsproblemen im Kollektor führen. Im Winter und in den Übergangszeiten können in der Fassade sogar höhere Einstrahlungen erzielt werden, als in der 45° geneigten Ebene.

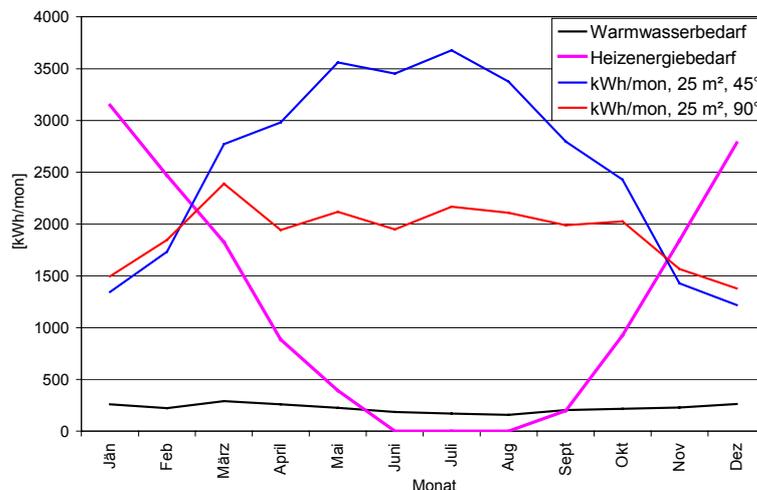


Abbildung 5.9: Vergleich von Einstrahlung und Verbrauch (Monatlicher Warmwasserverbrauch und Heizenergiebedarf eines Einfamilienhauses, 160 l/d und 50°C Warmwasserbedarf, 8 kW Heizlast)

5.1.1.3 Schlussfolgerungen aus dem Einstrahlungsprofil in die Fassade

Bei Südorientierung ist das Einstrahlungsprofil in die Fassade am gleichmäßigsten über das Jahr und die jährliche Einstrahlungssumme ist am größten. Eine Abweichung der Ausrichtung der Kollektoren nach Süd-West oder Süd-Ost bewirkt eine Verminderung der jährlichen Einstrahlungssumme von 3% gegenüber der Südorientierung. Größere Abweichungen führen aber zu erheblichen Einbußen der jährlichen Einstrahlungssumme bis zu 16% bei reiner Ost- oder Westausrichtung und sind daher zu vermeiden.

Thermische Solaranlagen in Fassaden bieten bei Kombianlagen zur Warmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung Vorteile. Diese liegen im Einstrahlungsprofil bei Flächen mit einer Neigung von 90°, das über das Jahr sehr ausgeglichen ist. Stagnationsprobleme im Sommer können so vermieden werden, dagegen wird in den Übergangszeiten und im Winter bei Schneelage eine höhere Einstrahlung erzielt, als in eine 45° geneigte Fläche.

Die Warmwasserbereitung erfolgt bei Kombianlagen im Sommer problemlos, da ausreichend Kollektorfläche vorhanden ist. Anlagen zur reinen Warmwasserbereitung müssen in der Fassade entsprechend größer dimensioniert werden, um die verminderte Einstrahlung durch den großen Einstrahlungswinkel im Sommer auszugleichen.

5.1.2 Auswirkungen der senkrechten Kollektoranordnung auf U-Wert und Kollektoreffizienz

Der Wärmeverlust durch die freie Konvektion im Spalt zwischen Absorber und Glasscheibe wird durch den Neigungswinkel des Kollektors beeinflusst. Bei Fassadenkollektoren ist die Leistungsfähigkeit der Kollektoren in vertikaler Position von Bedeutung.

Bartelsen, Kiermasch und Rockendorf stellten beim „Neunten Symposium Thermische Solarenergie“ [Lit 14] Ergebnisse von Wirkungsgradmessungen an Flachkollektoren mit einer Neigung zwischen 0° und 90° vor. Prototypen wurden für Messungen mit 25 cm Wärmedämmung ausgestattet. Dadurch wurde die Integration von Fassadenkollektoren ohne thermische Trennung in Form einer Hinterlüftung nachgebildet. Die Untersuchungen wurden an Kollektoren mit selektiv beschichteten Plattenabsorber vorgenommen. Ihre Messungen ergaben eine Reduktion des U-Werts [W/m²K] um 10% bei 90° Neigung gegenüber 45° Neigung. Sie fanden, dass je größer die Neigung des Kollektors ist, desto höher ist auch der Wirkungsgrad des Kollektors bei höheren Temperaturen. Weiters wurde gefunden, dass sich der Konversionsfaktor geringfügig verbessert.

Um den Einfluss der Kollektorneigung auf die Kollektorkennlinien zu ermitteln wurden Vergleichsrechnungen (statische Simulation nach Duffie Beckman, Lit 15) für selektiv beschichtete Kollektoren und für Kollektoren mit Solarlack durchgeführt (Solarlack: $a=0,95$ $e=0,86$, Selektiv: $a=0,95$ $e=0,05$). Die Kollektoren sind rechnerisch mit 4 cm Dämmung ausgestattet. Für den vertikalen Kollektor wurde eine weitere Variante mit 16 cm Dämmung angenommen, um so einen nicht hinterlüfteten Kollektor in der Fassade nachzubilden.

Tabelle 5.1: Wirkungsgradparameter in Abhängigkeit von der Neigung

Neigung	α	ϵ	Dämmung [cm]	η_0 [-]	k1 [W/m ² K]	k2 [W/m ² K ²]	Verbesserung von k1 [%]
45°	0,95	0,86	4	0,772	4,69	0,016	
90°	0,95	0,86	4	0,777	4,44	0,016	5,3
90°	0,95	0,86	16	0,788	3,92	0,016	16,4
45°	0,95	0,05	4	0,800	3,37	0,005	
90°	0,95	0,05	4	0,807	3,05	0,004	9,5
90°	0,95	0,05	16	0,820	2,48	0,004	26,4

Abbildung 5.10 und Tabelle 5.1 zeigen die Ergebnisse der Berechnungen. Aus Tabelle 5.1 wird ersichtlich, dass der U-Wert (k_1) beim selektiven Kollektor allein durch die Änderung der Neigung in die Vertikale um annähernd 10% sinkt, beim der Kollektor mit Solarlack sind es 5%. Der simulierte nicht hinterlüftete Kollektor hat einen um 26% verbesserten U-Wert bzw. 16% beim Kollektor mit Solarlack.

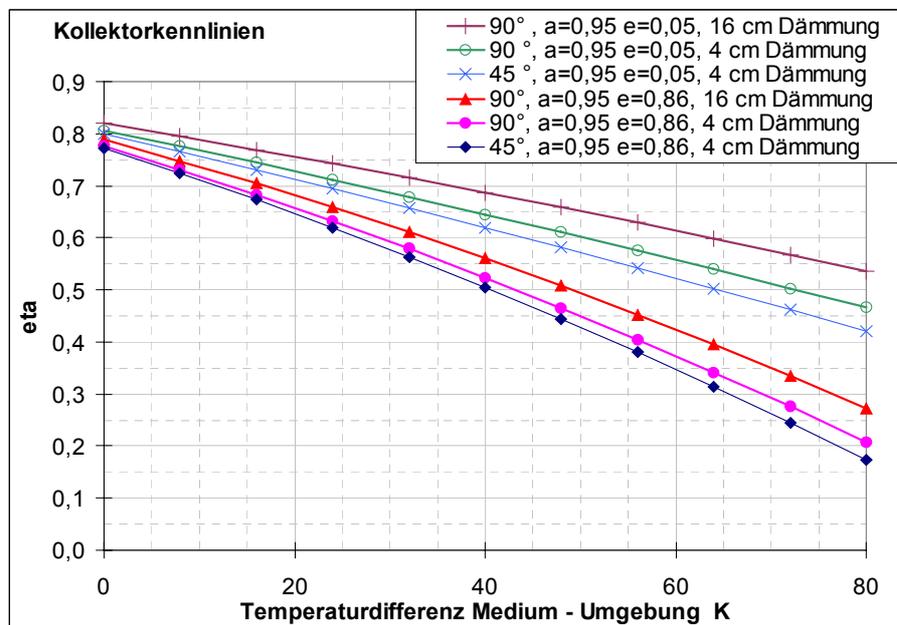


Abbildung 5.10: Neigungseinfluss des Kollektors auf die Kollektorkennlinie, Bestrahlungsstärke $800 \text{ [W/m}^2\text{]}$; Windstärke 0 m/s

5.1.3 Abschattung von Fassaden

Generell ist die Gefahr der Abschattung von Kollektoren in der Fassade durch Gebäude und Gebäudeteile größer, als am Dach. Wie auch Dachkollektoren können Fassadenkollektoren von Gegenständen beschattet werden, die sich vor der Kollektorfläche befinden. Dazu kommt die Beschattung von oben in Form von Vordächern (siehe auch Kapitel 3.2).

Ein beschatteter Kollektor kann keine Sonnenenergie in Wärme umwandeln. Dazu wirkt er auch noch als Kühler, da der Wärmeträger, der in einem bestrahlten Teil des Kollektors erwärmt wurde, über die beschatteten Flächen wieder Wärme an die Umgebung abgibt.

Die verminderte Einstrahlung und die Wärmeabstrahlung der beschatteten Kollektorflächen führt zu einer Ertragsminderung der Kollektoren. Diese ist stark abhängig von der Größe der beschatteten Fläche und der hydraulischen Verschaltung der Kollektorfläche.

Die Beschattung von Kollektorflächen in der Fassade kann in verschiedener Weise erfolgen:

- Vordächer
- Gebäude(teile)
- Bepflanzung

5.1.3.1 Abschattung durch Vordächer

Abbildung 5.11 zeigt die teilweise Abschattung der Kollektorfläche durch ein Vordach bei hohem Sonnenstand (im Sommer). Dadurch kann die Bereitstellung von genügend Energie zur Warmwasserbereitung im Sommer nicht garantiert werden.

Abbildung 5.11: Abschattung von Fassadenkollektoren durch ein Vordach. Im Hochsommer zu Mittag ist diese Kollektorfläche zu mehr als der Hälfte verschattet.



Kollektoren sollten so angeordnet werden, dass der Schatten des Vordachs auch beim höchsten Sonnenstand am 21. Juni die Oberkante des Kollektorfeldes nicht erreicht. Die Ermittlung des nötigen Abstandes erfolgt in Kapitel 5.1.3.4.

5.1.3.2 Abschattung durch Gebäude

Besonders im bebauten, städtischen Raum werden Planer von Solaranlagen mit der Frage der Abschattung durch andere Gebäude konfrontiert. Diese Problematik ist im Bereich der Fassadenkollektoren größer, als bei Dachkollektoren.

Hier kann es zu gegensätzlichen Ansichten zwischen der ästhetischen und der technischen Sichtweise kommen, wie folgendes Beispiel zeigt.

Abbildung 5.12 zeigt eine Fassadenkollektoranlage mit 100 m² Kollektorfläche (Vakuümrohren) in Chemnitz in Deutschland. Es handelt sich um die Renovierung eines Studentenhauses. Die Ausrichtung der Fassade weicht um 14° nach Westen von der Südorientierung ab. Die Aufnahme entstand im Spätherbst vormittags, es wird also nahezu die extremst mögliche Verschattungssituation abgebildet [Lit 16]. Es wird ein 5-10%-iger Minderertrag gegenüber einem optimal platzierten Kollektorfeld erwartet. In einer Vorstudie des Steinbeis Transferzentrums wurde ein optimales Feld vorgesehen, welches durch eine Abstufung der Kollektoren dem Schattenwurf entgeht. Aus ästhetischen Überlegungen wurde jedoch die unten abgebildete Lösung realisiert. Die Kollektoren sind nun symmetrisch auf beiden Seiten der Fenster in der SW-Fassade des Gebäudes angeordnet.



Abbildung 5.12: Teilweise Abschattung der Kollektorfläche auf dem rückwärtigen Gebäude durch angrenzende Gebäudeteile, [Lit 16]. Schattenwurf an einem Vormittag im Spätherbst.

5.1.3.3 Abschattung durch Bepflanzung

Auf Bepflanzung im Bereich direkt vor einer Fassadenkollektoranlage sollte im Allgemeinen verzichtet werden, dies gilt insbesondere für Nadelbäume. Durch die Entlaubung vieler Pflanzen (Laubbäume, Büsche) im Winter wird der Effekt des Schattens gemindert. Weiters

sollte berücksichtigt werden, dass Pflanzen unterschiedlich schnell und unterschiedlich hoch wachsen. Ein paar kleine Bäume, die beim Einzug in ein neues Haus gesetzt werden, können sich schon nach ein paar Jahren zu großen Schattenspendern entwickeln.

Allfällige Bepflanzung sollte so weit vom Kollektorfeld entfernt sein, dass der Schatten auch beim niedrigsten Sonnenstand die Unterkante des Kollektorfeldes nicht erreicht (siehe Abbildung 5.13).

Dies gilt natürlich auch für die Errichtung von Gartenhütten etc.

5.1.3.4 Ermittlung des Schattenwurfs

Soll der Schattenwurf auf die Kollektorfläche vermieden werden, so sollte der Gegenstand (Pflanze, Gebäude) so weit vom Kollektorfeld entfernt sein, dass der Schatten auch beim niedrigsten Sonnenstand am 21. Dezember die Unterkante des Kollektorfeldes nicht erreicht [Lit 17]. Dementsprechend soll bei der Anordnung eines Kollektorfeldes darauf geachtet werden, dass der Schatten eines vorhandenen Vordaches auch beim höchsten Sonnenstand am 21. Juni die Oberkante des Kollektorfeldes nicht erreicht.

5.1.3.4.1 Gegenstand vor der Kollektorfläche:

Der Zenitwinkel der Sonne beträgt bei 47° nördlicher Breite am 21. Dezember 70°. Daraus ergibt sich der Höhenwinkel α zu 20° (siehe Abbildung 5.13). Befindet sich ein Gegenstand im Abstand d von 10 m vor einem nach Süden orientierten Kollektorfeld, so darf er die Unterkante des Feldes um die Höhe h von 3,6 m überragen, ohne es zu beschatten.

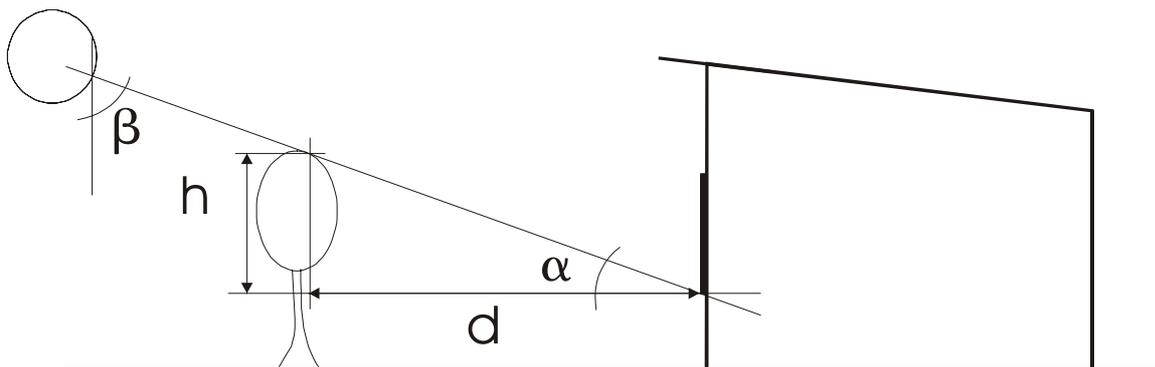


Abbildung 5.13: Schattenfall auf eine Südfassade im Winter

Die Ermittlung der maximalen Höhe eines Gegenstandes über der Unterkante des Fassadenkollektors erfolgt nach der Formel:

$$h = d \times \tan \alpha$$

$$\alpha = 90^\circ - \beta$$

d [m] Abstand des Gegenstandes von der Fassade

h [m] Höhe, um die der Gegenstand die Unterkante des Kollektorfeldes überragt

α [°] Höhenwinkel

β [°] Zenitwinkel der Sonne

5.1.3.4.2 Gegenstand über Kollektorfläche:

Der Zenitwinkel der Sonne beträgt bei 47° nördlicher Breite am 21. Juni 24° (siehe Abbildung 5.14). Hat ein Vordach nun einen Vorstand h' von einem Meter, so muss es sich um die

Entfernung d' von 2,3 m über der Oberkante eines nach Süden orientierten Kollektors befinden, um ihn im Sommer nicht zu beschatten.

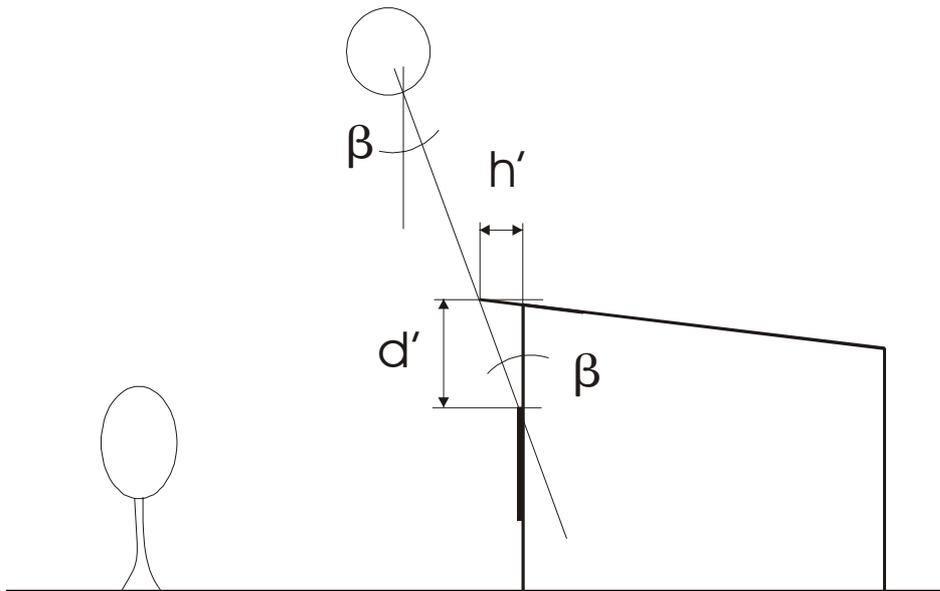


Abbildung 5.14: Schattenfall auf eine Südfassade im Sommer

Die Ermittlung des maximalen Dachvorstandes über der Oberkante des Fassadenkollektors erfolgt nach der Formel:

$$h' = d' \times \tan \beta$$

d' [m] Abstand des Vordaches von der Oberkante des Kollektorfeldes

h' [m] Dachvorstand

β [°] Zenitwinkel der Sonne

5.1.3.5 Gegenseitige Abschattung durch aufgeständerte Kollektoren

Die gegenseitige Abschattung der Kollektoren erfolgt besonders bei niedrigem Sonnenstand, also verstärkt in der Heizsaison! Dies wird bei der Auslegung der Solaranlage in den seltensten Fällen berücksichtigt, kann aber zu erheblichen Ertragseinbußen führen. Dies kann bei einer Fassadenkollektoranlage nicht geschehen.



Abbildung 5.15: Abschattung durch aufgeständerte Kollektoren

Bei einer derartigen Aufständigung sollten die Kollektoren so weit voneinander entfernt sein, dass der Schatten beim niedrigsten Sonnenstand bis zur Unterkante des nächsten Kollektors reicht. Bei nach Süden orientierten Kollektoren mit einer Kantenlänge von 2,2 m und einem Aufstellungswinkel von 60° ergibt sich bei einem Zenitwinkel von 70° ein Abstand von 5,3 m zum

nächsten Kollektor, um eine gegenseitige Verschattung während des gesamten Jahres zu vermeiden!

5.2 Erstellung von Dimensionierungsrichtlinien

Um Dimensionierungsrichtlinien für thermische Solaranlagen in der Fassade geben zu können, wurden Simulationen durchgeführt [Lit 8]. Ausgangspunkt für die Simulationsrechnungen sind Basisvarianten, an denen verschiedene Parametervariationen durchgeführt werden. Das Ziel der Simulationen bestand darin, die nötige Kollektorfläche für Solaranlagen in der Fassade zu ermitteln, die den gleichen solaren Deckungsgrad wie eine Anlage mit Kollektoren mit einer Neigung von 45° hat.

5.2.1 Basisvarianten

Die Basisvarianten werden bei Anlagen zur Warmwasserbereitung durch die Kollektorfläche, das Speichervolumen und den Warmwasserbedarf definiert. Bei solarer Heizungseinbindung wurde zusätzlich der Heizenergiebedarf definiert. Ausgehend von diesen Basisvarianten wurde die Abhängigkeit des solaren Deckungsgrades von der Kollektorfläche und von der Neigung ermittelt. Außerdem wurde der Einfluss des Kollektortyps auf den solaren Deckungsgrad untersucht.

Es wurden Basisvarianten für Einfamilienhäuser (EFH) mit reiner Warmwasserbereitung (WW) und mit teilsolarer Raumheizung (RH) definiert. Für Mehrfamilienhäuser (MFH) wurden Anlagen zur Warmwasserbereitung (WW) simuliert. Die Auswahl der Basisvarianten und der Parameter erfolgte aufgrund der bisherigen Erfahrungen der AEE INTEC mit der Auslegung von thermischen Solaranlagen für Ein- und Mehrfamilienhäuser.

Allen Simulationen liegen folgende Rahmenbedingungen zugrunde:

- Standort: Graz
- Orientierung der Kollektorfläche: Süd

Variiert wurden bei allen Basisvarianten:

- Neigung der Kollektorfläche: 45°, 90°
- Kollektortyp: Selektive Beschichtung, Solarlack
- Kollektorfläche [m²]

Alle Berechnungen wurden mit einem einheitlichen Reflexionsgrad 0,2 durchgeführt. Dieser Wert ist als Standardwert im verwendeten Simulationsprogramm enthalten [Lit 8].

Tabelle 5.2 zeigt die definierten Basisvarianten. Nummer 1 stellt eine typische Anlage für die Warmwasserbereitung im Einfamilienhausbereich mit mittlerem Warmwasserbedarf dar. Nummer 2 ist repräsentativ für Einfamilienhäuser mit erhöhtem Warmwasserbedarf, was hier durch die erhöhte Personenzahl ausgedrückt wird.

Tabelle 5.2: Definierte Basisvarianten

NR.			Kollektorfläche	Speichervolumen	WW-Bedarf	Personen	WW-Temperatur	Heizlast
			[m ²]	[l]	[l/d,Person]	[-]	[°C]	[kW]
1	EFH	WW	6	300	40	4	50	-
2	EFH	WW	8	600	40	6	50	-
3	MFH	WW	30	2000	30	20	60	-
4	MFH	WW	100	6000	30	70	60	-
5	EFH	WW+ RH	25	2000+300	40	4	50	8
6	EFH	WW+ RH	25	5000+300	40	4	50	8

EFH... Einfamilienhaus

MFH...Mehrfamilienhaus

WW... Warmwasserbereitung

RH... Raumheizung

Für die Dimensionierung der Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung in Mehrfamilienhäusern wurde die Broschüre „Thermische Sonnenenergienutzung im Mehrfamilienwohnbau“ herangezogen [Lit 18]. Erfahrungen der Autoren haben gezeigt, dass durchschnittliche Zapfmengen von 25-30 l pro Bewohner und Tag auftreten. Die Warmwassertemperaturen betragen bei den MFH 60°C [Lit 19]. Verluste in den Zirkulationsleitungen müssen berücksichtigt werden. Die Simulationen der Einfamilienhäuser werden mit einer Warmwassertemperatur von 50°C durchgeführt.

Die Basisvarianten 5 und 6 sind Beispiele für die solare Raumheizungsunterstützung. Die Dimensionierungsrichtlinien für solare Heizungsanlagen können nicht so klar angegeben werden, wie bei den Brauchwasseranlagen [Lit 10]. Aus der Vielzahl der möglichen Randbedingungen wurden zwei typische Anlagen definiert. Diese erlauben prinzipielle Aussagen über thermische Solaranlagen in der Fassade zur Brauchwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung bei Einfamilienhäusern.

5.2.2 Der Solare Deckungsgrad

Der solare Deckungsgrad wird definiert:

Gleichung 5.2

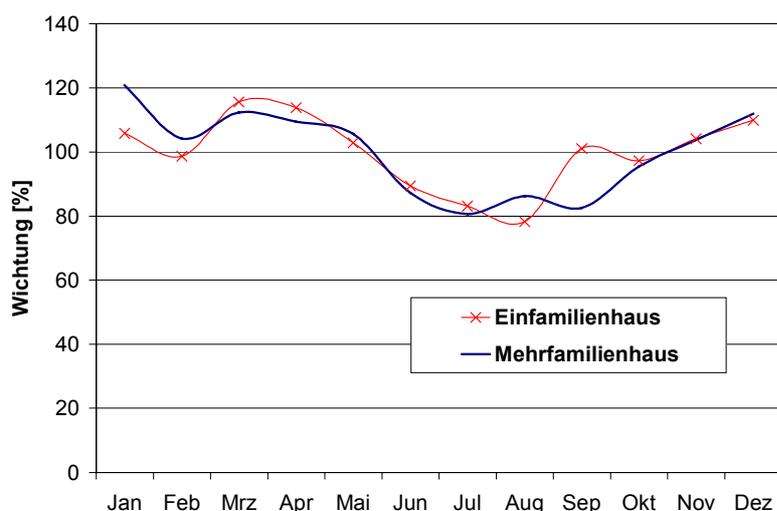
$$\text{Deckungsanteil} = \frac{\text{dem Bereitschaftsspeicher vom Solarsystem zugeführte Energie}}{\text{Summe der dem Bereitschaftsspeicher gesamt zugeführte Energie}} \times 100\%$$

Die gesamt zugeführte Energie besteht aus der Energie, die vom Solarsystem erbracht wird, und der Nachheizung aus dem konventionellen Heizkessel.

5.2.3 Verbrauchsdaten

5.2.3.1 Warmwasserbedarf

Der Warmwasserbedarf variiert mit der Jahreszeit und abhängig vom Wochentag. Abbildung 5.16 zeigt den Warmwasserbedarf eines Einfamilienhauses und eines Mehrfamilienhauses über ein Jahr gewichtet [Lit 20]. Die jahreszeitlichen Schwankungen werden stark durch die



Ferienzeiten beeinflusst, der Warmwasserverbrauch bei Mehrfamilienhäusern wird zusätzlich durch den Gleichzeitigkeitsfaktor bestimmt.

Abbildung 5.16: Wichtung des Warmwasserverbrauchs über das Jahr, Vergleich von Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus

Abbildung 5.17 zeigt die Wichtung des Warmwasserverbrauchs für ein Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus über eine Woche. Der wöchentliche Verbrauch wird in [Lit 8] an Werktagen, Samstagen und schließlich Sonn- und Feiertagen unterschiedlich stark verteilt, die Entnahmezeiten von Warmwasser können aus Tabelle 5.3 entnommen werden.

Tabelle 5.3: Entnahmezeiten von Warmwasser

Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
07:00 – 08:30	08:00 – 09:30	09:00 – 10:00
12:00 – 13:30	14:00 – 16:00	13:00 – 14:00
18:00 – 20:00	19:30 – 20:30	17:30 – 20:00

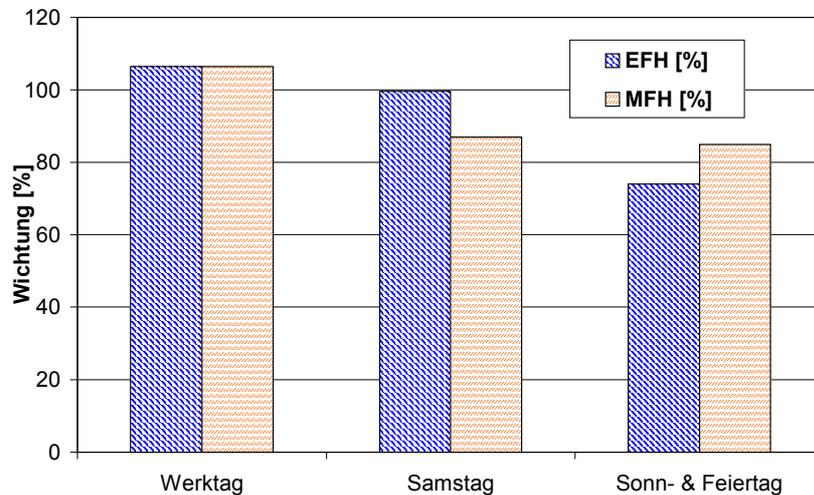


Abbildung 5.17: Wichtigkeit des Warmwasserverbrauchs über eine Woche, Vergleich Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus

5.2.3.2 Heizenergiebedarf

Die Abbildung 5.18 zeigt den Heizenergiebedarf eines Einfamilienhauses (8 kW Heizlast) über ein Jahr im Vergleich zum Warmwasserbedarf. Der Heizenergiebedarf ist viel stärker den jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen.

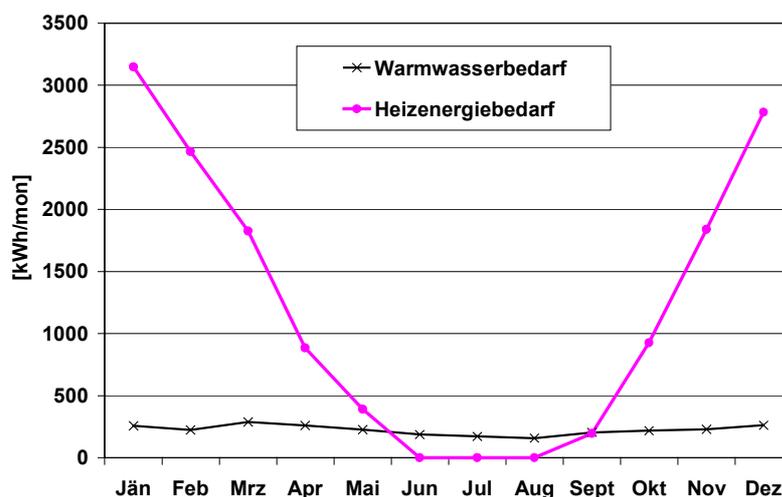


Abbildung 5.18: Warmwasserverbrauch und Heizenergiebedarf eines Einfamilienhauses (160 l/d und 50°C Warmwasserbedarf, 8 kW Heizlast)

5.2.4 Ergebnisse der Simulationen

5.2.4.1 Solaranlage zur Warmwasserbereitung, EFH

Die Basisvariante 1 wurde mit einem 300 Liter Brauchwasserspeicher und einer Kollektorfläche von 6 m² definiert. Der Warmwasserverbrauch beträgt 160 Liter je Tag mit 50°C, wobei vier Personen mit einem Verbrauch von je 40 Liter je Tag angenommen .

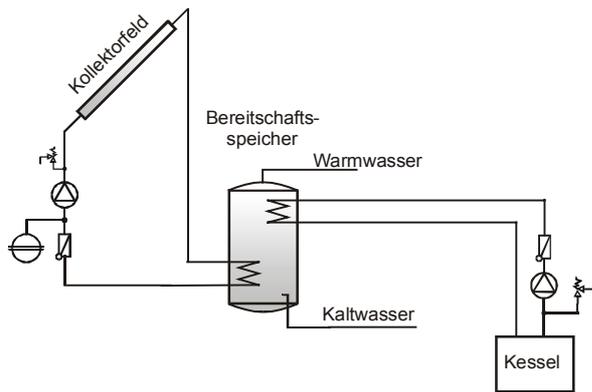


Abbildung 5.19: Hydraulisches Schaltschema der Solaranlage zur Warmwasserbereitung für ein Einfamilienhaus mit 300 l Brauchwasserspeicher

Der Verlauf des Deckungsgrades über der aktiven Kollektorfläche zeigt in Bereichen höherer Deckung eine starke Abflachung (siehe Abbildung 5.20). Die Kollektorfläche muss bei hoher solarer Deckung überproportional vergrößert werden, um noch eine Steigerung des Deckungsgrades zu erreichen. Dieser Effekt kommt bei Kollektoren in der Fassade deutlicher zum Tragen, als bei 45° geneigten, und bei Absorbern mit Solarlack deutlicher, als bei selektiv beschichteten Absorbern. Im Bereich 20% bis etwa 40% solarer Deckung besteht kaum ein Unterschied zwischen selektiv beschichteten Absorbern und Absorbern mit Solarlack. Ab ca. 40% Deckung ist zu erkennen, dass der Verlauf der Deckung über der Kollektorfläche bei 90° Neigung stärker abflacht. Die Kollektorfläche muss nun noch mehr vergrößert werden, um den gleichen Deckungsgrad zu erreichen, wie die Anlage mit geneigtem Kollektor.

Abbildung 5.21 zeigt die erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung bezogen auf die Fläche bei 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden. Der Deckungsgrad der als Basisvariante definierten Fläche beträgt 69% und wird separat dargestellt.

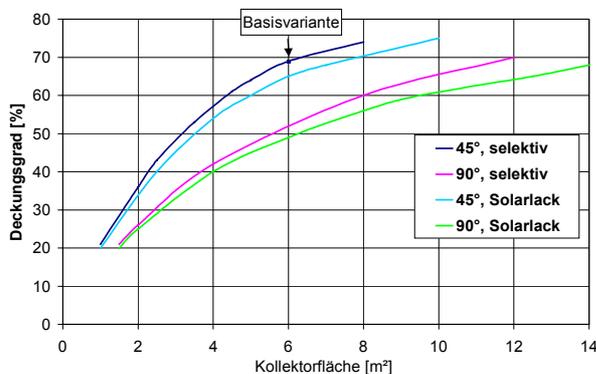


Abbildung 5.20: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (EFH, WW, 300 l)

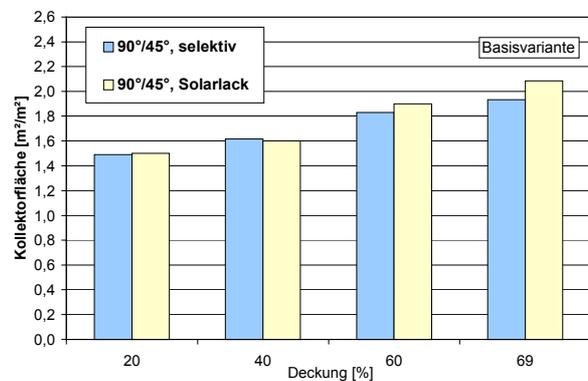


Abbildung 5.21: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (EFH, WW, 300 l)

Bei 20% Deckung liegt das Verhältnis der aktiven Kollektorflächen bei selektiv beschichteten Absorbern und bei Absorbern mit Solarlack bei 1,5 und steigert sich nur unwesentlich bei 40% Deckung auf 1,6. Bei 60% Deckung ist jedoch ein deutlicher Anstieg des Verhältnisses zu erkennen. So müsste in der Fassade das 1,8-fache an Kollektorfläche installiert werden, bzw. das 1,9-fache bei Verwendung eines Absorbers mit Solarlack, im Vergleich zu einer Kollektorneigung von 45°. Dass dieses Verhältnis noch ansteigt, zeigt das Beispiel der Basisvariante, das eine Deckung von 69% bei einer Neigung von 45° aufweist. In der vertikalen

Ebene müsste um den gleichen Deckungsgrad zu erreichen ca. die doppelte Fläche montiert werden.

5.2.4.2 Solaranlage zur Warmwasserbereitung bei hohem Verbrauch, EFH

Die Basisvariante 2 wurde mit einem 500 Liter Brauchwasserspeicher und einer Kollektorfläche von 8 m² definiert. Der Warmwasserverbrauch beträgt 240 Liter je Tag mit 50°C, was einen hohen Verbrauch darstellt. Es wurden sechs Personen mit einem Verbrauch von je 40 Liter je Tag angenommen (Hydraulisches Schaltschema wie in Abbildung 5.19).

Der Verlauf des Deckungsgrades über der Kollektorfläche ist analog zu Variante 1 (siehe Abbildung 5.22). D.h. bei hoher Deckung muss die Kollektorfläche deutlich gesteigert werden, um eine Steigerung des Deckungsgrades zu bewirken. Dies ist wiederum bei 90° geneigten Flächen und bei Absorbieren mit Solarlack stärker ausgeprägt, als bei 45° geneigten Flächen und selektiv beschichteten Absorbieren.

Das Verhältnis der nötigen Fläche bei 90° geneigten zu 45° geneigten Flächen liegt bei 20% Deckung bei ca. 1,5 und unterscheidet sich hier kaum von Variante 1 (siehe Abbildung 5.23). Es ist jedoch ein größerer Unterschied zwischen Absorbieren mit Solarlack und selektiv beschichteten Absorbieren zu erkennen, der wieder umso größer wird, je höher die Deckung ist.

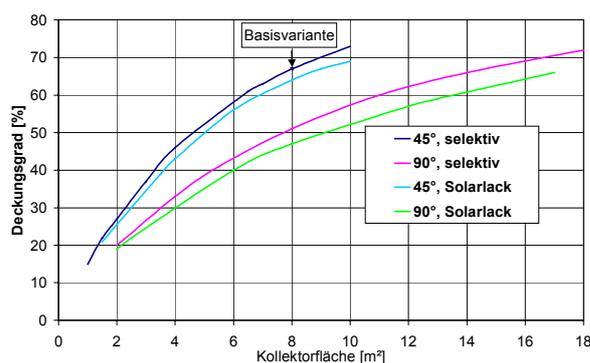


Abbildung 5.22: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (EFH, WW, 500 l)

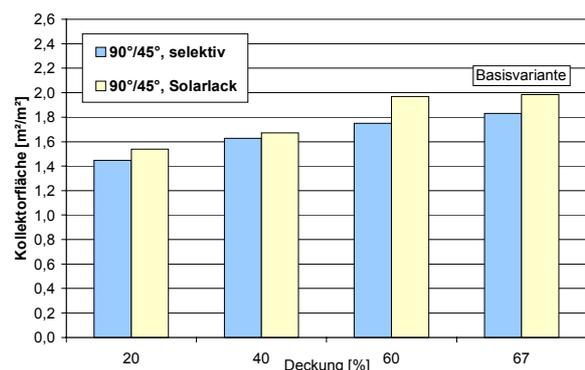


Abbildung 5.23: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (EFH, WW, 500 l)

5.2.4.3 Solaranlage zur Warmwasserbereitung, Mehrfamilienhaus

Als Beispiel für eine Anlage zur Warmwasserbereitung für ein Mehrfamilienhaus wurde eine Anlage mit Schichtspeicher, externem Wärmetauscher und Bereitschaftsspeicher gewählt (siehe Abbildung 5.24) [Lit 21].

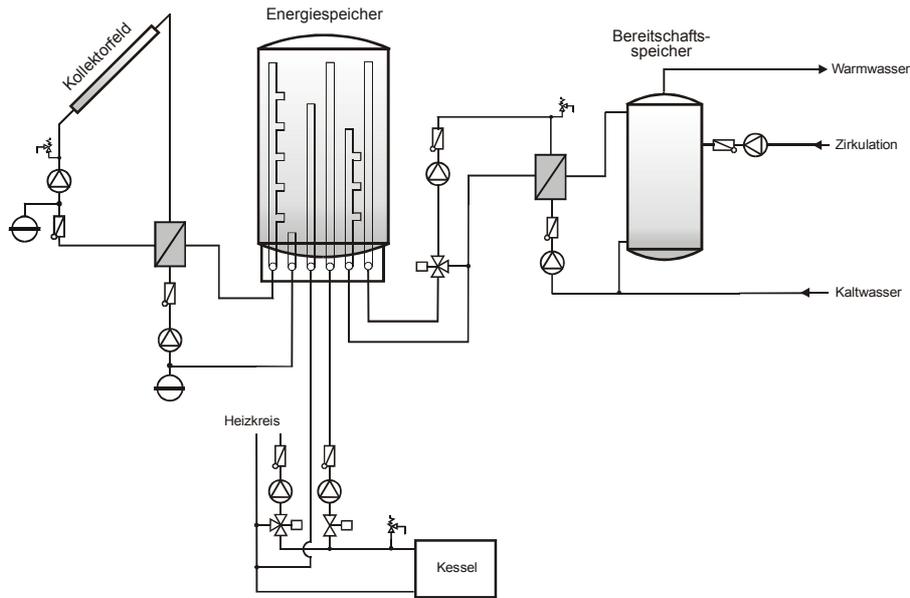


Abbildung 5.24: Hydraulikschema der Solaranlage zur WW-Bereitung für ein Mehrfamilienhaus mit 1500 l Energiespeicher und 500 l Bereitschaftsspeicher

Der Vergleich des Verlaufs des Deckungsgrades über der Kollektorfläche (Abbildung 5.25) zeigt, dass bei höheren Deckungsgraden die Kollektorfläche stärker vergrößert werden muss, um eine Erhöhung des Deckungsgrades zu erreichen. Dies ist bei solarlackbeschichteten Absorbern stärker ausgeprägt, als bei selektiv beschichteten und bei 90° Neigung stärker, als bei 45°. Bei einer Neigung des Kollektors von 90° ist bis zu 30% Deckung kein Unterschied zwischen solarlackbeschichteten und selektiv beschichteten Absorbern erkennbar.

Abbildung 5.26 zeigt, dass bei 20% Deckung das gleiche Flächenverhältnis erforderlich ist, wie bei den beiden Varianten 1 und 2 zur Warmwasserbereitung in Einfamilienhäusern. Bei 40% Deckung ist bereits ein deutlicher Anstieg des Verhältnisses der nötigen effektiven Kollektorfläche mit 90° Neigung zur Fläche mit 45° Neigung zu erkennen. Bei weiterer Erhöhung der Deckung auf 60% liegt das Flächenverhältnis bei selektiv beschichtetem Absorber bei 2 und bei einem Absorber mit Solarlack bereits bei 2,3.

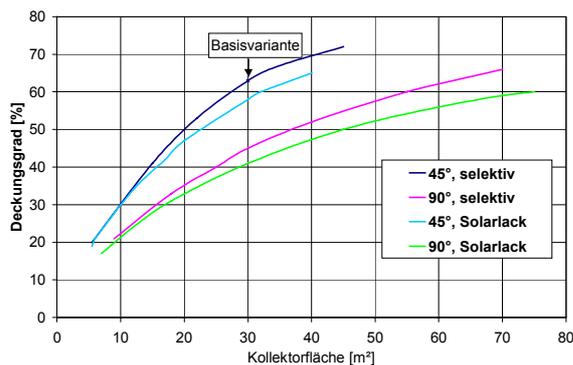


Abbildung 5.25: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (MFH, WW, 2000 l)

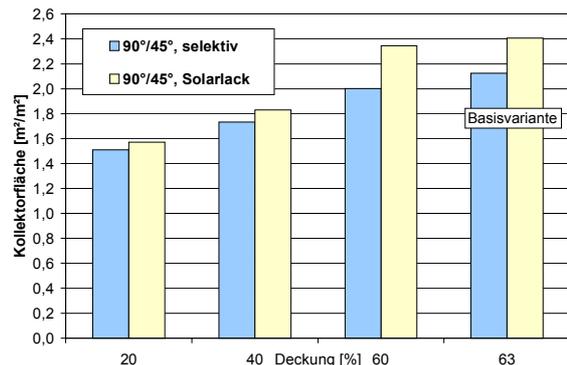


Abbildung 5.26: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (MFH, WW, 2000 l)

5.2.4.4 Solaranlage zur Warmwasserbereitung bei hohem Verbrauch, MFH

Der Verlauf des Deckungsgrades über der Kollektorfläche bei einer Anlage mit 6000 Liter Speicher (4500 l Energiespeicher und 1500 l Bereitschaftsspeicher) und einem Warmwas-

serbedarf von 2100 l/d verläuft analog zu Variante 3 (Schaltschema siehe Abbildung 5.24). Bei den Verhältnissen der effektiven Kollektorfläche bei 90° zur Fläche bei 45° ist kein Unterschied zu Variante 3 zu erkennen (siehe Abbildung 5.27 und Abbildung 5.28).

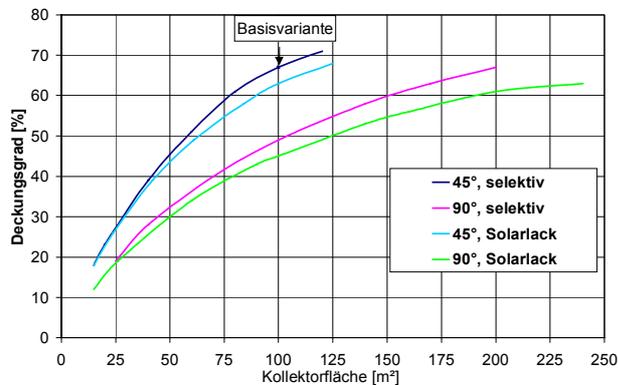


Abbildung 5.27: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (MFH, WW, 6000 l)

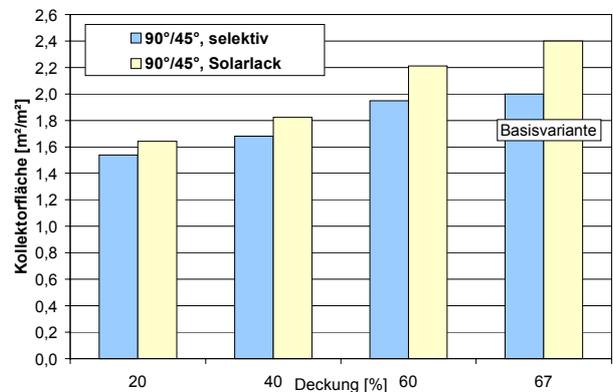


Abbildung 5.28: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (MFH, WW, 6000 l)

5.2.4.5 Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Raumheizung, EFH

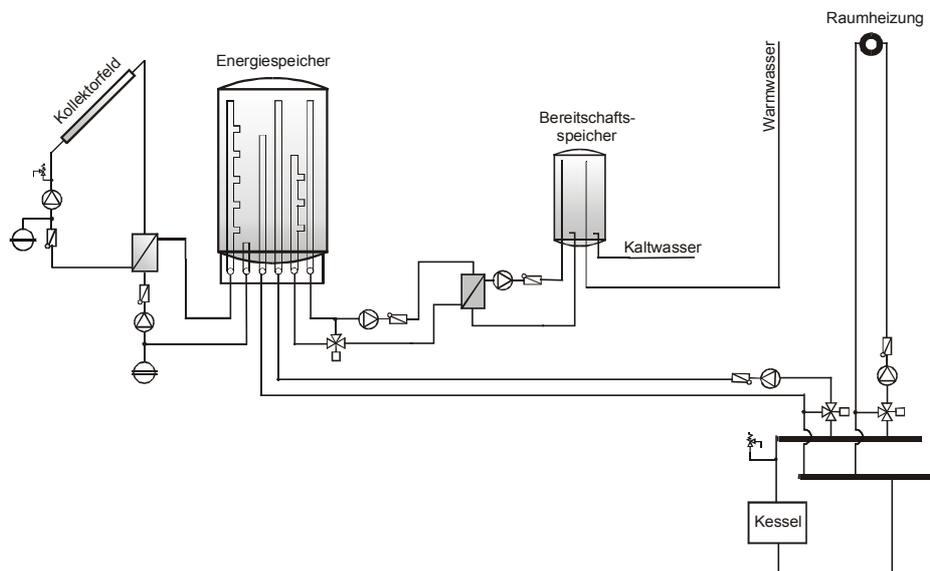


Abbildung 5.29: Hydraulikschema der Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Raumheizung für ein Einfamilienhaus

Variante 5 stellt ein Beispiel für die Warmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung mit thermischen Solaranlagen bei Einfamilienhäusern dar (siehe Abbildung 5.29). Der Energiespeicher (Pufferspeicher) hat ein Volumen von 2000 Liter und der Bereitschaftsspeicher (Boiler) fasst 300 Liter. Das Haus hat eine Heizlast von 8 kW. Beim Verlauf des Deckungsgrades über der effektiven Kollektorfläche (Abbildung 5.30) ist zu erkennen, dass die Kurven nicht derart auseinanderdriften, wie bei den bisher betrachteten Varianten 1 bis 4 zur reinen Warmwasserbereitung.

Das Verhältnis der effektiven Kollektorfläche bei einer Neigung von 90° zu einer Neigung von 45° nimmt zu größeren Deckungsgraden hin ab (siehe Abbildung 5.31), was dadurch erklär-

bar ist, dass bei Raumheizungsanlagen die *möglichen* sommerlichen Erträge der 45° geneigten Kollektoren nicht zur Gänze genutzt werden können.

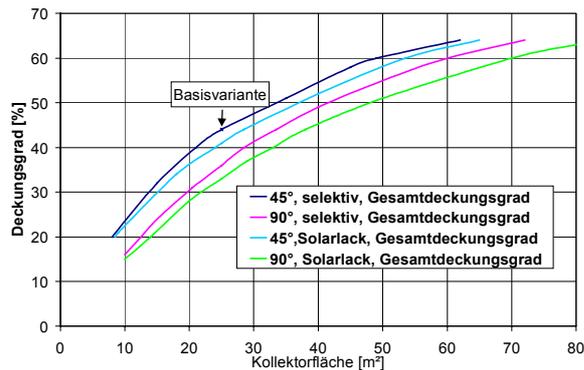


Abbildung 5.30: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (EFH, WW+RH, 2000 I+300 I)

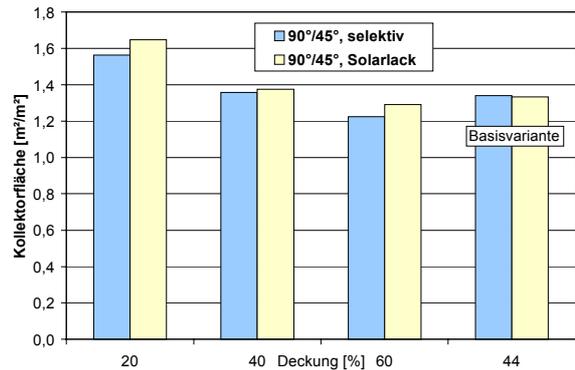


Abbildung 5.31: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (EFH, WW+RH, 2000 I+300 I)

Der Verlauf des Gesamtdeckungsgrades ergibt sich aus dem Verlauf der Deckungsgrade des Warmwassers und der Heizung. Mit steigender Kollektorfläche steigt die Heizungsdeckung stärker an, als die Warmwasserdeckung (siehe Abbildung 5.32 und Abbildung 5.33). Von 20% auf 60% Gesamtdeckung steigt bei einem 45° geneigten selektiven Absorber die Warmwasserdeckung um das 1,5-fache an (Solarlack: 1,4-fach). Die Heizungsdeckung steigt dagegen für einen selektiv beschichteten Absorber und für einen Absorber mit Solarlack um das 4,5-fache. Bei einem 90° geneigten Absorber (selektive Beschichtung oder Solarlack) erhöht sich von 20% auf 60% Gesamtdeckung die Warmwasserdeckung um das 1,8-fache und die Heizungsdeckung um den Faktor 3,6. Bei 45° Neigung erhöht sich also die Heizungsdeckung um das Dreifache, bei 90° Neigung um das Doppelte im Vergleich zur Warmwasserdeckung.

Die Heizungsdeckung ist bei vertikalen Kollektoren durchwegs höher als bei geneigten. Daraus lässt sich erklären, dass die Verläufe der Gesamtdeckung über der Kollektorfläche bei 45° und bei 90° Neigung auch bei größeren Kollektorflächen nicht auseinanderdriften.

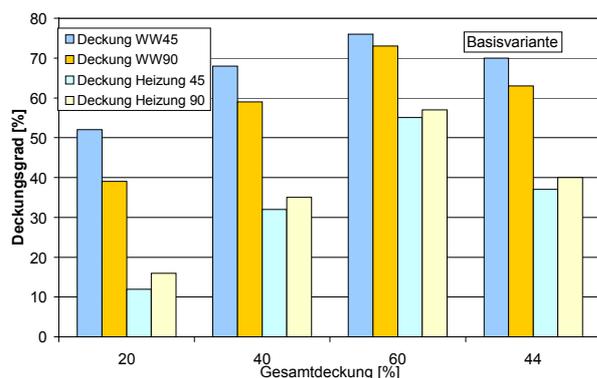


Abbildung 5.32: Vergleich der Deckungsgrade von Warmwasser und Heizung bei verschiedenen Gesamtdeckungsgraden (selektive Beschichtung)

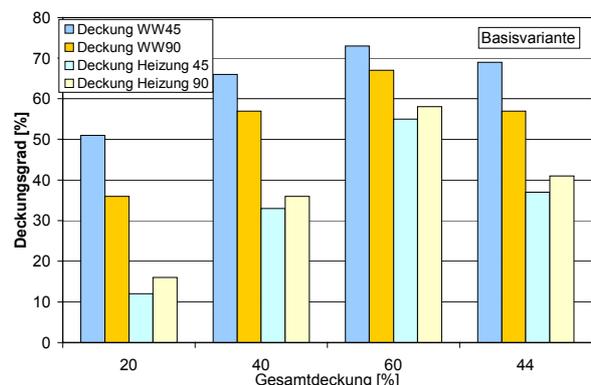


Abbildung 5.33: Vergleich der Deckungsgrade von Warmwasser und Heizung bei verschiedenen Gesamtdeckungsgraden (Solarlack)

5.2.4.6 Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Raumheizung mit großem Speicher, EFH

Das hydraulische Schaltschema dieser Anlage entspricht dem Schema, das in Abbildung 5.29 dargestellt ist. Die Anlage hat einen 5000 Liter Energiespeicher und einen 300 Liter Bereitschaftsspeicher. Der Verlauf des Deckungsgrades über die Kollektorfläche (Abbildung 5.34) ist analog zu Variante 5. Daraus ergibt sich auch, dass die Verhältnisse der effektiven Kollektorflächen bei 90° und bei 45° Neigung (Abbildung 5.35) in der gleichen Größenordnung liegen und die gleiche Tendenz zeigen, wie bei Variante 5.

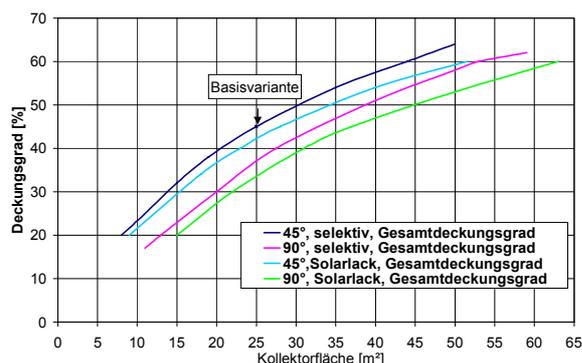


Abbildung 5.34: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (EFH, WW+RH, 5000 I+300 I)

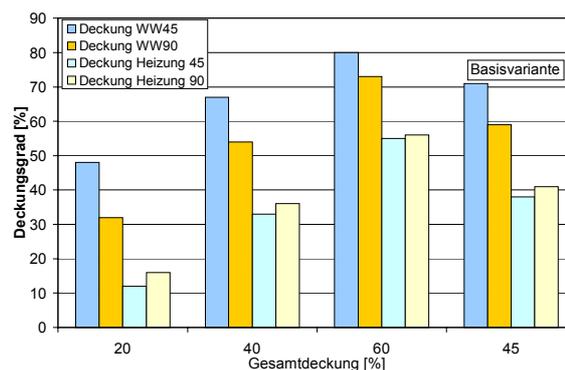


Abbildung 5.36: Vergleich der Deckungsgrade von Warmwasser und Heizung bei verschiedenen Gesamtdeckungsgraden (selektive Beschichtung)

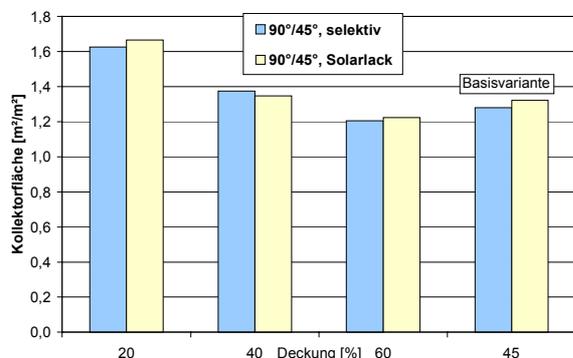


Abbildung 5.35: Kollektorfläche bei 90° Neigung zu 45° Neigung, verschiedene Deckungsgrade (EFH, WW+RH, 5000 I+300 I)

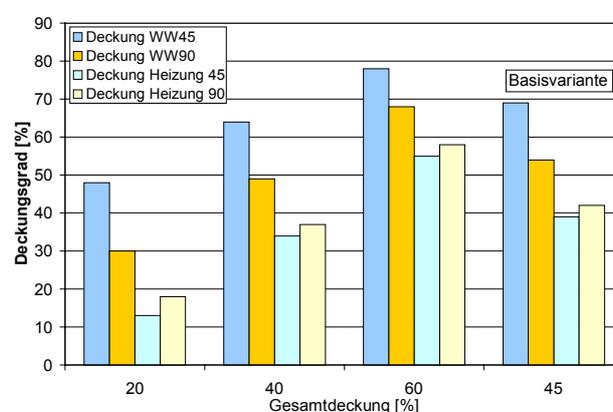


Abbildung 5.37: Vergleich der Deckungsgrade von Warmwasser und Heizung bei verschiedenen Gesamtdeckungsgraden (Solarlack)

5.2.5 Schlussfolgerungen aus der Erstellung der Dimensionierungsrichtlinien

Für den Anwendungsfall der Solaranlage zur reinen Warmwasserbereitung im Einfamilienhausbereich mit mittlerem Warmwasserbedarf zeigen die Simulationen, dass bis ca. 40% solarer Deckung die Kollektorfläche in der Fassade um das 1,5-fache vergrößert werden muss, um den gleichen Deckungsgrad zu erreichen, wie in der 45° geneigten Ebene. Dieses Verhältnis ist für Absorber mit selektiver Beschichtung gleich wie bei Absorbern mit Solarlack. Will man den Deckungsgrad weiter erhöhen, steigt das Verhältnis der Kollektorflächen

stärker an. Dieser Effekt ist bei Absorbern mit Solarlack stärker zu erkennen, als bei selektiv beschichteten Absorbern.

Für den Fall des erhöhten Warmwasserbedarfs im Einfamilienhaus gelten prinzipiell dieselben Erkenntnisse wie oben, wobei aber ein größerer Unterschied zwischen selektiv beschichteten Absorbern und Absorbern mit Solarlack festzustellen ist. Dieser ist umso größer, je höher der solare Deckungsgrad der Anlage ist. Um denselben Deckungsgrad zu erreichen ist bei erhöhtem Warmwasserbedarf und einem größeren Speicher bereits eine größere Kollektorfläche nötig, als bei geringem Warmwasserbedarf und kleinerem Speicher.

Ähnlich gelagert liegt der Fall bei der Warmwasserbereitung bei Mehrfamilienhäusern. Im Bereich der 20%-igen solaren Deckung liegt das Flächenverhältnis bei 1,5 und steigt zu höheren Deckungsgraden an, allerdings stärker als bei den Varianten 1 und 2. Auch sind die Unterschiede der Kollektortypen bei höheren Deckungsgraden stärker ausgeprägt.

Anders zeigen sich die Ergebnisse aus der Simulation von Heizungseinbindungen (siehe Abbildung 5.38). Je größer die Kollektorfläche ist (und damit der solare Gesamtdeckungsgrad der Anlage), desto geringer wird das Verhältnis der benötigten Kollektorflächen bei 90° Neigung und bei 45° Neigung bei einem bestimmten Deckungsgrad. Bei näherer Betrachtung liegt das am Heizungsdeckungsgrad, der mit steigender Kollektorfläche bei 45° Neigung um das Dreifache, bei 90° Neigung um das Doppelte im Vergleich zur Warmwasserdeckungsgrad zunimmt.

Der Heizungsdeckungsgrad ist bei 90° Neigung höher, als bei 45° geneigter Fläche, was die Kurven noch weiter aneinander annähert. Für den Fall der Heizungseinbindung ist die Positionierung der Kollektoren in der Vertikalen also umso günstiger, je höher der Deckungsgrad der Anlage ist.

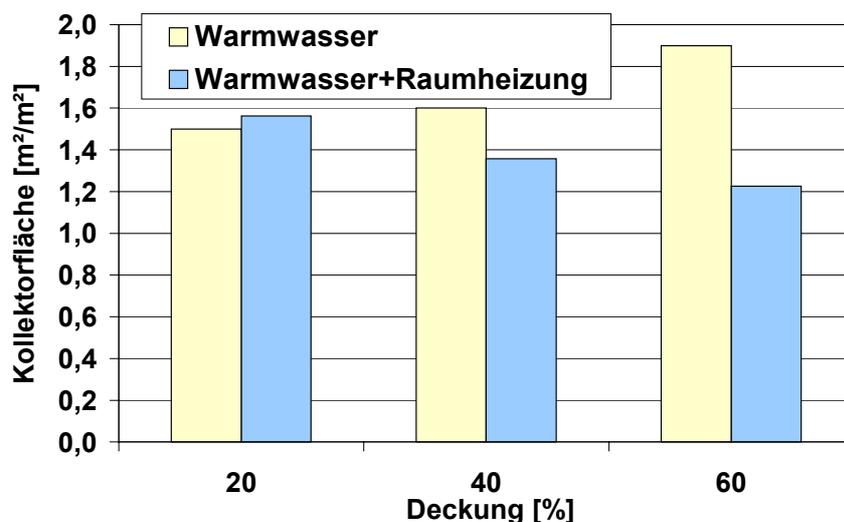


Abbildung 5.38: Kollektorfläche in der Fassade im Vergleich zu einer Anlage mit 45° geneigten Kollektoren für eine Anlage zur Warmwasserbereitung und eine Kombianlage in Abhängigkeit vom solaren Deckungsgrad

Die Berechnung der Deckungsgrade erfolgte für alle berücksichtigten Fälle mit einem einheitlichen Reflexionsgrad, da im verwendeten Simulationsprogramm [Lit 8] ein Standardwert vorgegeben wird. Prinzipiell wird die Einstrahlung in die Fassade durch Schneereflexion jedoch erhöht und somit auch der Gesamtdeckungsgrad einer Anlage mit Fassadenkollektor (siehe Kapitel 5.1.1.1).

Weiters findet keine Berücksichtigung, dass bei senkrechter Position der Kollektoren und bei direkter Integration der Kollektoren in den Wandaufbau ohne Hinterlüftungsebene der U-Wert von Kollektoren verbessert wird (siehe Kapitel 5.1.2).

6 Design – Fassadenkollektorsystem ohne Hinterlüftung

6.1 Ressourceneffizienz und Materialintensitätsanalyse

Für die Überprüfung der Ressourceneffizienz der entwickelten Fassadenkollektoren wurde eine Materialintensitätsanalyse erstellt. Die Ergebnisse der Materialintensitätsanalyse wurden in Relation zu herkömmlichen, dachintegrierten Anlagen dargestellt. Die Erhöhung der Ressourceneffizienz bezogen auf die Nutzeinheit (die gewonnene thermische kWh) um den Faktor 4 gegenüber marktüblichen Anlagen wurde angestrebt. In Tabelle 6.1 wird angeführt, welche Daten für die Berechnung der Ressourceneffizienz benötigt werden.

Tabelle 6.1: Benötigte Daten für die Berechnung der Ressourceneffizienz

Kollektor		
	Aufbau des Kollektors	<i>Abmessungen, Material, Dicke, Dichte</i>
	Absorber	<i>Abmessungen, Material, Dicke, Dichte</i>
	Wärmeträger	<i>Menge, Material, Dichte</i>
	Ertrag des Kollektors	<i>Wenn keine Messwerte vorhanden: simulierter Wert</i>
Wand neben dem Kollektor	Aufbau	<i>Abmessungen, Material, Dicke, Dichte</i>
Restliche Solaranlage		
	Rohrlängen	<i>Material, Durchmesser, Wandstärke</i>
	Speicher	<i>Material, Durchmesser, Mengen</i>
	Armaturen	<i>Anzahl, Material</i>
	Ausgleichsgefäß	<i>Material, Durchmesser, Mengen</i>
	Weiteres Zubehör	<i>Material, Mengen</i>
Nachheizung	Art der Nachheizung	<i>Menge, Energieträger</i>
Raumheizung	Art der Raumheizung	<i>Abmessungen, Material, Energieträger, Menge</i>
Anlagenschema	Verschaltung der Anlage	
	Position der Elemente	

Die Daten wurden von den errichteten Testanlagen erhoben (Kapitel 7). Die Tabelle 6.2 gibt die Daten der Testanlage mit Fassadenkollektor auf einer Leichtbauwand wieder. Die Anlage ist eine Kombianlage zur Warmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung eines Zweifamilienhauses. Das hydraulische Schaltschema ist in Kapitel 7.1.1 enthalten.

Die Tabelle 6.3 gibt die Daten der Testanlage mit Fassadenkollektor auf einer Ziegelwand wieder. Die Anlage dient der Warmwasserbereitung für ein Bürogebäude. Das hydraulische Schaltschema der Anlage ist in Kapitel 7.2.1 enthalten.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden im Anhang 5 dargestellt.

Tabelle 6.2: Daten der Testanlage mit Fassadenkollektor auf einer Leichtbauwand für die Berechnung der Ressourceneffizienz

Kollektor			
Bruttoabsorberfläche	55	[m ²]	
CU - Rohr in Aluminium Absorber eingepresst in Kollektor			
Länge	393,3	[m]	
Durchmesser (innen od. außen)	10*0,8	[mm]	
Wandstärke	0,8	[mm]	
Material	Kupfer		
Aluminium Absorber			
Länge	393,3	[m]	
Gewicht	262,2	[kg]	
Material	Aluminium		
Sammelrohre in Kollektor			
Länge	36	[m]	
Durchmesser (innen od. außen)	20*0,8	[mm]	
Wandstärke	0,8	[mm]	
Material	Kupfer		
Glasabdeckleiste			
Länge	78	[m]	
Gewicht	70,7	[kg]	
Material	Aluminium Gummi		
Holzrahmen des Kollektors			
Länge	54	[m]	
Abmessung	80x45	[mm ²]	
Gewicht	97,2	[kg]	
Material	Fichte		
Dichte	500	kg/m ³	
Rückwand			
Gewicht	220	[kg]	
Dicke	8	[mm]	
Fläche	55	[m ²]	
Material	OSB - Platte (Fichtenholz)		
Dämmung Rückwand			
Dicke	40	[mm]	
Fläche	50	[m ²]	
Material	Mineralwolle		
Glasabdeckung			
	54	[m ²]	
	4	[mm]	
Heizenergie, die durch Kollektor eingespart wird	225,5	[kWh/m ²]	Reduktion der Wärmeverluste
Leistung Umwälzpumpe(n)	110 + 63	[W]	1540h/a
Energiebedarf Umwälzpumpe(n)	266,42	[kWh/a]	
Wasserinhalt des Solarkreislaufes	57	[l]	40% Frostschutz
Rohrleitung Kollektor Speicher			
Länge	60	[m]	
Durchmesser	28*1	[mm]	
Wandstärke	1	[mm]	
Material	Kupfer		
Wandstärke Isolier. der Rohrleitg.	30	[mm]	
Material	Steinwolle		
Material Außenbeschichtung	Aluminiumkaschierung, sehr dünn		

Pufferspeicher			
	Stahl	620	[kg]
Speicher ohne Register/Wärmetauscher			
	Stahl	~200	[kg]
	PU-Schaum Isolierung	80	[mm]
Ausdehnungsgefäß des Solarkreislaufes			
	Stahl	~8	[kg]

Tabelle 6.3: Daten der Testanlage mit Fassadenkollektor auf einer Ziegelwand für die Berechnung der Ressourceneffizienz

Kollektor			
	Bruttoabsorberfläche	25	[m ²]
CU - Absorber			
	Länge	190	[m]
	Durchmesser (innen od. außen)	8*0,5	[mm]
	Wandstärke	0,5	[mm]
	Gewicht	74,1	[kg]
	Material	Kupfer	
Sammelrohre in Kollektor			
	Länge	10	[m]
	Durchmesser (innen od. außen)	20*0,8	[mm]
	Wandstärke	0,8	[mm]
	Material	Kupfer	
Glasabdeckleiste			
	Länge	30	[m]
	Gewicht	27,2	[kg]
	Material	Aluminium Gummi	
Holzrahmen des Kollektors			
	Länge	45	[m]
	Abmessung	80 x 45	[mm ²]
	Gewicht	81	[kg]
	Material	Fichte	
	Dichte	500	[kg/m ³]
Rückwand			
	Gewicht	100	[kg]
	Dicke	8	[mm]
	Fläche	25	[m ²]
	Material	OSB - Platte (Fichtenholz)	
Dämmung Rückwand			
	Dicke	60	[mm]
	Fläche	25	[m ²]
	Material	Mineralwolle	
Glasabdeckung			
	Fläche	25	[m ²]
	Dicke	4	[mm]
	Heizenergie, die durch Kollektor eingespart wird	193,5	[kWh/m ²]
			Reduktion der Wärmeverluste
	Leistung Umwälzpumpe(n)	110	[W]
			1436h/a
	Energiebedarf Umwälzpumpe(n)	158	[kWh/a]
	Wasserinhalt des Solarkreislaufes	74,4	[l]
			40% Frostschutz
Rohrleitung Kollektor Speicher			
	Länge	70	[m]
	Durchmesser	28*1	[mm]

	Wandstärke	1	[mm]	
	Material	Kupfer		
	Wandstärke Isolier. der Rohrleitung	30	[mm]	
	Material	Steinwolle		
	Material Außenbeschichtung	Aluminiumkaschierung, sehr dünn		
Speicher ohne Register/Wärmetauscher				
	Stahl	~350	[kg]	
	PU-Schaum Isolierung	100	[mm]	
Ausdehnungsgefäß des Solarkreislaufes				
	Stahl	~30	[kg]	

6.2 Entwicklung der Fassadenkollektoren

Die Fertigungsüberleitung, der Bau der Prototypen sowie der Test der Prototypen erfolgte auf Basis der Ergebnisse der vorangehenden Arbeitspakete (siehe Kapitel 3, 4 und 5) von der am Projekt beteiligten Firmen im Rahmen eines parallel beantragten ITF-Projektes.

Die Kosten für das Arbeitspaket „Bau und Test der Prototypen“ werden daher über das ITF-Projekt bzw. vom Solartechnikunternehmen getragen. Die gewonnenen Erkenntnisse durch die Entwicklung der Prototypen, der Anschlusssteile und der Befestigungstechnik sind Know-How der Firmen.

Bei der bautechnischen Integration der Kollektorelemente wurde eine möglichst einfache und wärmebrückenfreie Befestigungstechnik angestrebt. In den Kapiteln 7.1 und 7.2 wird auf die bei den Testanlagen eingesetzten Fassadenkollektoren und ihre Befestigung an den Gebäuden eingegangen.

7 Testanlagen

Vor der Serienfertigung der Fassadenkollektoren wurde eine Vorserie der Fassadenkollektorelemente gefertigt, zwei Testanlagen errichtet und alle für die Funktionsüberprüfung erforderlichen Parameter messtechnisch erfasst, dokumentiert und ausgewertet. Die Testfassaden wurden auf unterschiedliche Wandkonstruktionen (Massivwand und Leichtbauwand) aufgebracht um das evtl. unterschiedliche Verhalten des Systems „Wand-Kollektor“ zu erfassen. Die Testfassade 1 wurde auf einer Holzriegelwand, die Testfassade 2 wurde auf einer Ziegelwand errichtet.

7.1 Testanlage 1 – Zweifamilienwohnhaus Graz

7.1.1 Anlagenbeschreibung

Die Testanlage 1 dient der solaren Warmwasserbereitung und teilsolaren Raumheizung für ein Zweifamilienwohnhaus in Graz. Der Kollektor wurde an der Südfassade des Gebäudes auf eine Holzständerkonstruktion montiert und hat eine Bruttofläche von 55 m² und besteht aus drei Feldern zu je 18,3 m². Es wurde ein Kollektor mit Solarlackbeschichtung verwendet. Abbildung 7.1 zeigt den Wandaufbau der Testanlage 1, Tabelle 7.1 gibt die Abmessungen der Schichten des Wandaufbaus wieder.

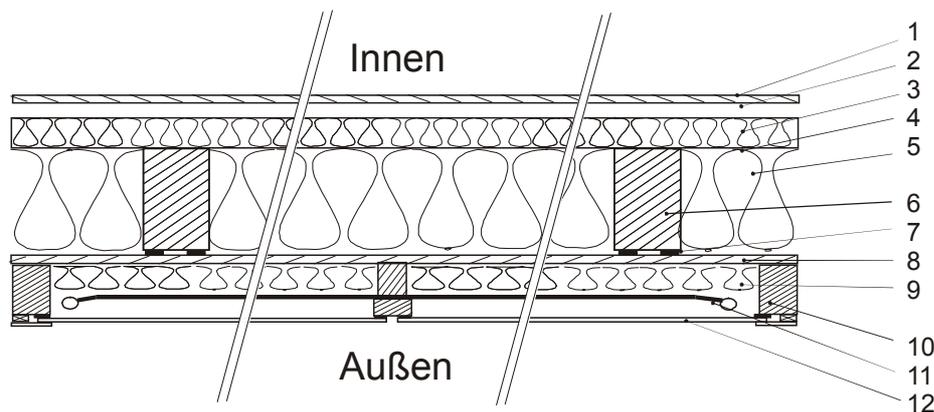


Abbildung 7.1: Wandaufbau der Testfassade 1 in Graz

Tabelle 7.1: Schichtaufbau und Abmessungen des Wandaufbaus der Testfassade 1 in Graz

Nr.	Schichtaufbau von Innen nach Außen	[mm]
1	Gipsfaserplatte	15
2	Streuschalung	24
3	Holzwolleplatte	50
4	Dampfbremse	-
5	Gebäudedämmung, Steinwolle	160
6	Holzriegel	
7	Stahlwinkel	
8	OSB-Platte	15
9	Kollektordämmung, Steinwolle	40
10	Kollektorrahmen, Holz	
11	Absorber	11
12	Glasabdeckung	4

Die drei Kollektorfelder wurden vorgefertigt und auf einem Anhänger antransportiert. Abbildung 7.2 zeigt die Montage eines der drei Kollektorelemente mit Hilfe eines Kranes. Die Kollektoren wurden einjustiert und anschließend mittels örtlich angebrachter Stahlwinkel am

Holzständer der Außenwand festgeschraubt. Diese Art der Befestigung bewirkt nur geringe Wärmebrückeneffekte (siehe auch Kapitel 7.1.2).

Durch den hohen Vorfertigungsgrad der Kollektoren war es möglich, die 55 m² Kollektorfläche in einem halben Arbeitstag zu montieren. Dies erspart einerseits Kosten und verhindert andererseits, dass die Kollektoren durch die Arbeit auf der Baustelle verschmutzen. Weiters erlangt man so eine möglichst große Unabhängigkeit von den Witterungsverhältnissen. Es besteht keine Gefahr mehr, dass bei einem eventuellen Regen während der Montage Wasser in die Kollektoren eintritt. Abbildung 7.3 zeigt die fertige Testfassade.



Abbildung 7.2: Montage der Kollektoren mit Hilfe eines Kranes. Das Kollektorfeld besteht aus drei Elementen zu je 18,3 m².

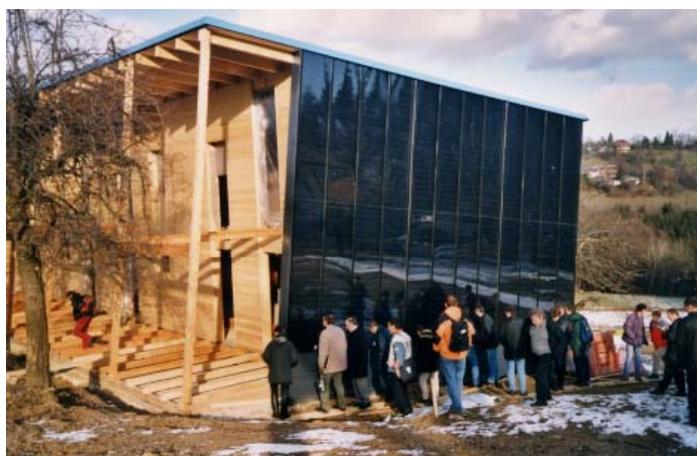


Abbildung 7.3: Testfassade mit 55 m² Kollektorfläche auf einem Zweifamilienwohnhaus in Graz

Die Anlage wird in Low Flow Betriebsweise mit drehzahl geregelter Pumpe im Kollektorkreislauf betrieben. Abbildung 7.4 zeigt das hydraulische Schaltschema der Anlage. Der Heizungsspeicher ist als Schichtspeicher ausgeführt und fasst 3750 l. Die Wärme, die von den Kollektoren kommt, wird über einen externen Wärmetauscher und weiter über eine Schichtenladeeinheit entsprechend ihres Temperaturniveaus in den Heizungsspeicher eingeschichtet. Die Warmwasserbereitung erfolgt über einen 500 l Brauchwasserspeicher. Die Nachheizung erfolgt mit einem Pelletsofen. Die Wärmeabgabe erfolgt über Wand- und Fußbodenheizung.

Außerhalb der Heizsaison wird der Solarrücklauf aus dem oberen, wärmeren Teil des Heizungsspeichers entnommen, was durch Umschalten eines Dreiwegeventils erreicht wird. Der Speicher wird hydraulisch „geteilt“. Dadurch wird schneller die benötigte Temperatur für die Warmwasserbereitung erreicht und eine Nachheizung des Speichers ist außerhalb der Heizsaison nicht nötig (siehe Kapitel 4.4.3).

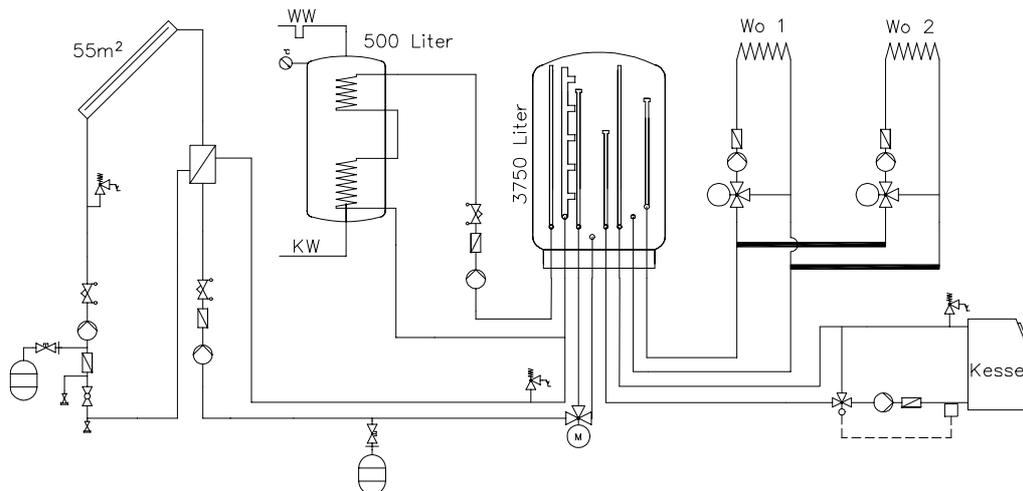


Abbildung 7.4: Hydraulischeschema der Testanlage 1 in Graz

Die Low Flow Betriebsweise der Anlage macht eine große hydraulische Länge im Kollektor notwendig. Diese beträgt 20 m. Die Kollektorfläche ist in drei Felder zu je 18,3 m² geteilt, die drei Felder werden parallel durchströmt und sind nach Tichelmann verschaltet. Abbildung 7.9 in Kapitel 7.1.3 zeigt die hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder samt der Fühlerpositionen für die Regelung der Anlage und für die Messdatenerfassung.

7.1.2 Wärmebrückeneffekte

Die Anbindung des Fassadenkollektors an das Gebäude hat einen entscheidenden Einfluss auf den gesamten U-Wert der Außenwand. Eine thermisch nicht gut getrennte örtliche Anbindung des Kollektors stellt eine Wärmebrücke nach außen dar und vermindert den gesamten U-Wert der Wand signifikant.

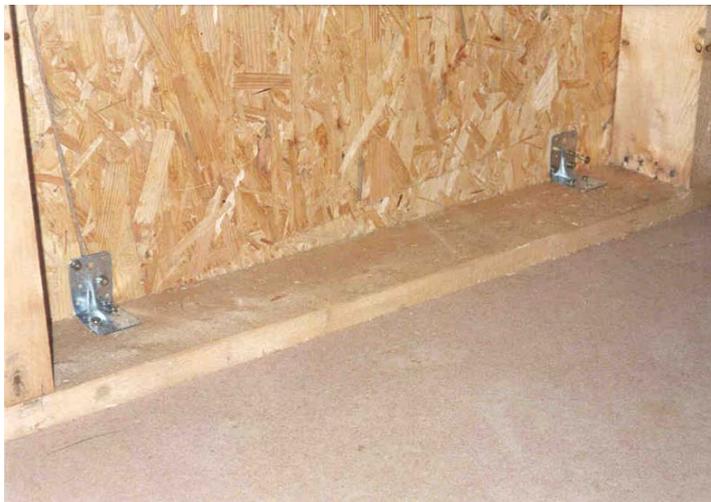


Abbildung 7.5: Befestigung der Kollektorrückwand (OSB-Platte) an den Holzriegeln mit Stahlwinkeln

Der Kollektor der Testfassade 1 hat einen Holzrahmen und eine Holzrückwand. Dadurch wird die Wärmeleitung effizient unterbunden. Die Rückwand der Kollektoren (OSB-Platte) ist mit Stahlwinkeln an das Holzriegelgerüst festgeschraubt (siehe Abbildung 7.5).

Für jedes der drei Kollektorfelder mit je 18,3 m² sind lediglich 10 Befestigungspunkte angeordnet worden. Durch diese Art der Befestigung - die geringe Anzahl an Stahlwinkeln und Befestigung der OSB-Rückwand an den Holzständerwänden - ist die Auswirkung von Wärmebrückeneffekten gering.

7.1.2.1 Wärmetechnische Variantenuntersuchung

Um diese Aussage jedoch zu verifizieren, wurde eine stationäre Wärmebrückenberechnung mittels eines mehrdimensionalen Programms durchgeführt. Folgende Randbedingungen wurden angenommen:

- Kollektortemperaturen: 120°C
- innere Raumtemperatur: 24°C
- äußere Oberfläche (Glas): 40°C

Die stationäre Berechnung ermöglicht keine Berücksichtigung der Schwankungen der Temperatur, wie sie normalerweise am Absorber durch das Fehlen der Sonneneinstrahlung in der Nacht und das Ansteigen und Absinken der Einstrahlung am Tag auftreten. Es wird eine Temperatur (in diesem Fall 120°C am Absorber) vorgeben und ein stationärer Zustand angenommen.

Die statische Berechnung erlaubt **keinen** Schluss auf Maximal- bzw. Minimaltemperaturen im Wandaufbau und an der Innenwand. Was diese Berechnung allerdings sehr wohl zeigt, ist der Einfluss der Befestigung und der Materialien der Wand auf den Verlauf der Temperaturzonen (vergleiche auch Kapitel 7.2.2).

Die Abbildung 7.6 und Abbildung 7.7 zeigen das Ergebnis der Berechnung. Man erkennt, dass der Befestigungsstahlwinkel den Temperaturverlauf nur sehr gering verändert. Der Einfluss ist bereits wenige Zentimeter nach dem Stahlwinkel in Richtung Innenwand nicht mehr zu erkennen.

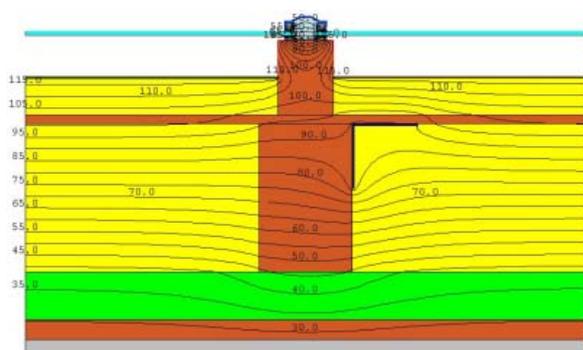


Abbildung 7.6: Isothermen in einer Holzriegelwand mit integriertem Fassadenkollektor bei 120°C Absorbtemperatur (stationär)

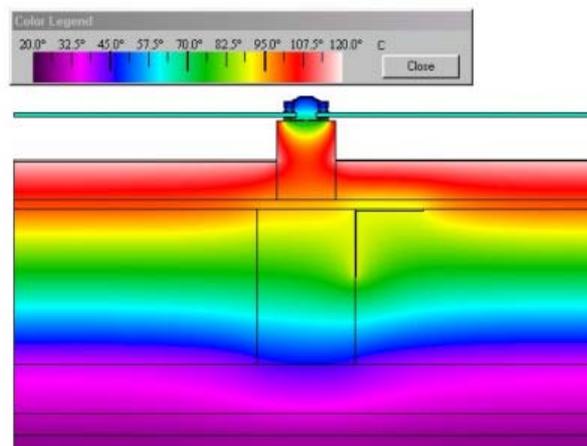


Abbildung 7.7: Errechnetes Infrarotbild einer Holzriegelwand mit integriertem Fassadenkollektor bei 120°C Absorbtemperatur (stationär)

Die Rechenergebnisse haben gezeigt, dass es zu keinen wesentlichen Effekten der Wärmeleitung im Wandaufbau mit Fassadenkollektor durch den beschriebenen Kollektor und seine Anbindung an das Gebäude kommt. Daher war es nicht notwendig Änderungen an der Ausführung des Fassadenkollektors zu veranlassen.

7.1.3 Messtechnisches Gesamtkonzept Testanlage 1

Gemessen und erfasst werden:

- Klimadaten (Globalstrahlung und Außentemperatur): Die Globalstrahlung wird horizontal und in der Fassade mit Hilfe von Pyranometern gemessen.
- Wärmestrom in der Wandkonstruktion: Die Erfassung der Wärmeströme in der Wand wird mit einer Wärmestrommessplatte durchgeführt.
- Temperaturen und Feuchte im Kollektor und im Wandaufbau: Die Absorbtemperatur werden an 7 unterschiedlichen Positionen auf der Absorberrückseite und einmal an der Ab-

sorbervorderseite gemessen. Die Feuchtigkeit bzw. zusätzliche Temperaturen werden auf zwei Höhen im Zwischenraum von Absorber und Glasabdeckung gemessen. Weiters werden im unteren Bereich des Kollektors die Feuchte und Temperaturwerte in jeder relevanten Ebene des Wandaufbaus gemessen. Schließlich werden die Feuchtigkeit und die Temperatur im Wohnraum hinter dem Fassadenkollektor erfasst.

- Temperaturfühler im Leitungsnetz befinden sich einmal im Solarrücklauf und drei mal im Solarvorlauf des Primärkreises bzw. jeweils im Vor- und Rücklauf des Sekundärkreises. Weitere Temperaturfühler befinden sich im oberen und im unteren Bereich des Warmwasserboilers und des Pufferspeichers.
- Wärmemengenzähler befinden sich im Primär- und Sekundärkreis der Solaranlage. Weiters wird die Wärmemenge erfasst, die von der Nachheizung in den Heizungsspeicher geht und diejenige, welche vom Heizungsspeicher in den Warmwasserspeicher geht.

Die Abbildung 7.8 zeigt den Schnitt durch den Wandaufbau der Testfassade 1 an der Stelle des Kollektorfeldes, an der die Messgeräte untergebracht sind. In der Mitte der unteren Hälfte des rechten Kollektorfeldes befindet sich in jeder Schicht des Wandaufbaus ein Temperatur- und Feuchtefühler. Die Wärmestromplatte befindet sich zwischen der Rückwand des Kollektors und der Gebäudedämmung. Die Abbildung 7.9 zeigt die Positionierung aller Messfühler am Kollektorfeld.

Es war geplant, den Temperatur- und Feuchtefühler Nummer 6 wie in Abbildung 7.8 zwischen Kollektordämmung und OSB-Platte zu setzen. Bei der Montage wurde der Fühler vermutlich aber zu weit in die Dämmung hineingeschoben. Somit liegt er viel näher am Absorber. Die Messergebnisse bestätigten diese Annahme (siehe Kapitel 7.1.4), da der Fühler zu hohe Temperaturen anzeigt.

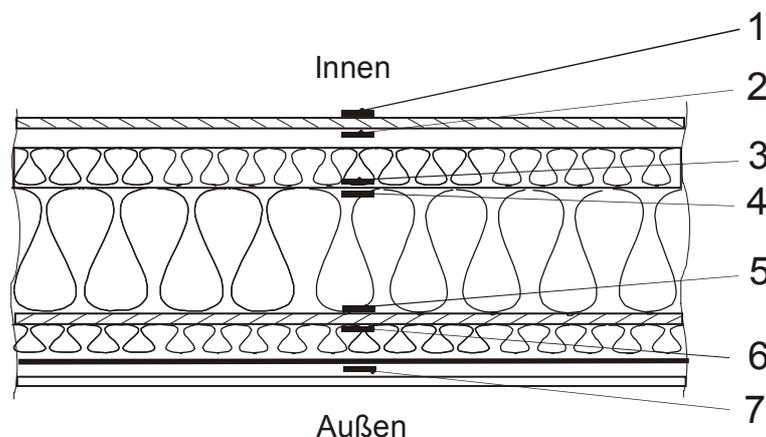


Abbildung 7.8: Positionierung der Messfühler im Wandaufbau der Testfassade 1

Tabelle 7.2: Art des Messgeräts und Position im Wandaufbau der Testfassade 1

Positionsnummer	Messgerät
1	Temperatur- und Feuchtefühler im Raum
2	Temperatur- und Feuchtefühler in der Streuschalung (Konterlattung)
3	Temperatur- und Feuchtefühler zwischen Dampfbremse und Holzwoleplatte
4	Temperatur- und Feuchtefühler zwischen Gebäudedämmung und Dampfbremse
5	Temperatur- und Feuchtefühler zwischen Kollektorrückwand und Gebäudedämmung, Wärmestrommessplatte
6	Temperatur- und Feuchtefühler in der Kollektordämmung
7	Temperatur- und Feuchtefühler im Luftraum zwischen Glas und Absorber

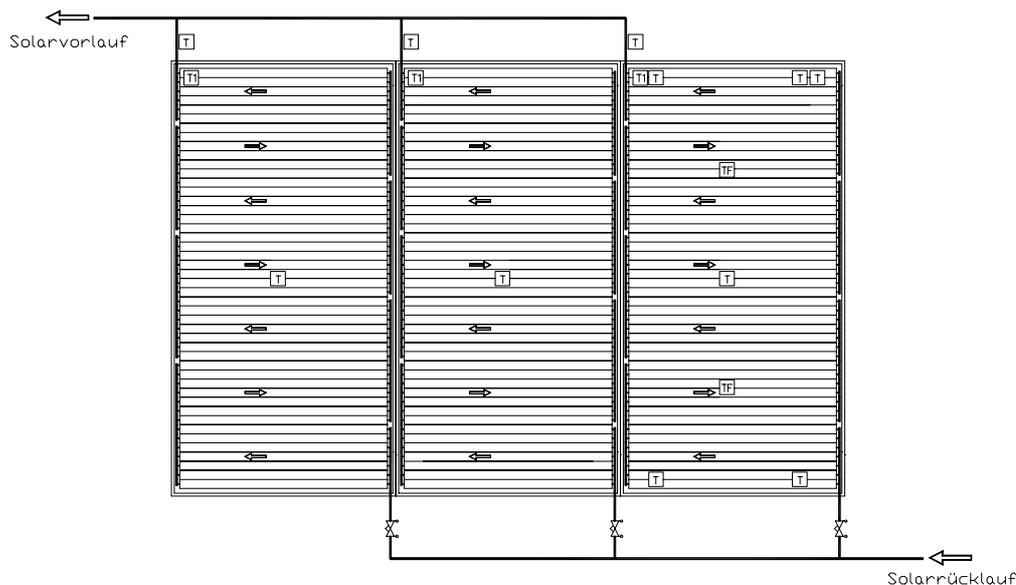


Abbildung 7.9: Positionierung der Messfühler am Kollektorfeld der Testfassade 1. In der unteren Hälfte des rechten Feldes werden Temperatur und Feuchtigkeit in jeder Ebene des Wandaufbaus vermessen.

7.1.4 Messergebnisse der Testanlage 1

Die Vermessung der Testfassade 1 wurde am 16. März gestartet. Die Anlage selbst wurde jedoch erst Ende Juni in Betrieb genommen.

7.1.4.1 Temperatur und Feuchtigkeit im Kollektor

Die Vermessung der Temperatur an verschiedenen Höhen des Kollektors sollte zeigen, ob sich eine Schichtung der Temperatur über die Höhe des Kollektors ergibt. Es befindet sich je ein Temperatur- und Feuchtefühler zwischen der Glasabdeckung und dem Absorber am Übergang von ersten zum zweiten und vom zweiten zum dritten Drittel über der Kollektorhöhe (siehe Fühler „TF“ in Abbildung 7.9).

Der Verlauf der Temperaturen im Kollektorluftraum einer typischen strahlungsintensiven Woche im Mai zeigen die Lufttemperaturen zwischen Glasabdeckung und Kollektor von 14.05.2001 bis 21.05.2001 (siehe Abbildung 7.10). Die Anlage befand sich zu diesem Zeitpunkt noch im Stillstand, sie wurde erst Ende Juni 2001 in Betrieb genommen.

Man erkennt, dass die Lufttemperatur in der oberen Hälfte der Kollektors nur etwa 3°C wärmer als in der unteren Hälfte des Kollektors ist. Dieser geringe Temperaturunterschied kommt dadurch zustande, dass die Anlage nicht läuft und daher auch der Absorber über die Höhe ein sehr gleichmäßiges Temperaturprofil aufweist. Dies ist in Abbildung 7.11 dargestellt. Man erkennt, dass die am oberen Ende des Absorbers gemessene Temperatur niedriger ist, als die in der Mitte und unten. Dies kommt dadurch zustande, dass die Verblechung, die am oberen Rand des Kollektors verläuft, ein schmales Schattenband auf den Kollektor wirft. Dieser Schatten bewirkt, dass der Absorber ein wenig auskühlt und daher geringere Temperaturen erfasst werden.

Abbildung 7.12 und Abbildung 7.13 zeigen den Zustand in einer strahlungsintensiven Woche im Oktober 2001. Die Anlage befand sich zu diesem Zeitpunkt in Betrieb. Man erkennt deutlich einen größeren Temperaturunterschied zwischen dem oberen und dem unteren Bereich des Absorbers und auch im Luftraum zwischen Absorber und Glas. Dies kommt dadurch zustande, dass das Wärmeträgermedium mit einer geringeren Temperatur in den Kollektor eintritt und erwärmt oben aus dem Kollektor wieder austritt.

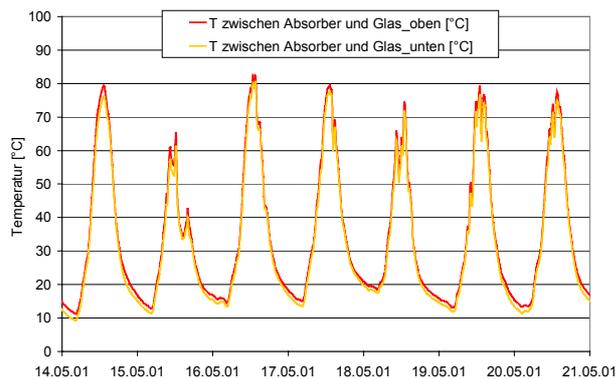


Abbildung 7.10: Temperaturen im Kollektorluftraum vom 14.05.2001 bis 21.05.2001 in der oberen und in der unteren Hälfte des Kollektors

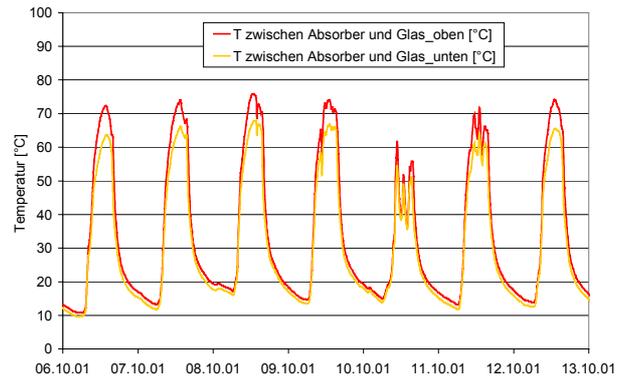


Abbildung 7.12: Temperaturen im Kollektorluftraum vom 6.10.2001 bis 13.10.2001 in der oberen und in der unteren Hälfte des Kollektors

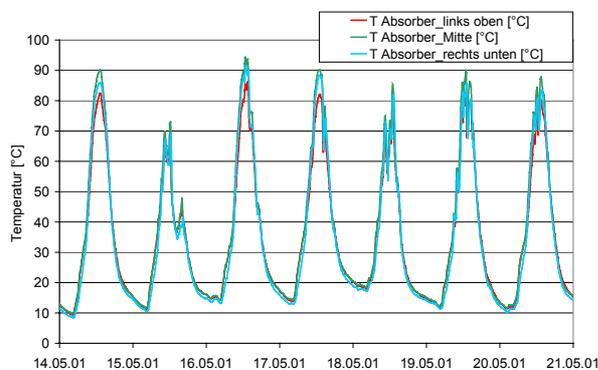


Abbildung 7.11: Temperaturen des Absorbers oben, in der Mitte und unten vom 14.05.2001 bis 21.05.2001

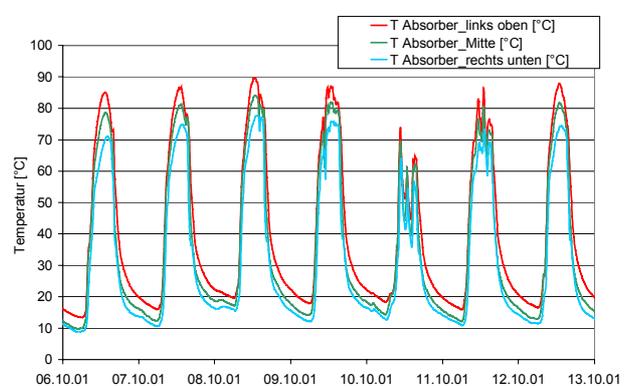


Abbildung 7.13: Temperaturen des Absorbers oben, in der Mitte und unten vom 6.10.2001 bis 13.10.2001

Der Verlauf der relativen Feuchtigkeit in der oberen und in der unteren Hälfte des Kollektorluftraumes zeigt, dass hier kaum Unterschiede bestehen (Abbildung 7.14). Bei 10°C bis 20°C Lufttemperatur (siehe Abbildung 7.10) werden maximale relative Feuchtigkeiten von 25% bis 30% erreicht. Auch bei laufendem Kollektor besteht kein Unterschied zwischen der Feuchte im oberen und im unteren Bereich des Kollektors. In der gesamten Messzeit von März 2001 bis Februar 2002 wurden nie höhere relative Feuchten als 40% im Kollektorluftraum erfasst.

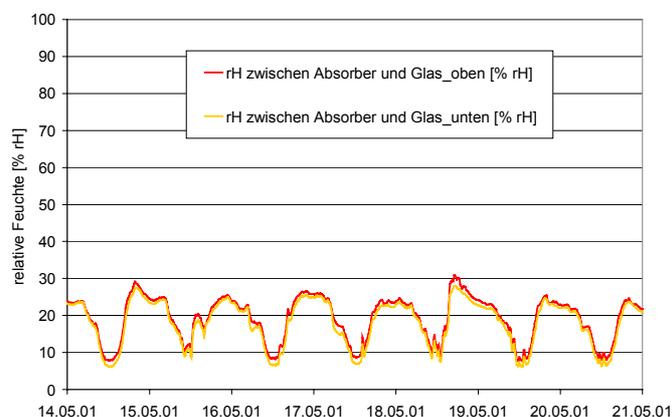


Abbildung 7.14: Relative Feuchtigkeit vom 14.05.2001 bis 20.05.2001 im Kollektorluftraum

7.1.4.2 Temperatur- und Feuchtigkeit im Wandaufbau

Ziel der Vermessung der Temperatur im Wandaufbau war es festzustellen, ob die im Kollektor auftretenden Temperaturen ausreichend über den Wandaufbau abgebaut werden, oder ob es zu Überhitzungserscheinungen kommt. Ziel der Vermessung der Feuchtigkeit im Wandaufbau war es festzustellen, ob es zu einer nicht zulässigen Kondensation von Feuchtigkeit im Wandaufbau kommt und ob der Verzicht auf eine Hinterlüftungsebene hinter dem Kollektor zulässig ist.

Abbildung 7.15 zeigt die Temperaturverläufe in den verschiedenen Schichten im Wandaufbau in einer strahlungsintensiven Woche vom 1.04.2001 bis 9.04.2001. Das Haus war noch nicht bewohnt und unbeheizt. Auch waren noch nicht alle Fenster eingesetzt. Dadurch sind die geringen Innentemperaturen erklärbar. Die Temperaturen am Absorber liegen maximal bei 108°C. Deutlich ist der Abbau der Temperatur über den Wandaufbau erkennbar.

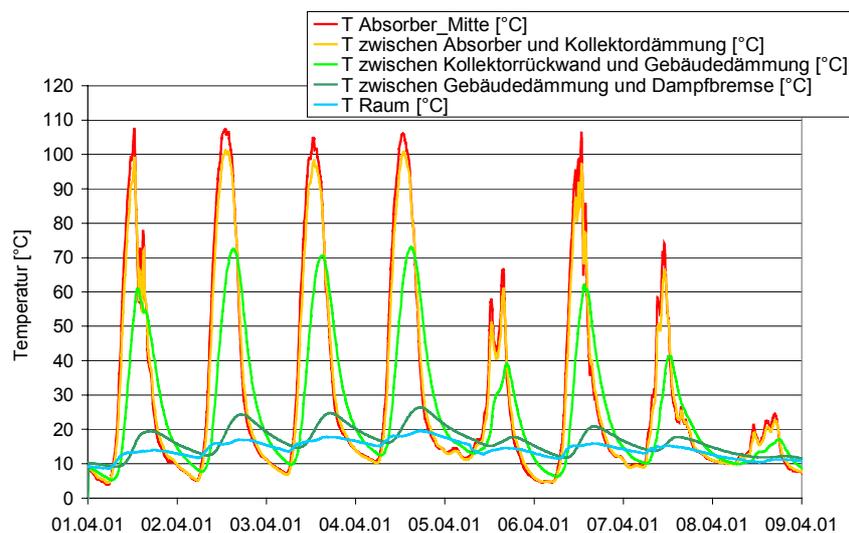


Abbildung 7.15: Temperaturen im Wandaufbau vom 1.04.2001 bis 9.04.2001

Abbildung 7.16 zeigt die in dieser Zeit erfasste relative Feuchtigkeit. Man erkennt, dass am Beginn der Messungen zunächst 100% relative Feuchtigkeit in der Schicht zwischen Gebäudedämmung und Dampfbremse erfasst wurden. Diese Feuchtigkeit kam durch die hohe Feuchtigkeit zustande, mit der die verwendeten Baumaterialien Holz und Dämmung eingebaut wurden. Diese Baufeuchte musste zunächst austrocknen. Da dies nach Außen aufgrund des Kollektors nicht möglich war, erfolgte die Austrocknung nach innen. Dies war möglich, da der Wandaufbau nach innen dampfaffen ist.

Die eingesetzte Dampfbremse hat einen geringen sd-Wert (kleiner 0,8 m) und ermöglichte so das Austrocknen der Wand. Abbildung 7.17 zeigt die relative Feuchtigkeit im Wandaufbau in einer strahlungsreichen Woche im Mai. Die Feuchtigkeit erreichte in dieser Zeit maximale Werte von 60% bis 90% zwischen Gebäudedämmung und Dampfbremse.

Die Abbildung 7.18 zeigt, dass die Feuchtigkeit im Wandaufbau über den Messzeitraum von März 2001 bis Februar 2002 signifikant gesunken ist. Man erkennt, dass die mittlere monatliche relative Feuchtigkeit zwischen der Gebäudedämmung und der Dampfbremse von März bis Juni 2001 von 60% auf 40% abgenommen hat. Bis Februar 2002 sank dieser Wert weiter bis auf 30%. Die mittlere monatliche relative Feuchtigkeit zwischen der Kollektorrückwand und der Gebäudedämmung verlief im Messzeitraum relativ konstant.

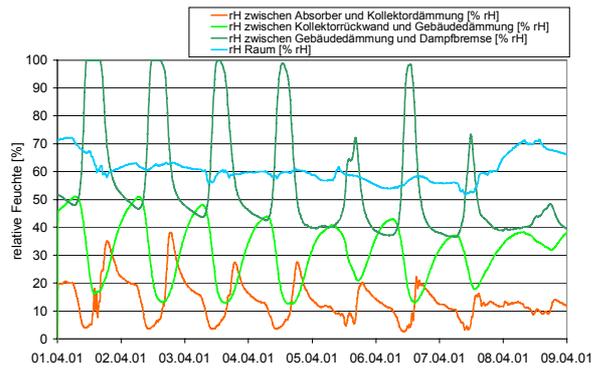


Abbildung 7.16: Relative Feuchtigkeit im Wandaufbau vom 1.04.2001 bis 9.04.2001

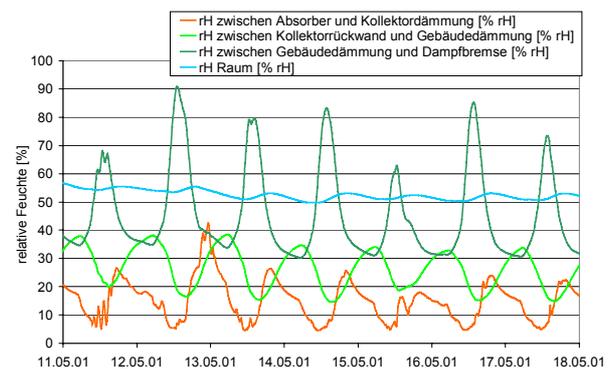


Abbildung 7.17: Relative Feuchtigkeit im Wandaufbau vom 11.05.2001 bis 18.05.2001

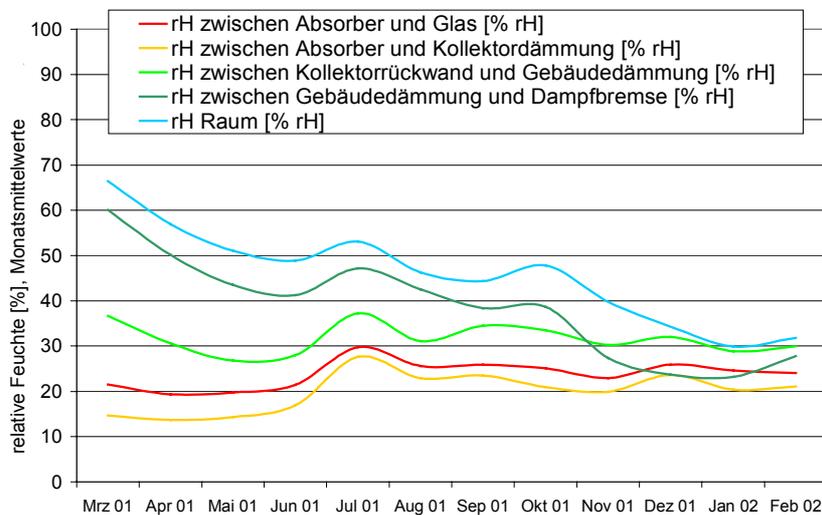


Abbildung 7.18: Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit zwischen Gebäudedämmung und Dampfbremse von März 2001 bis Februar 2002.

Die im Kapitel 4.2.1.1 berechneten Feuchtigkeitsmengen und daraus abgeleitete Empfehlung für den inneren Dampfsperrwert von Dampfbremsen ($s_D \geq 20$ m) im Holzständer- und –massivbau gelten für „trockene“ Bauteilkonstruktionen. Die an die ÖNorm B 8110-2 „Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdampfdiffusion und Kondensationsschutz“ angelehnte und durchgeführte Berechnung berücksichtigt keinerlei Baufeuchtigkeiten im Wandaufbau. Die Verwendung und Einhaltung dieser Rechtsvorschrift für Holzständerkonstruktionen mit integrierten Fassadenkollektoren ist daher nur bedingt geeignet.

Die Praxis bei der Herstellung von Holzständerkonstruktionen im Wohnbau auf der Baustelle hat gezeigt, speziell auch bei der Testfassade 1, dass kaum trockenes Bauholz verwendet wird.

Ein dampf- bzw. luftdichtes Abschließen von nassen Holzkonstruktionen einerseits durch den außen angeordneten Kollektor und andererseits durch die innenliegende dichte Dampfbremse ist abzulehnen. Ein ständig feuchtwarmes Klima in einer diffusionsdicht abgeschlossenen Holzbauteilkonstruktion führt unweigerlich innerhalb kürzester Zeit zu Schimmel- und Pilzbildungen und somit zur Zerstörung des Holzes.

Aus den Messergebnissen zur Feuchtigkeit im Wandaufbau kann man schließen, dass bei der Errichtung von fassadenintegrierten Kollektoranlagen im Holzriegelbau besonders auf

entsprechende trockene Baumaterialien (geringe Holz- und Dämmstofffeuchtigkeit) zu achten ist. Außerdem ist die Holzkonstruktion während der Montagezeit unbedingt vor Witterungseinflüssen zu schützen. Die bauphysikalischen Anforderungen der entsprechenden Normen und Richtlinien sind grundsätzlich einzuhalten, jedoch im gegebenen Fall auf Sinnhaftigkeit zu prüfen.

Weiters ist darauf zu achten, eine innenliegende Dampfbremse, falls bauphysikalisch erforderlich, zu wählen, die so weit diffusionsoffen ist, dass die Konstruktion hinreichend nach innen austrocknen kann. Im Fall der Testanlage wurde eine Dampfbremse mit einem sd-Wert kleiner als 0,8 m verwendet. Dampfbremsen mit einem sd-Wert kleiner als 0,3 m gelten als diffusionsoffen.

7.1.4.3 Wärmestrom

Die Wärmestrommessplatte befindet sich im Wandaufbau zwischen Kollektorrückwand und Gebäudedämmung. Abbildung 7.19 zeigt den Verlauf des Wärmestroms im Wandaufbau hinter dem Fassadenkollektor für strahlungsintensive und strahlungsarme Tage im Jänner 2002. Der Wärmestrom in den Raum ist umso größer, je höher die Temperatur am Absorber ist. Auch an den Tagen, an denen der Absorber wegen zu geringer Einstrahlung in Stillstand ist (13 bis 17. Jänner 2002), erkennt man tagsüber eine leichte Erhöhung des Wärmestromes. Dies bewirkt eine Verminderung des effektiven U-Werts des gesamten Wandaufbaus.

Der statische U-Wert der Wand mit Fassadenkollektor liegt bei $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Für die strahlungsintensive Zeit von 6. bis 10. Jänner 2002 wird der effektive U-Wert auf $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ verbessert. In der strahlungsarmen Zeit von 13. bis 17. Jänner 2002 wird eine Verminderung auf $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ erzielt. Der effektive U-Wert wird je nach Einstrahlung im Jänner um 30% bis 65% gegenüber dem statischen U-Wert verbessert.

Die Raumtemperatur wurde an der Innseite der Südwand gemessen. Der Fühler befand sich ca. 3 cm von der Innenwand entfernt und hat gegenüber der Wand eine Papierabdeckung, um ihn vor Strahlungseinfluss von der Wand abzuschirmen. Es ist jedoch anzunehmen, dass der Fühler etwas höhere Temperaturen als die mittlere Raumtemperatur misst, wenn der Wärmestrom in den Raum gerichtet ist, und etwas niedrigere, wenn der Raum über die Wand Wärme verliert. Da der effektive U-Wert aus dem Wärmestrom und der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur ermittelt wird, wird dieser kleine Fehler somit übertragen. Gewinne für den Raum werden somit etwas zu klein und Verluste etwas zu groß ermittelt. Diese Fehler können aber im Rahmen der sonst erreichten Messgenauigkeit vernachlässigt werden.

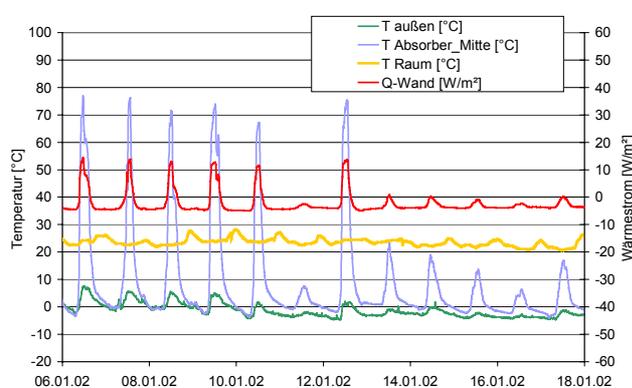


Abbildung 7.19: Wärmestromtransport vom 6.01.2002 bis 18.01.2002

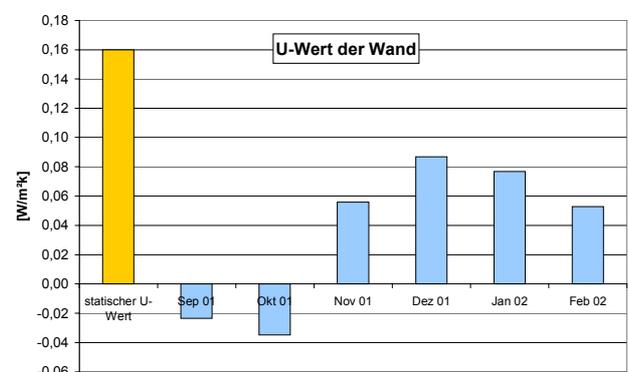


Abbildung 7.20: Statischer U-Wert und effektive U-Werte der Wand, Testfassade 1, September 2001 bis Februar 2002

Abbildung 7.20 zeigt die monatlichen effektiven U-Werte für die Testfassade Leichtbau von September 2001 bis Februar 2002. Diese wurden aus dem Quotienten des mittleren monatlichen Wärmestromes und der Temperaturdifferenz zwischen der Umgebung und dem Raum gebildet (die Außentemperatur wurde erst ab September 2001 erfasst). Man erkennt, dass der effektive U-Wert der Wand im gesamten Messzeitraum unter dem statischen U-Wert lag. Im Mittel wurde von September 2001 bis Februar 2002 ein effektiver U-Wert von $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ erzielt, was eine Verminderung der Transmissionswärmeverluste um ca. 76% bedeutet.

In den Monaten September und Oktober 2001 ist ein leicht negativer U-Wert ermittelt worden. Dieser Effekt ist jedoch so gering, dass kein Wärmegewinn über die Fassade erzielt wird, sondern lediglich die Transmissionswärmeverluste über diesen Wandabschnitt unterbunden werden.

7.1.4.4 Wärmemengen

Das Ziel der Erfassung der Wärmemengen war die Ermittlung des Nutzungsgrades des Kollektors und des solaren Deckungsgrades der Anlage. So wurde der Kollektorertrag gemessen, weiters wurde die Wärmemenge erfasst, die von der Nachheizung in den Heizungsspeicher geht und diejenige, welche vom Heizungsspeicher in den Warmwasserspeicher geht

Abbildung 7.21 zeigt die Einstrahlung in die Fassade, den Kollektorertrag und den ermittelten Nutzungsgrad des Kollektors von August 2001 bis Februar 2002. Abbildung 7.22 zeigt weiters die Nachheizung durch den Pelletskessel und den solaren Deckungsgrad der Anlage (erst ab August 2001 wurden alle diese Daten fehlerfrei erfasst).

Im Mittel lag der Kollektornutzungsgrad im Zeitraum von August 2001 bis Februar 2002 bei 24%, der solare Deckungsgrad lag bei 30%.

Der Kollektorertrag betrug in diesem Zeitraum $127 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ Kollektorfläche})$. Der jährliche Kollektorertrag wurde auf $225 \text{ kWh}/\text{m}^2$ simuliert. Geht man von einem relativ gleichmäßigen Einstrahlungsprofil in die Fassade aus (siehe Abbildung 5.1, Kapitel 5.1.1.1), so ergibt die Hochrechnung aus dem bisher ermittelten Ertrag ca. $220 \text{ kWh}/\text{m}^2$, was in etwa dem simulierten Wert entspricht.

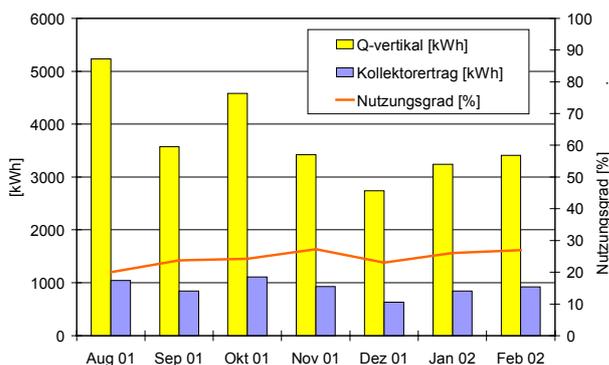


Abbildung 7.21: Einstrahlung in die Fassade, Kollektorertrag und Nutzungsgrad des Kollektors von August 2001 bis Februar 2002

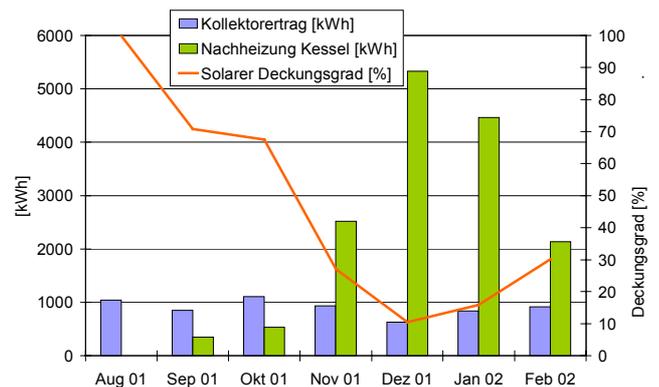


Abbildung 7.22: Kollektorertrag, Nachheizung durch den Pelletskessel und solarer Deckungsgrad der Anlage von August 2001 bis Februar 2002

7.2 Testanlage 2 – Bürogebäude St.Veit

7.2.1 Anlagenbeschreibung

Die Testanlage 2 dient der Warmwasserbereitung für ein Bürogebäude in St. Veit an der Glan. Der Kollektor wurde auf der SSW-Fassade des Verwaltungsgebäudes der Firma GREENoneTEC montiert. Die Bruttokollektorfläche beträgt 24,7 m² (4,932 m x 5,009 m), es wurde ein Kollektor mit selektiver Beschichtung verwendet. Die Abweichung der Fassade von der Südausrichtung nach Westen beträgt 27°. Der Kollektor wurde auf eine Ziegelwand (25 cm hochporöser Ziegel) montiert. Den Wandaufbau mit dem integrierten Fassadenkollektor zeigt Abbildung 7.23, Tabelle 7.3 gibt die Abmessungen der Schichten des Wandaufbaus wieder.

Der gesamte Kollektoraufbau samt Dämmung und Glasabdeckung hat eine Tiefe von 8,8 cm. Dies ergibt sich aus dem Anspruch, in einer Ebene an die restliche Fassade anzuschließen. Die verbleibende Fassade wird mit Eternit-Platten abgedeckt. Mit einem Fassadenanschlusselement wird der Kollektor mit der restlichen Fassade verbunden.

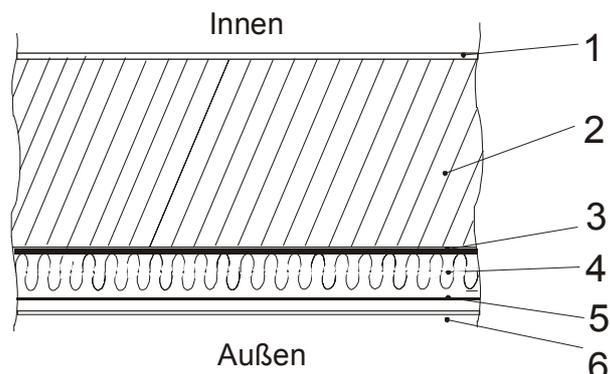


Abbildung 7.23: Wandaufbau der Testfassade 2, Ziegel 25

Tabelle 7.3: Wandaufbau der Testfassade 2

Nr.	Schichtaufbau von Innen nach Außen	Abmessungen [mm]
1	Innenputz	15
2	Ziegel	250
3	Kollektorrückwand, Pressspanplatte	6
4	Steinwolleplatte	50
5	Absorber	-
6	Glasabdeckung, ESG	4

Der Kollektor besteht aus drei Feldern zu je 8,3 m². Die drei Kollektorfelder wurden vorgefertigt. Abbildung 7.24 zeigt die Montage eines der drei Kollektorelemente mit Hilfe eines Kranes. Die Kollektoren wurden einjustiert und anschließend mittels örtlich angebrachter Halterungen an der Außenwand festgeschraubt.

Der hohen Vorfertigungsgrad der Kollektoren erspart einerseits Kosten durch eine verminderte Montagezeit vor Ort und verhindert andererseits, dass die Kollektoren durch die Arbeit auf der Baustelle verschmutzen. Weiters erlangt man so eine möglichst große Unabhängigkeit von den Witterungsverhältnissen. Es besteht keine Gefahr mehr, dass bei einem eventuellen Regen während der Montage Wasser in die Kollektoren eintritt. Abbildung 7.25 zeigt die fertige Testfassade.

Es wurden wärmetechnische Untersuchungen durchgeführt, um die wärmebrückentechnisch günstigste Montage zu finden (siehe Kapitel 7.2.2). Aufgrund der Rechenergebnisse wurde zwischen Glasabdeckleiste und Halteschiene (beide aus Aluminium) und zwischen der Ziegelwand und Montagehalterung des Kollektors 5 mm Kunststoff (Acetal) eingesetzt. Dadurch werden Wärmebrücken vermindert.



Abbildung 7.24: Montage des Versuchskollektors mit einem Kran.



Abbildung 7.25: Versuchskollektor, 24,7 m² Bruttokollektorfläche über das 1. und 2. OG, Ansicht der Südfassade des Verwaltungsgebäudes

Das Hydraulikkonzept der Anlage sieht eine Versorgung des Bürogebäudes mit Warmwasser vor (Waschbecken, Dusche, Teeküche). Die vom Kollektor gelieferte Wärme wird über innen liegende Wärmetauscher in den Speicher eingebracht (siehe Abbildung 7.26). Die Nachheizung des Speichers erfolgt durch Fernwärme. Abbildung 7.27 gibt die hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder wieder.

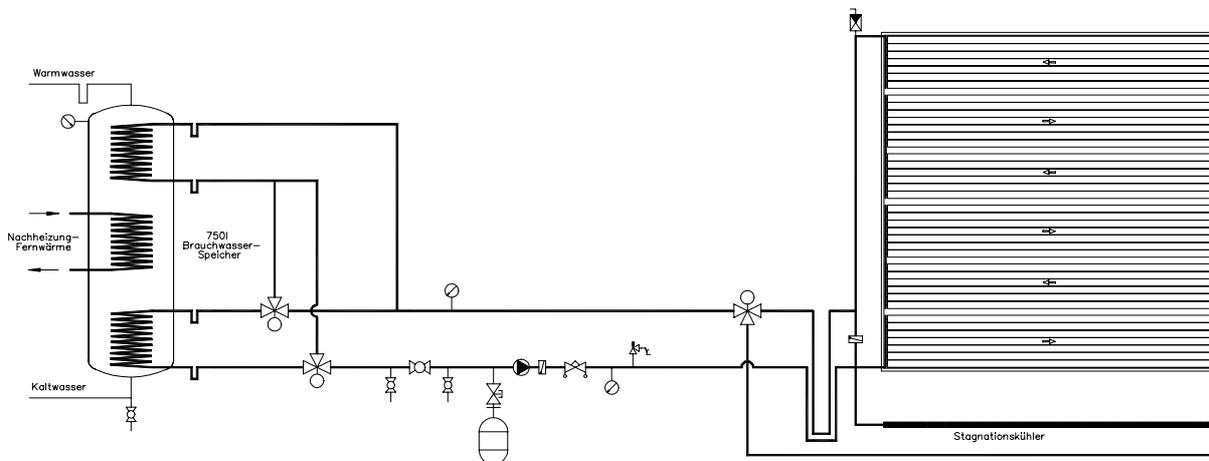


Abbildung 7.26: Hydraulikschema der Testanlage 2

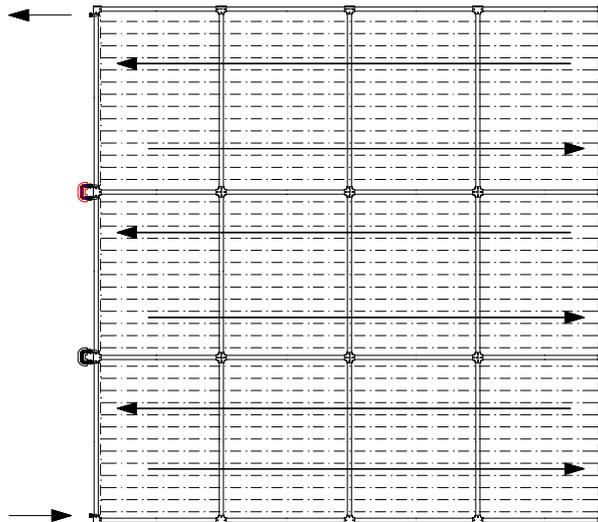


Abbildung 7.27: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder der Testfassade 2

7.2.2 Wärmebrückeneffekte

Die Anbindung des Fassadenkollektors an das Gebäude hat einen entscheidenden Einfluss auf den gesamten U-Wert der Außenwand. Eine schlechte örtliche Anbindung des Kollektors stellt eine Wärmebrücke nach außen dar und vermindert den gesamten U-Wert der Wand signifikant.

Um eine Abschätzung des Wärmeverlustes und der Oberflächentemperatur an Grenzschichten abzuklären, wurden einige Varianten der Kollektorkonstruktion und der Befestigung am Mauerwerk mittels eines mehrdimensionalen Wärmebrückenprogramms (Therm) durchgerechnet und ausgewertet. Die Berechnung erfolgt stationär mit den angegebenen Randbedingungen.

Die Ergebnisse der Berechnungen wurden verwendet, um den geplanten Fassadenkollektor in wärmetechnischer Hinsicht zu optimieren.

7.2.2.1 Wärmetechnische Variantenuntersuchung

Für die durchgeführten Variantenberechnungen wurden folgende Randbedingungen definiert:

- Außentemperatur: $t_a = -12 \text{ °C}$
- Innentemperatur: $t_i = +20 \text{ °C}$
- Ziegelmauerwerk 25 cm ($\lambda = 0,50$) innen verputzt
- Berechnung eines Randpfostens des Kollektorfeldes
- Annahme der örtlichen Befestigung des Kollektors am Ziegel alle 1,0 m
- Berechnung der eingeschlossenen Luft nach CEN

Bei den Berechnungen wurden variiert:

- Kollektorrückwand zur Aussteifung: Holz (6 mm Sperrholzplatte) oder Aluminium (3 mm)
- Glasabdeckleiste: mit und ohne thermische Trennung (Kunststoffstege anstatt Aluminium)
- Die örtliche Befestigung am Ziegel: mit und ohne thermische Trennung in Form eines Kunststoffes (Polyamid, 5 mm)

Tabelle 7.4 gibt die Ergebnisse der Variantenberechnung wieder. Die Temperaturangabe „Befestigung“ beziehen sich auf die Temperatur des Ziegels direkt bei der örtlichen Befestigung des Kollektors am Ziegel. Die Temperaturangabe „Rückwand“ bezieht sich auf einen Punkt in der Aussteifungsplatte aus Aluminium oder Holz. Dieser ist 0,5 m von der örtlichen Befestigung des Kollektors am Ziegel entfernt.

Tabelle 7.4: Darstellung der Ergebnisse der wärmetechnischen Variantenuntersuchung

	Variante	Vergleichs U-Wert [W/m ² K] L _{ges} = 0,50 m	Temperatur [°C]
1	-Blechrückwand als Aussteifung, -keine thermische Trennung der örtlichen Befestigung am Ziegel -keine thermische Trennung der Glasabdeckleiste	0,87	Befestigung = - 7,3 Rückwand = - 3,6
2	-Holzrückwand als Aussteifung, -keine thermische Trennung der örtlichen Befestigung am Ziegel -keine thermische Trennung der Glasabdeckleiste	0,64	Befestigung = - 9,6 Rückwand = + 5,7
3	-Blechrückwand als Aussteifung, -thermisch getrennte örtliche Befestigung am Ziegel -keine thermische Trennung der Glasabdeckleiste	0,86	Befestigung = - 6,8 Rückwand = - 3,5
4	-Blechrückwand als Aussteifung -keine thermische Trennung der örtlichen Befestigung am Ziegel -thermische Trennung der Glasabdeckleiste	0,81	Befestigung = - 5,2 Rückwand = - 2,0
5	-Holzrückwand als Aussteifung -keine thermische Trennung der örtlichen Befestigung am Ziegel -thermische Trennung der Glasabdeckleiste	0,63	Befestigung = - 8,3 Rückwand = + 5,9

Da die Konstruktion bei Variante 1 nicht thermisch getrennt ausgeführt ist, kommt es zu einer Erhöhung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) in diesem Bereich und durch die entstehende Wärmebrücke zu einer Reduzierung der Oberflächentemperatur bei der örtlichen Befestigung und der innenliegenden angrenzenden Aussteifungsplatte. Durch die geringen Temperaturen an den Grenzschichten kann rechnerisch Kondensat an den Befestigungselementen und der Aussteifungsplatte anfallen.

Bei einer thermisch nicht getrennten Kollektormontage ergeben sich rechnerisch Temperaturen hinter der Blechwandausstreifung von $t = -3,6^{\circ}\text{C}$ („Rückwand“). Durch eine thermische Unterbrechung zwischen Deckleiste und Formrohr kann die Temperatur geringfügig um $+1,6\text{ K}$ auf $t = -2,0^{\circ}\text{C}$ angehoben werden (Variante 4). Als weitere Variante mit Blechrückwand wurde eine Unterlegung der örtlichen Befestigungselemente zum Mauerwerk ohne eine thermische Unterbrechung zwischen Deckleiste und Formrohr untersucht (Variante 3). Damit konnte eine geringe Erhöhung der Oberflächentemperatur zwischen Mauerwerk und Befestigungsteil erzielt werden.

Durch die Ersetzung der rückwärtigen Blechaussteifung durch einen Holzwerkstoff ist jedoch eine Erhöhung der Schichttemperatur zwischen Ziegelmauerwerk und Kollektor um $+9,3\text{ K}$ auf $t = +5,7^{\circ}\text{C}$ möglich (Variante 2). Durch zusätzliche Unterlegung der örtlichen Befestigungselemente zum Mauerwerk (Variante 5) konnte eine weitere Verbesserung erzielt werden.

Prinzipiell wird eine Kollektorkonstruktion mit einer thermisch getrennten Deckleiste aus den vorher genannten Gründen unbedingt empfohlen. Diese thermische Trennung der Deckschicht vom Pfosten oder Riegel hat auf die Bauteilgrenztemperatur zwischen Ziegelwand und Kollektor und auf den Wärmeverlust im Winter einen Einfluss. Allerdings wäre höchstwahrscheinlich die thermische Trennung des Profils (mit Kunststoffstegen) bezüglich einer

Wärmeübertragung und Herabsetzung der Grenztemperatur durch die Beeinflussung der Wärmebrücke noch wesentlich effizienter.

Beim Einbau einer metallischen Platte (Alu) als hintere Kollektoraussteifung sollte diese zumindest vom Kollektorrahmen thermisch getrennt sein. Die Anordnung einer Platte aus Holzwerkstoff zur Stabilisierung sollte allerdings gegenüber einer Alu-Platte wärmetechnisch unbedingt bevorzugt werden.

Ebenso wird eine Hinterlegung der örtlichen Befestigungselemente mit einem druckfesten wärmedämmenden Material (PVC, Polyamid etc.) empfohlen. Somit können die Wärmebrücke und der Wärmeverlust nochmals reduziert werden.

Aufgrund der Rechenergebnisse wurde zwischen Glasabdeckleiste und Halteschiene (beide aus Aluminium) und zwischen der Ziegelwand und Montagehalterung des Kollektors 5 mm Kunststoff (Acetal) eingesetzt. Weiters wurde als Kollektorrückwand eine Sperrholzplatte gewählt, die gegenüber einer Aussteifung aus Aluminium eine deutliche Verbesserung im Bezug auf die Wärmeleitung darstellt.

Abbildung 7.28 und Abbildung 7.29 zeigen den Verlauf der Isothermen und die errechnete Thermographieaufnahme der schließlich realisierten Wand mit Fassadenkollektor. Man erkennt, dass im Bereich der örtlichen Befestigung am Ziegel die Temperaturzonen stark durch den Fassadenkollektor beeinflusst sind.

Folgende Randbedingungen wurden für die Berechnung angenommen:

- Kollektortemperaturen: 120°C
- innere Raumtemperatur: 24°C
- äußere Oberfläche (Glas): 40°C

Die stationäre Berechnung ermöglicht keine Berücksichtigung der Schwankungen der Temperatur, wie sie normalerweise am Absorber durch das Fehlen der Sonneneinstrahlung in der Nacht und das Ansteigen und Absinken der Einstrahlung am Tag auftreten. Es wird eine Temperatur (in diesem Fall 120°C am Absorber) vorgeben und ein stationärer Zustand angenommen. Dadurch erlaubt diese Rechnung **keinen** Schluss auf die im Wandaufbau und an der Innenwand auftretenden Temperaturen. Was diese Berechnung allerdings sehr wohl zeigt, ist der Einfluss der Befestigung und der Materialien der Wand auf den Verlauf der Temperaturzonen (vergleiche auch Kapitel 7.1.2).

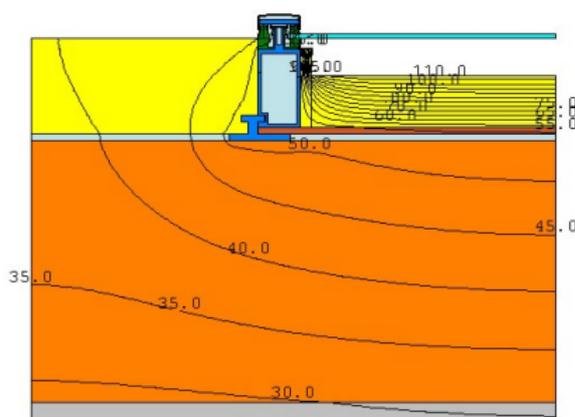


Abbildung 7.28: Verlauf der Isothermen in einer Ziegelwand mit integriertem Fassadenkollektor bei 120°C Absorbtemperatur (stationär)

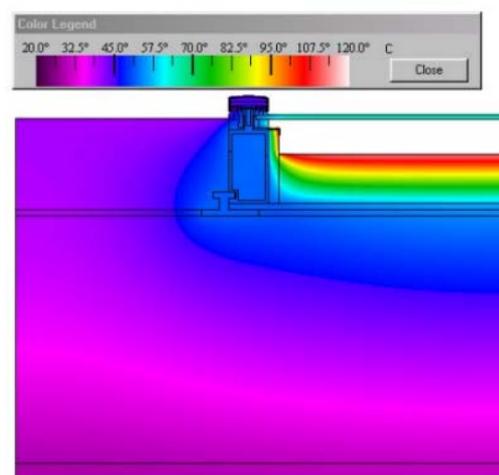


Abbildung 7.29: Errechnetes Infrarotbild einer Ziegelwand mit integriertem Fassadenkollektor bei 120°C Absorbtemperatur (stationär)

7.2.3 Messtechnisches Gesamtkonzept Testanlage 2

Gemessen und erfasst werden:

- Klimadaten (Globalstrahlung und Außentemperatur): Die Globalstrahlung wird horizontal und in der Fassade mit Hilfe von Pyranometern gemessen.
- Wärmestrom in der Wandkonstruktion: Die Erfassung der Wärmeströme in der Wand wird mit einer Wärmestrommessplatte durchgeführt, die an der Innenseite der Wand angebracht ist (siehe Abbildung 7.30).
- Temperaturen und Feuchte im Kollektor und im Wandaufbau: Die Feuchtigkeit und die Temperatur werden im Zwischenraum von Absorber und Glas und zwischen Absorber und Kollektordämmung erfasst. Weiters werden die Feuchte und Temperaturwerte zwischen Kollektorrückwand und Ziegel und im Raum hinter dem Fassadenkollektor gemessen.

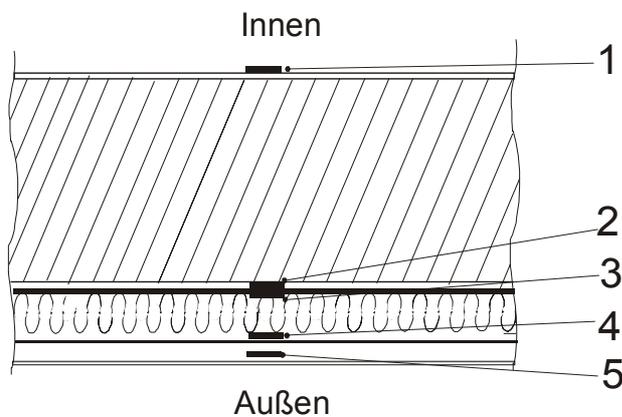


Abbildung 7.30: Positionierung der Messfühler im Wandaufbau der Testfassade 2

Tabelle 7.5: Art des Messgeräts und Position im Wandaufbau der Testfassade 2

Positionsnummer	Messgerät
1	Temperatur- und Feuchtefühler im Raum, Wärmestrommessplatte
2	Temperatur- und Feuchtefühler zwischen Kollektorrückwand und Mauerwerk
3	Temperatur- und Feuchtefühler auf der Rückseite der Kollektordämmung
4	Temperatur- und Feuchtefühler zwischen Absorber und Kollektordämmung
5	Temperatur- und Feuchtefühler im Luftraum Zwischenraum Glas und Absorber

7.2.4 Messergebnisse der Testanlage 2

Die Kollektoren der Testanlage 2 wurden im Juli 2001 montiert. Die Solaranlage ging im November 2001 in Betrieb. Daher sind die Temperaturen, die bis dahin erfasst wurden, im Stagnationszustand der Solaranlage gemessen.

7.2.4.1 Temperatur und Feuchtigkeit im Kollektor

Die Temperatur und die Feuchtigkeit im Kollektorluftraum, zwischen Absorber und Kollektordämmung und nach der Kollektordämmung wurden vermessen. Abbildung 7.31 zeigt die erfassten Temperaturen im gesamten Wandaufbau im Oktober 2001, die Anlage befand sich zu diesem Zeitpunkt noch nicht in Betrieb. In Abbildung 7.32 sind die Temperaturen im Jänner 2002 aufgetragen. Es handelte sich jeweils um eine strahlungsintensive Woche. Man erkennt, dass die maximalen Temperaturen im Kollektor im Jänner bei Betrieb der Anlage nur

um ca. 20 K niedriger sind, als bei Stillstand der Anlage im Oktober. Das liegt am relativ gleichmäßigen Einstrahlungsprofil in die Vertikale.

Bei geringer Einstrahlung im Winter werden zwischen Absorber und Kollektordämmung Temperaturen bis zu 15°C gemessen. Auch in strahlungsarmen Zeiten im Winter wird so eine Verbesserung des effektiven U-Werts der Wand erreicht (siehe Kapitel 7.2.4.3, Wärmestrom).

Die relative Feuchtigkeit im Kollektorluftraum erreicht im gesamten erfassten Zeitraum von August 2001 bis Februar 2002 maximale Werte von 60% und ist daher nicht bedenklich. Die relative Feuchtigkeit nach dem Absorber bzw. nach der Kollektordämmung sind durchwegs niedriger, als die relative Feuchtigkeit im Kollektorluftraum. Dies kommt durch die höheren Temperaturen, die hier herrschen, zustande. Die relative Feuchtigkeit in den verschiedenen Bereichen des Kollektors werden in den Abbildungen im folgenden Kapitel (Temperatur und Feuchtigkeit im Wandaufbau) mit dargestellt.

7.2.4.2 Temperatur und Feuchtigkeit im Wandaufbau

Ein Temperatur- und Feuchtefühler wurde zwischen der Kollektorrückwand und der Ziegelmauer und an der Innenseite der Wand angebracht. Abbildung 7.31 und Abbildung 7.32 zeigen den Temperaturverlauf im gesamten Wandaufbau mit Kollektor jeweils in einer strahlungsintensiven Woche im Oktober 2001 und im Jänner 2002, die relativen Feuchten in diesen Zeiträumen sind in Abbildung 7.33 und Abbildung 7.34 dargestellt.

Man erkennt in der Darstellung der Temperaturverläufe, dass die Temperatur, die am Absorber auftritt, über den Wandaufbau abgebaut werden kann. Es kommt zu keiner unzulässigen Überwärmung der Wand und somit des Raumes hinter der Wand mit Fassadenkollektor.

Die relative Feuchte zwischen Kollektorrückwand und Ziegelmauer liegt im hier betrachteten Zeitraum nie über 40%. Generell bestand durch die Integration des Kollektors ohne Hinterlüftung nie die Gefahr der Kondensation von Feuchtigkeit, es wurden ein maximaler Wert von 60% im November 2001 nach einer strahlungsarmen Woche gemessen.

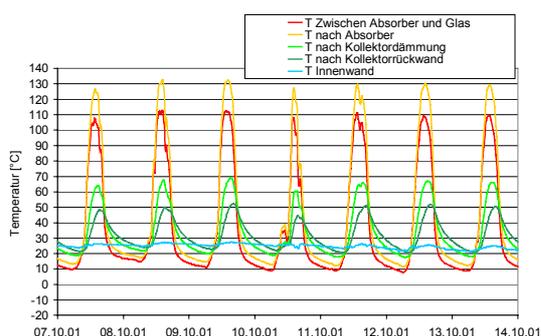


Abbildung 7.31: Temperaturen im Wandaufbau von 7. bis 14. Oktober 2001

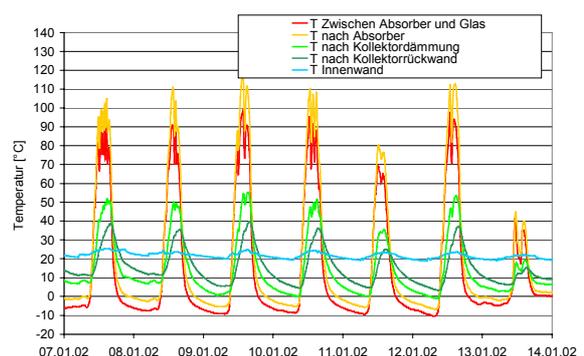


Abbildung 7.32: Temperaturen im Wandaufbau von 7. bis 14. Jänner 2002

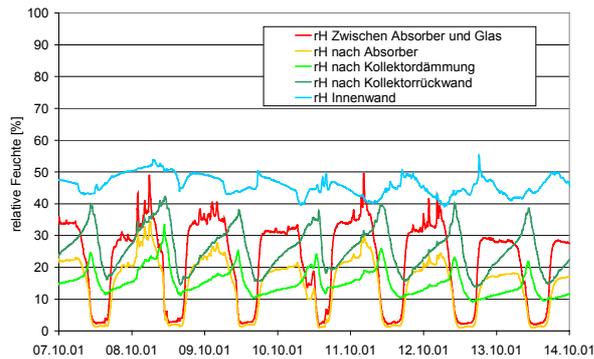


Abbildung 7.33: Relative Feuchtigkeit im Wandaufbau von 7. bis 14. Oktober 2001

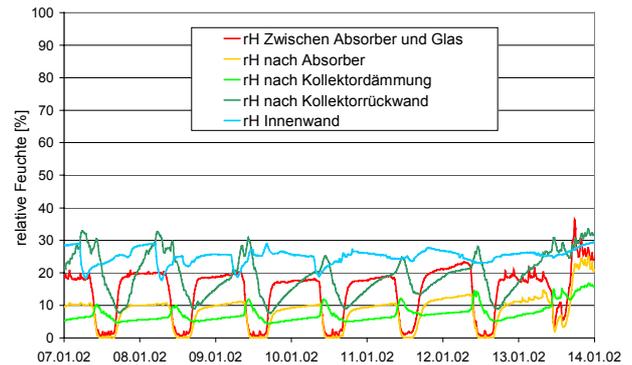


Abbildung 7.34: Relative Feuchtigkeit im Wandaufbau von 7. bis 14. Jänner 2002

7.2.4.3 Wärmestrom

Die Wärmestrommessplatte befindet sich an der Innenseite der Wand. Abbildung 7.35 zeigt den Verlauf des Wärmestroms im Wandaufbau hinter dem Fassadenkollektor für strahlungsintensive (6. bis 12. Jänner 2002) und strahlungsarme (15. bis 18. Jänner 2002) Tage im Jänner 2002. Der Wärmestrom in den Raum ist umso größer, je höher die Temperatur am Absorber ist.

Der in Abbildung 7.35 abgebildete Wärmestrom ist zeitlich gegenüber dem Verlauf der Temperatur im Kollektor versetzt, da die Wärmewelle ca. 12 Stunden benötigt, um durch die Wand zu gelangen. Das liegt an der Position der Wärmestrommessplatte an der Innenseite der Ziegelwand. Durch die hohe Wärmekapazität der Wand erfolgt eine Phasenverschiebung der Temperatur in der Wand.

Kurzfristige Wärmestromschwankungen spiegeln Schwankungen der Raumtemperatur und Strömungseffekte der Luft im Raum wieder. Das Gebäude, an dem die Testfassade angebracht ist, hat eine Belüftungsanlage. Die Auslassschlitze der Belüftung liegen ca. 1,2 m über der Wärmestrommessplatte und verlaufen parallel zur Wand. Somit fällt bei eingeschalteter Belüftung ein Kältevorhang über die Wand, der Unregelmäßigkeiten im Wärmestrom bewirkt. Für die Berechnung des effektiven U-Werts hat dieser Effekt keine Auswirkung, da der Wärmestrom in Mittel gleich bleibt.

Auch an den Tagen, an denen der Absorber wegen zu geringer Einstrahlung in Stillstand ist (15. bis 18. Jänner 2002), erkennt man eine leichte Erhöhung des Wärmestromes. Dies bewirkt eine Verminderung des effektiven U-Werts des gesamten Wandaufbaus.

Der statische U-Wert der Wand mit Fassadenkollektor liegt bei $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. In der strahlungsintensiven Zeit von 6. bis 12. Jänner 2002 wird der effektive U-Wert auf $0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ verbessert. Dies entspricht einer Verminderung der Wärmeverluste um 96%. In der strahlungsarmen Zeit von 15. bis 18. Jänner 2002 wird ein effektiver U-Wert von $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ erzielt, was eine Verminderung der Wärmeverluste um 42% bedeutet.

Die Raumtemperatur wurde an der Innenseite der Südwand gemessen. Der Fühler befand sich ca. 3 cm von der Innenwand entfernt und hat gegenüber der Wand eine Papierabdeckung, um ihn vor Strahlungseinfluss von der Wand abzuschirmen. Es ist jedoch anzunehmen, dass der Fühler etwas höhere Temperaturen als die mittlere Raumtemperatur misst, wenn der Wärmestrom in den Raum gerichtet ist, und etwas niedrigere, wenn der Raum über die Wand Wärme verliert. Da der effektive U-Wert aus dem Wärmestrom und der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur ermittelt wird, wird dieser kleine Fehler so-

mit übertragen. Gewinne für den Raum werden somit etwas zu klein und Verluste etwas zu groß ermittelt. Diese Fehler können aber im Rahmen der sonst erreichten Messgenauigkeit vernachlässigt werden.

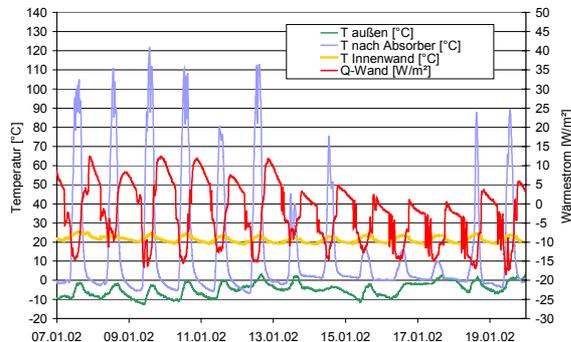


Abbildung 7.35: Wärmetransport in der Wand der Testfassade 2 von 7.1. bis 19.1.2002

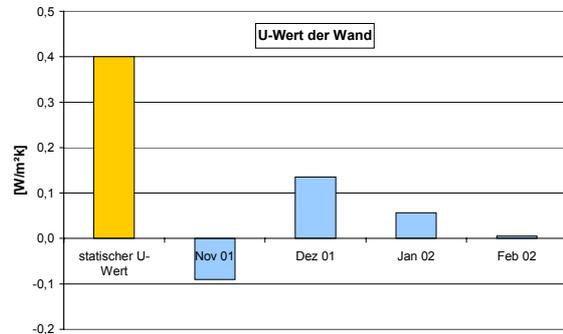


Abbildung 7.36: Statischer U-Wert und monatliche effektive U-Werte der Wand, Testfassade 2, November 2001 bis Februar 2002

Abbildung 7.36 zeigt die monatlichen effektiven U-Werte für die Testfassade Massivbau von November 2001 bis Februar 2002. Diese wurden aus dem Quotienten des mittleren monatlichen Wärmestromes und der Temperaturdifferenz zwischen der Umgebung und dem Raum gebildet (die Außentemperatur wurde erst ab November 2001 erfasst). Man erkennt, dass der effektive U-Wert der Wand in diesem Zeitraum unter dem statischen U-Wert lag. Im Mittel wurde von November 2001 bis Februar 2002 ein effektiver U-Wert von $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ erzielt, was eine Verminderung der Wärmeverluste um ca. 94% bedeutet.

Im November 2001 ist ein leicht negativer U-Wert ermittelt worden. Dieser Effekt ist jedoch so gering, dass kein Wärmegewinn über die Fassade erzielt wird, sondern lediglich die Transmissionswärmeverluste über diesen Wandabschnitt unterbunden werden.

8 Ergebnisse des Projektes und Schlussfolgerungen

Ziel des Projektes war es, systemtechnische und bauphysikalische Untersuchungen durchzuführen und konstruktive Lösungen für eine Fassadenintegration von Sonnenkollektoren ohne thermische Trennung in Form einer Hinterlüftungsebene zwischen Kollektor und Gebäudewand zu erarbeiten, sowie das Anlagenverhalten in Testfassaden zu untersuchen.

Die bisher in Österreich errichteten Anlagen mit Fassadenkollektoren wurden zumeist hinterlüftet ausgeführt. Es gibt auch einige Beispiele nicht hinterlüfteter Anlagen, die jedoch ohne genaue Kenntnisse der bauphysikalischen Abläufe errichtet wurden. Diese wurden zunächst im Rahmen einer Anlagenerhebung erfasst und einer Schwachstellenanalyse unterzogen. Bei den Anlagen konnten Planungs- und Ausführungsmängel festgestellt werden, die sich vor allem im Bereich der Befestigung der Absorber und der Kollektorbefestigung an der Wand, der Abschattung, dem optischen Erscheinungsbild der Anlagen und der Glasabdeckleisten befanden.

8.1 Planung von Solaranlagen mit fassadenintegrierten Kollektoren

Fassadenintegrierte Kollektoren ohne Hinterlüftung können sowohl bei einer Altbausanierung als auch im Zuge eines Neubaus eingesetzt werden. Die Herangehensweise ist in den beiden Fällen jedoch unterschiedlich: bei der Altbausanierung muss sich die Einbindung des Kollektors in die Fassade in den meisten Fällen an die gegebene Architektur anpassen. Auch bei der Dimensionierung des Energiespeichers sind die gegebenen räumlichen Bedingungen ausschlaggebend.

Im Neubau besteht jedoch die Möglichkeit, den thermischen Kollektor als direkten Bestandteil der Architektur in den gesamten Planungsablauf einzubeziehen. Neben Form und Höhe eines Gebäudes bestimmt die Gestaltung der Fassade im hohen Maß das Aussehen eines Hauses.

Bei der Planung von Fassadenkollektoranlagen ist es daher nötig, dass Architekten und Anlagenplaner möglichst früh zusammenarbeiten. Auf diese Weise kann vermieden werden, dass sich der Bau unnötig verzögert, weil zum Beispiel Anschlussdetails nicht bedacht wurden oder der Kollektor in dem gewünschten Abmaß nicht erhältlich ist.

8.2 Dimensionierung von Fassadenkollektoranlagen

Die Einstrahlung in eine Fläche setzt sich aus der direkten Sonneneinstrahlung, der diffusen Sonneneinstrahlung und der von der Umgebung reflektierten Strahlung zusammen. Generell ist die Einstrahlung in die Fassade in Österreich bei Südorientierung um ca. 30% geringer, als in eine 45° geneigte Fläche.

Bei Südorientierung ist das Einstrahlungsprofil in die Fassade am gleichmäßigsten über das Jahr und die jährliche Einstrahlungssumme ist am größten. Eine Abweichung der Ausrichtung der Kollektoren nach Süd-West oder Süd-Ost bewirkt eine Verminderung der jährlichen Einstrahlungssumme von ca. 3% gegenüber der Südorientierung. Größere Abweichungen führen aber zu Einbußen der jährlichen Einstrahlungssumme bis zu 16% bei reiner Ost- oder Westausrichtung und sind daher zu vermeiden.

Gerade in einem alpinen Land wie Österreich ist man oft in der Situation in einer Region zu bauen, in der über lange Zeiträume des Jahres Schnee liegt. Dieser Schnee bewirkt eine

signifikante Erhöhung des reflektierten Strahlungsanteils. Dieser Anteil wird umso stärker, je stärker eine Fläche geneigt ist. Während der Wintermonate ist auf diese Weise die Einstrahlung in eine vertikale Fläche höher, als in eine 45° geneigte Fläche – Schneelage vorausgesetzt.

Dagegen bewirkt Abschattung von Kollektoren, dass der Ertrag der Solaranlage reduziert wird. In der Fassade besteht die Gefahr der Abschattung durch andere Gebäude oder Gegenstände vor der Kollektorfläche und durch Gebäudeteile oder Vordächer über der Kollektorfläche. Dies sollte bereits bei der Planung berücksichtigt werden, um einen zufriedenstellenden Betrieb der Anlage zu gewährleisten. Der Bauherr sollte bereits in der Planungsphase darauf aufmerksam gemacht werden, dass Pflanzen oder eventuelle Gartenhütten soweit von der Kollektoranlage entfernt zu errichten sind, dass keine Beschattung zu erwarten ist.

Generell benötigt man bei Anlagen mit vertikalen Kollektoren eine größere Kollektorfläche, um den selben solaren Deckungsgrad zu erreichen, wie bei einer Anlage mit geneigten Kollektoren. Das relativ gleichmäßige Einstrahlungsprofil in die Fassade und das Verbrauchsprofil über das Jahr bewirken aber, dass die zusätzlich benötigte Fläche bei Kombianlagen zur Warmwasserbereitung und Raumheizung geringer ist, als bei Anlagen zur reinen Warmwasserbereitung.

In der Heizsaison ist die Einstrahlung in die Fassade und in eine 45° geneigte Fläche etwa gleich, bei Schneelage ist sie in die Fassade sogar besser. Die relativ große Kollektorfläche kann im Sommer dann ausschließlich zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Bei einer Kombianlage zur Warmwasserbereitung und teilsolaren Raumheizung mit einem gesamten solaren Deckungsgrad von 40% beträgt die im Vergleich zu einer 45° geneigten Kollektorfläche zusätzlich benötigte Kollektorfläche in der Fassade ca. 30%.

Bei einer Warmwasseranlage mit einem solaren Deckungsgrad von 40% beträgt die zusätzlich benötigte Fläche in der Fassade im Vergleich zu einer 45° geneigten Kollektorfläche ca. 60%.

8.3 Hydraulische Kollektorverschaltung

Generell ist es bei der Einbindung von Kollektoren in der Fassade von Vorteil, wenn diese eine möglichst einfache hydraulische Verschaltung haben.

Um den Verrohrungsaufwand so gering wie möglich zu halten, sollte daher der hydraulischen Verschaltung des Kollektorfeldes besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die hydraulischen Verschaltungen von Kollektorfeldern sind von der Betriebsart der Solaranlage abhängig. Generell werden diese durch den Massenstrom des Wärmeträgermediums durch den Kollektor in Low Flow und High Flow Anlagen unterschieden, die jeweils eine andere hydraulische Verschaltung des Kollektors erfordern.

Die Verschaltung von Low Flow Anlagen hat den Vorteil, dass durch große hydraulische Rohrlängen ein geringer Verschaltungsaufwand erforderlich ist, was Fassadenkollektoranlagen generell entgegenkommt.

8.4 Kollektorbefestigung

Bei Fassadenkollektoren ist es wichtig, dass die Kollektoren wärmebrückenfrei an dem Gebäude befestigt sind, um Wärmeverluste und Bauschäden zu unterbinden und um den gesamten U-Wert der Wand nicht herabzusetzen. Dies ist zum Beispiel durch Verwenden von Kollektoren mit Holzrahmen bzw. –rückwand möglich. Hat der Kollektor einen Rahmen aus

Aluminium, sollten Glasabdeckleisten und die örtliche Befestigung an der Wand unbedingt thermisch getrennt ausgeführt sein.

8.5 Wärmetransport in Wänden mit fassadenintegrierten Kollektoren

Um eine Überwärmung oder übermäßige Wärmeabfuhr von Räumen zu verhindern, die sich hinter Wänden mit fassadenintegrierten Kollektoren befinden, ist zunächst eine wärmebrückenfreie Anbindung des Kollektors an die Wand nötig (siehe oben).

Weiters ist eine ausreichende Dämmung des Kollektors bzw. der Wand zur Vermeidung von Überhitzung der Räume vorzunehmen. Bei Kollektoren ohne Hinterlüftung hat die Kollektordämmung gleichzeitig die Funktion der Gebäudedämmung (und umgekehrt). Der U-Wert der Wand mit Kollektor soll zumindest den Wärmeschutzbestimmungen für Gebäude entsprechen [Lit 7].

Tatsächlich ist es aber so, dass durch den Kollektor die Transmissionswärmeverluste im Winter herabgesetzt werden. Dieser Effekt ist umso stärker spürbar, je mehr Strahlung auf die Wand trifft. Aber auch bei strahlungsarmen, nebeligen Perioden kommt es zu einer signifikanten Verminderung der Wärmeverluste durch die Wand. Der Absorber erwärmt sich auch bei diffuser Einstrahlung über die Temperatur der Umgebung hinaus. Dies lässt sich in einem effektiven U-Wert ausdrücken, der aus der Raumtemperatur, der Außentemperatur und dem Wärmestrom ermittelt werden kann, der in der Wand herrscht. Dieser effektive U-Wert kann je nach Wandaufbau und Strahlungsbedingungen weit unter dem statischen U-Wert liegen und Werte um Null erreichen bzw. sogar leicht negativ werden. Das bedeutet, dass die Transmissionswärmeverluste über den Wandabschnitt mit integriertem Fassadenkollektor unterbunden werden.

8.6 Feuchtigkeit in Wänden mit fassadenintegrierten Kollektoren

Bei der Anbringung von thermischen Sonnenkollektoren an eine Wand ohne Hinterlüftungsebene hinter dem Kollektor, muss die Wand dennoch die Möglichkeit haben, die Bau- und Materialfeuchte auszutrocknen. Dies ist in diesem Fall nach außen nicht möglich, da der Kollektor eine dampfdichte Schicht darstellt.

Es ist daher nötig, dass die Wand nach innen austrocknen kann. Dies bedingt eine nach innen diffusionsoffener werdende Bauweise. Im Fall von Leichtbaukonstruktionen bedeutet dies, eine Dampfbremse zu verwenden, die einen sehr geringen Dampfsperrwert (sd-Wert kleiner 1 m) aufweist, oder eine reine Luftsperrung zu verwenden. Diffusionsoffene Folien haben einen sd-Wert kleiner als 0,3 m.

9 Ausblick und Empfehlungen

Die jährliche installierte Kollektorfläche von thermischen Sonnenkollektoren für die Warmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung ist seit dem Jahr 1975 kontinuierlich gestiegen und erreichte ihren Maximalwert von 183.800 m² im Jahr 1996 (ohne Schwimmbadkollektoren) [Lit 22]. Seitdem wurde jedoch ein leichter Abwärtstrend in der jährlich installierten Kollektorfläche registriert. Im Jahr 2000 betrug die installierte Kollektorfläche 153.000 m².

Dieser Trend entstand unter anderem dadurch, dass der Markt für thermische Solaranlagen mit dachintegrierten Anlagen für Einfamilienhäuser bereits eine hohe Deckung erreicht hat. Um ein weiteres Wachstum des Marktes zu erzielen, ist es notwendig, neue Bereiche zu erschließen.

Fassadenintegrierte Kollektoren stellen eine Möglichkeit dar, in neue Bereiche des Marktes vorzudringen. Bei Gebäuden, bei denen keine ausreichende Dachfläche zur Verfügung steht oder bei denen die Dachfläche nicht optimal ausgerichtet ist, sind Fassadenkollektoren mehr als nur eine Alternative. Dies betrifft zum Beispiel Niedrigenergie- und Passivhäuser, die sehr oft nach Norden geneigte Flachdächer haben, auf denen Kollektoren kostenintensiv aufgeständert werden müssen.

Weiters stehen bei Bürogebäuden und Produktionshallen, aber auch bei großen öffentlichen Gebäuden wie Mehrzweckhallen oder Schulen, große Flächen an bisher ungenutzter Fassade zur Verfügung.

Auf Basis der Ergebnisse des vorliegenden Projekts wurden von den zwei beteiligten Firmen Fassadenkollektoren entwickelt, die bereits in Serienproduktion gefertigt werden.

Im Rahmen des Projekts wurde eine Architektenbefragung über den Einsatz von thermischen Sonnenkollektoren in der Fassade durchgeführt. Aus dieser Befragung und in weiterer Folge aus der direkten Diskussion mit Architekten wurde deutlich, dass diese für den breiten Einsatz von Fassadenkollektoren die Notwendigkeit von farbigen Absorbern sehen.

Das vorliegende Projekt hat aus dieser Forderung heraus zu einem EU-Projekt mit dem Ziel geführt, selektive farbige Schichten für Absorber zu entwickeln. In dem Projekt soll weiters ein geeignetes dynamisches Rechenmodell entwickelt werden, mit dem der Feuchtetransport in Wänden mit direkt integrierten Kollektoren ohne Hinterlüftung simuliert werden kann. Bisher zur Verfügung stehende Programme zur Ermittlung der Dampfdiffusion in Wänden können diese Fragestellung nicht hinreichend genau beantworten.

Das EU-Projekt wird zu 50% von den am neuen Projekt beteiligten Unternehmen und zu 50% von der EU getragen.

10 Literaturverzeichnis

- Lit 1 Mitteilung der Kommission über Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger, Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan
- Lit 2 Purkarthofer, G.: Marktübersicht Thermische Solaranlagen, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Gleisdorf, 1998
- Lit 3 Werner Ingenieur Texte 48, Holzbau, Teil 1, Grundlagen, 4.Auflage 1991, Werner Verlag
- Lit 4 Lutz e.a., Lehrbuch der Bauphysik, B. G. Teubner Stuttgart
- Lit 5 Diem, Paul, Bauphysik im Zusammenhang, 2. Auflage 1996, Bauverlag
- Lit 6 Ökologischer Bauteilkatalog, 1999 Springer-Verlag Wien New York
- Lit 7 Energieverwertungsagentur - E.V.A., <http://www.eva.wsr.ac.at/enz/k-wert.htm>, 1998
- Lit 8 Valentin, G., T*Sol, Programm zur Auslegung und Simulation Thermischer Solaranlagen, Innovative Ingenieur Software, Dr.-Ing. Valentin & Partner GbR, Berlin, 1998
- Lit 9 TRNSYS, A Transient System Simulation Program – Version 14.2, Klein, S.A., Beckmann, W.A., et al., Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, USA, Vertrieb in Deutschland: Transsolar Energietechnik GmbH, Nobelstraße 25, 70569 Stuttgart, Deutschland
- Lit 10 Eder, M., Fink, C., Streicher, W., Themeßl, A., Weiss, W., e.a.: Heizen mit der Sonne, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, 1997
- Lit 11 Mack, M., Fünfgeld, C., Institut für Solarenergieforschung Hameln: Moderne Konzepte solarer Brauchwassersysteme, Chancen, Grenzen, Möglichkeiten; 8. Internationales Sonnenforum, Berlin, Deutschland, 1992
- Lit 12 Hausner, R., Simulationsprogramm zur Optimierung von Solarsystemen, Kollektor/Speicher/Rohrnetz, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Gleisdorf, 1994
- Lit 13 Rockendorf, Janßen: Facade Integrated Solar Collectors, Institut für Solarenergieforschung GmbH, Hameln
- Lit 14 Bartelsen, B., Kiermasch, M., Rockendorf, G., Institut für Solarenergieforschung Hameln: Wärmeverluste von Flachkollektoren in Abhängigkeit vom Kollektorneigungswinkel, Neuntes Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, Deutschland, 1999
- Lit 15 Duffie, J., Beckman, W., Solar Engineering of Thermal Processes, A Wiley-Interscience publication, 1991
- Lit 16 Schirmer, U., et al., Technische Universität Chemnitz: Solarthermische Großanlage – Wunsch und Wirklichkeit, Elfte Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, Deutschland, 1999
- Lit 17 Quatschnig, V., Hanitsch, R., Technische Universität Berlin: Die Schattenseite der Solarenergie, Sonnenenergie, 1. Ausgabe 1995
- Lit 18 Fink, C., Müller, A.: Thermische Sonnenenergienutzung im Mehrfamilienwohnbau, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, 1999
- Lit 19 DVGW, 1993, Richtlinie W551 „Legionellenverordnung“, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs, Arbeitsblatt W551, 03/93, Eschborn, Deutschland
- Lit 20 Jordan, U, Vajen, K., Load Profile on a One-Minute Time Scale, IEA-Task 26, Solar Combisystems, Stuttgart, Germany, 1999
- Lit 21 Fink, C., Purkarthofer, G.: Garantierte Wärmelieferung aus Thermischen Solaranlagen im Wohnbau, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, 2000
- Lit 22 Der Solarmarkt in Österreich 2000, Bundesverband Solar, Faninger, G., IFF, April 2001

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: Hinterlüfteter Fassadenkollektor	10
Abbildung 3.2: Nicht hinterlüfteter Kollektor in einen Holzriegelbau integriert.....	10
Abbildung 3.3: Südsicht des Objektes B3 mit den Fassadenkollektoren im Obergeschoss.....	11
Abbildung 3.4: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder des Objektes B3.....	11
Abbildung 3.5: Einige Schrauben des Alu-Abdeckprofils sind durch die Windsogbelastung gelockert bzw. fehlen.....	12
Abbildung 3.6: Kupferabsorber mit glatter Glasabdeckung. Im rechten Absorberfeld sind Unebenheiten sowie Schäden am Absorber (weiße Flecken) erkennbar.....	13
Abbildung 3.7: Detailansicht des Absorberfeldes: Durch Nässe beim Absorbereinbau sind Schlieren am Absorber sichtbar.....	13
Abbildung 3.8: Insekten im Kollektor	13
Abbildung 4.1: Prozentuelle Verteilung der Antworten zu „Vorrangiges Einsatzgebiet“.....	15
Abbildung 4.2: Prozentuelle Verteilung der Antworten zu „Abmessungen“.....	15
Abbildung 4.3: Prozentuelle Verteilung der Antworten zu „Absorberfarbe“.....	15
Abbildung 4.4: Prozentuelle Verteilung der Antworten zu „Abdeckleisten“.....	15
Abbildung 4.5: Prozentuelle Verteilung der Fragen zu „Gestaltungsrichtlinien“.....	15
Abbildung 4.6: Kondensat- und Verdunstungspotenzial für die einzelnen Wandaufbauten.....	20
Abbildung 4.7: Täglicher Eintrag an Feuchte in den Luftraum zwischen Absorber und Glasabdeckung des Kollektors an einem strahlungsarmen Tag im Dezember.....	22
Abbildung 4.8: Kondensatmenge und Verdunstungspotenzial im Wandaufbau für alle Wandaufbauten mit Dampfbremse, dampfdicht.....	23
Abbildung 4.9: Hydraulisches Schaltschema der Anlage zur Ermittlung der Absorbertemperaturen	26
Abbildung 4.10: Wärmeleistung der 38er Ziegelwand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage	28
Abbildung 4.11: Wärmeleistung der 25er Ziegelwand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage	28
Abbildung 4.12: Wärmeleistung der Betonwand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage	28
Abbildung 4.13: Wärmeleistung der KLH-Wand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage	28
Abbildung 4.14: Wärmeleistung der Holzriegelwand ohne und mit Kollektor (selektiv beschichtet oder Solarlack) mit unterschiedlichen Dämmstärken, Sommer, Betrieb der Kollektoranlage	28
Abbildung 4.15: Temperaturverlauf im Wandaufbau mit Kollektor bei laufender Anlage während 24 Stunden, typischer Verlauf in Massivwänden, Sommerfall.....	29
Abbildung 4.16: Temperaturverlauf im Wandaufbau mit Kollektor bei laufender Anlage während 24 Stunden, typischer Verlauf in Leichtbauwänden, Sommerfall	29
Abbildung 4.17: Temperaturverlauf im Wandaufbau im September, Stagnationsfall, Ziegel 25, 8 cm Dämmung.....	30
Abbildung 4.18: Grundriss und Aufriss der Südsicht des Testhauses, die Kollektorfläche ist schraffiert dargestellt	31
Abbildung 4.19: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen. Ziegel 38, unterschiedliche Dämmstärken.....	38
Abbildung 4.20: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen. Ziegel 25, unterschiedliche Dämmstärken.....	38
Abbildung 4.21: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen. Beton, unterschiedliche Dämmstärken.....	38
Abbildung 4.22: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen. KLH-Wand, unterschiedliche Dämmstärken.....	38
Abbildung 4.23: Effektiver U-Wert an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen, Holzriegel-Wand, unterschiedliche Dämmstärken.....	38
Abbildung 4.24: Temperaturverlauf im Wandaufbau, Ziegel 25, 8 cm Dämmung, ein Tag in einer Periode strahlungsarmer Wintertage.....	39
Abbildung 4.25: Temperaturverlauf im Wandaufbau, KLH-Wand, 10+5 cm Dämmung, ein Tag in einer Periode strahlungsarmer Wintertage.....	39
Abbildung 4.26: Temperaturverlauf im Wandaufbau, Ziegel 25, 8 cm Dämmung, ein Tag in einer Periode strahlungsintensiver Wintertage, laufende Kollektoranlage	39
Abbildung 4.27: Temperaturverlauf im Wandaufbau, KLH, 10+5 cm Dämmung, ein Tag in einer Periode strahlungsintensiver Wintertage, laufende Kollektoranlage	39
Abbildung 4.28: Darstellung der mittleren Kollektortemperatur	45
Abbildung 4.29: Beispiel einer typischen High Flow Verschaltung mit marktüblichen Absorbern.....	47
Abbildung 4.30: Wirkungsgradverlauf des im High Flow betriebenen Kollektorfeldes über der mittleren Fluidtemperatur (800 W/m ² , 20°C Umgebungstemperatur) im Vergleich zur gemessenen Kennlinie des Prüfkollektors (tiefer liegende Kennlinie).....	48
Abbildung 4.31: Beispiel einer typischen Low Flow Verschaltung mit marktüblichem Streifensystem	49
Abbildung 4.32: Wirkungsgradverlauf des im Low Flow betriebenen Kollektorfeldes über der mittleren Fluidtemperatur (800 W/m ² , 20°C Umgebungstemperatur) im Vergleich zur gemessenen Kennlinie des Prüfkollektors (tiefer liegende Kennlinie).....	49
Abbildung 4.33: Low Flow Verschaltung, horizontal angeordnete Rohre	51
Abbildung 4.34: Low Flow Verschaltung, vertikal angeordnete Rohre	51
Abbildung 4.35: Speicheranagement bei Anlagen mit Fassadenkollektor. Drei-Wege-Ventil für die Umschaltung der Entnahme aus dem Speicher für den Solarrücklauf und „Teilung“ bzw. Reduzierung des Energiespeichervolumens für den Sommerbetrieb.....	52
Abbildung 5.1: Jahreszeitlicher Verlauf der mittleren täglichen Strahlungssumme auf südorientierte Flächen mit 45° und 90° Neigung, Süd, Klimadaten Graz	53
Abbildung 5.2: Jährliche Strahlungssumme auf südorientierte Flächen mit 45° und 90° Neigung (Graz).....	53
Abbildung 5.3: Reflexionsgrad in Abhängigkeit von der Umgebung (ÖNORM M7714)	54
Abbildung 5.4: Erhöhung der jährlichen Strahlungssumme auf südorientierte Flächen mit 45° und 90° Neigung durch Schneereflexion (Graz).....	55

Abbildung 5.5: Erhöhung der Strahlungssumme auf südorientierte Flächen mit 45° und 90° Neigung von November bis Februar durch Schneereflexion (Graz).....	55
Abbildung 5.6: Fassadenkollektoranlage, Arlberg, Foto: AKS DOMA Solartechnik.....	55
Abbildung 5.7: Jährliche Einstrahlung in Abhängigkeit von Neigung, Azimut und Schneereflexion (Klimadaten Graz).....	56
Abbildung 5.8: Mittlere tägliche Einstrahlung in Abhängigkeit vom Azimut bei 90° Neigung und bei Berücksichtigung der Schneereflexion (Klimadaten Graz).....	56
Abbildung 5.9: Vergleich von Einstrahlung und Verbrauch (Monatlicher Warmwasserverbrauch und Heizenergiebedarf eines Einfamilienhauses, 160 l/d und 50°C Warmwasserbedarf, 8 kW Heizlast).....	56
Abbildung 5.10: Neigungseinfluss des Kollektors auf die Kollektorkennlinie, Bestrahlungsstärke 800 [W/m ²]; Windstärke 0 m/s.....	58
Abbildung 5.11: Abschattung von Fassadenkollektoren durch ein Vordach. Im Hochsommer zu Mittag ist diese Kollektorfläche zu mehr als der Hälfte verschattet.....	59
Abbildung 5.12: Teilweise Abschattung der Kollektorfläche auf dem rückwärtigen Gebäude durch angrenzende Gebäudeteile, [Lit 16]. Schattenwurf an einem Vormittag im Spätherbst.....	59
Abbildung 5.13: Schattenfall auf eine Südfassade im Winter.....	60
Abbildung 5.14: Schattenfall auf eine Südfassade im Sommer.....	61
Abbildung 5.15: Abschattung durch aufgeständerte Kollektoren.....	61
Abbildung 5.16: Wichtung des Warmwasserverbrauchs über das Jahr, Vergleich von Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus.....	63
Abbildung 5.17: Wichtung des Warmwasserverbrauchs über eine Woche, Vergleich Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus... ..	64
Abbildung 5.18: Warmwasserverbrauch und Heizenergiebedarf eines Einfamilienhauses (160 l/d und 50°C Warmwasserbedarf, 8 kW Heizlast).....	64
Abbildung 5.19: Hydraulisches Schaltschema der Solaranlage zur Warmwasserbereitung für ein Einfamilienhaus mit 300 l Brauchwasserspeicher.....	65
Abbildung 5.20: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (EFH, WW, 300 l).....	65
Abbildung 5.21: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (EFH, WW, 300 l).....	65
Abbildung 5.22: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (EFH, WW, 500 l).....	66
Abbildung 5.23: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (EFH, WW, 500 l).....	66
Abbildung 5.24: Hydraulikschema der Solaranlage zur WW-Bereitung für ein Mehrfamilienhaus mit 1500 l Energiespeicher und 500 l Bereitschaftsspeicher.....	67
Abbildung 5.25: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (MFH, WW, 2000 l).....	67
Abbildung 5.26: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (MFH, WW, 2000 l).....	67
Abbildung 5.27: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (MFH, WW, 6000 l).....	68
Abbildung 5.28: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (MFH, WW, 6000 l).....	68
Abbildung 5.29: Hydraulikschema der Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Raumheizung für ein Einfamilienhaus.....	68
Abbildung 5.30: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (EFH, WW+RH, 2000 l+300 l).....	69
Abbildung 5.31: Erforderliche Vergrößerung der Kollektorfläche bei 90° Neigung im Vergleich zu 45° Neigung bei verschiedenen Deckungsgraden (EFH, WW+RH, 2000 l+300 l).....	69
Abbildung 5.32: Vergleich der Deckungsgrade von Warmwasser und Heizung bei verschiedenen Gesamtdeckungsgraden (selektive Beschichtung).....	69
Abbildung 5.33: Vergleich der Deckungsgrade von Warmwasser und Heizung bei verschiedenen Gesamtdeckungsgraden (Solarlack).....	69
Abbildung 5.34: Vergleich der Deckungsgrade unter Variation von Kollektorfläche, Neigung und Kollektortyp (EFH, WW+RH, 5000 l+300 l).....	70
Abbildung 5.35: Kollektorfläche bei 90° Neigung zu 45° Neigung, verschiedene Deckungsgrade (EFH, WW+RH, 5000 l +300 l).....	70
Abbildung 5.36: Vergleich der Deckungsgrade von Warmwasser und Heizung bei verschiedenen Gesamtdeckungsgraden (selektive Beschichtung).....	70
Abbildung 5.37: Vergleich der Deckungsgrade von Warmwasser und Heizung bei verschiedenen Gesamtdeckungsgraden (Solarlack).....	70
Abbildung 5.38: Kollektorfläche in der Fassade im Vergleich zu einer Anlage mit 45° geneigten Kollektoren für eine Anlage zur Warmwasserbereitung und eine Kombianlage in Abhängigkeit vom solaren Deckungsgrad.....	71
Abbildung 7.1: Wandaufbau der Testfassade 1 in Graz.....	76
Abbildung 7.2: Montage der Kollektoren mit Hilfe eines Kranes. Das Kollektorfeld besteht aus drei Elementen zu je 18,3 m ²	77
Abbildung 7.3: Testfassade mit 55 m ² Kollektorfläche auf einem Zweifamilienwohnhaus in Graz.....	77
Abbildung 7.4: Hydraulikschema der Testanlage 1 in Graz.....	78
Abbildung 7.5: Befestigung der Kollektorrückwand (OSB-Platte) an den Holzriegeln mit Stahlwinkeln.....	78
Abbildung 7.6: Isothermen in einer Holzriegelwand mit integriertem Fassadenkollektor bei 120°C Absorbtemperatur (stationär).....	79
Abbildung 7.7: Errechnetes Infrarotbild einer Holzriegelwand mit integriertem Fassadenkollektor bei 120°C Absorbtemperatur (stationär).....	79
Abbildung 7.8: Positionierung der Messfühler im Wandaufbau der Testfassade 1.....	80
Abbildung 7.9: Positionierung der Messfühler am Kollektorfeld der Testfassade 1. In der unteren Hälfte des rechten Feldes werden Temperatur und Feuchtigkeit in jeder Ebene des Wandaufbaus vermessen.....	81
Abbildung 7.10: Temperaturen im Kollektorluftraum vom 14.05.2001 bis 21.05.2001 in der oberen und in der unteren Hälfte des Kollektors.....	82
Abbildung 7.11: Temperaturen des Absorbers oben, in der Mitte und unten vom 14.05.2001 bis 21.05.2001.....	82
Abbildung 7.12: Temperaturen im Kollektorluftraum vom 6.10.2001 bis 13.10.2001 in der oberen und in der unteren Hälfte des Kollektors.....	82
Abbildung 7.13: Temperaturen des Absorbers oben, in der Mitte und unten vom 6.10.2001 bis 13.10.2001.....	82
Abbildung 7.14: Relative Feuchtigkeit vom 14.05.2001 bis 20.05.2001 im Kollektorluftraum.....	82

Abbildung 7.15: Temperaturen im Wandaufbau vom 1.04.2001 bis 9.04.2001	83
Abbildung 7.16: Relative Feuchtigkeit im Wandaufbau vom 1.04.2001 bis 9.04.2001	84
Abbildung 7.17: Relative Feuchtigkeit im Wandaufbau vom 11.05.2001 bis 18.05.2001	84
Abbildung 7.18: Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit zwischen Gebäudedämmung und Dampfbremse von März 2001 bis Februar 2002.	84
Abbildung 7.19: Wärmetransport vom 6.01.2002 bis 18.01.2002	85
Abbildung 7.20: Statischer U-Wert und effektive U-Werte der Wand, Testfassade 1, September 2001 bis Februar 2002	85
Abbildung 7.21: Einstrahlung in die Fassade, Kollektorertrag und Nutzungsgrad des Kollektors von August 2001 bis Februar 2002	86
Abbildung 7.22: Kollektorertrag, Nachheizung durch den Pelletskessel und solarer Deckungsgrad der Anlage von August 2001 bis Februar 2002	86
Abbildung 7.23: Wandaufbau der Testfassade 2, Ziegel 25	87
Abbildung 7.24: Montage des Versuchskollektors mit einem Kran	88
Abbildung 7.25: Versuchskollektor, 24,7 m ² Bruttokollektorfläche über das 1. und 2. OG, Ansicht der Südfassade des Verwaltungsgebäudes	88
Abbildung 7.26: Hydraulikschema der Testanlage 2	88
Abbildung 7.27: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder der Testfassade 2	89
Abbildung 7.28: Verlauf der Isothermen in einer Ziegelwand mit integriertem Fassadenkollektor bei 120°C Absorbtemperatur (stationär)	91
Abbildung 7.29: Errechnetes Infrarotbild einer Ziegelwand mit integriertem Fassadenkollektor bei 120°C Absorbtemperatur (stationär)	91
Abbildung 7.30: Positionierung der Messfühler im Wandaufbau der Testfassade 2	92
Abbildung 7.31: Temperaturen im Wandaufbau von 7. bis 14. Oktober 2001	93
Abbildung 7.32: Temperaturen im Wandaufbau von 7. bis 14. Jänner 2002	93
Abbildung 7.33: Relative Feuchtigkeit im Wandaufbau von 7. bis 14. Oktober 2001	94
Abbildung 7.34: Relative Feuchtigkeit im Wandaufbau von 7. bis 14. Jänner 2002	94
Abbildung 7.35: Wärmetransport in der Wand der Testfassade 2 von 7.1. bis 19.1.2002	95
Abbildung 7.36: Statischer U-Wert und monatliche effektive U-Werte der Wand, Testfassade 2, November 2001 bis Februar 2002	95

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „Ziegel 38“	18
Tabelle 4.2: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „Ziegel 25“	18
Tabelle 4.3: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „Beton“	18
Tabelle 4.4: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „KLH Holzmassivwand“	18
Tabelle 4.5: Bauphysikalische Parameter des Wandaufbaus „Holzriegelwand“	19
Tabelle 4.6: Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s _D -Wert) ausgewählter Bau- und Dämmstoffe	19
Tabelle 4.7: Uhrzeit, ab welchem kein Kondensat mehr an der Glasabdeckung sichtbar ist (relative Feuchtigkeit liegt im Luftraum des Kollektor unter der Sättigungsgrenze)	22
Tabelle 4.8: U-Wert [W/m ² K] Obergrenzen laut baugesetzlichen Wärmeschutzbestimmungen in österreichischen Bundesländern [Lit 7]	25
Tabelle 4.9: Anlage zur Ermittlung der Absorbtemperatur für die Berechnung des Wärmedurchgangs durch die Wandaufbauten	25
Tabelle 4.10: Strahlungsintensiver Tag, Sommer, Klimadaten vom Standort Graz und ermittelte Strahlung in die Wandebene	27
Tabelle 4.11: Festgesetzte Luftwechselraten	31
Tabelle 4.12: Mittlere Wärmeleistung der Wände und Temperaturdifferenz der Vergleichsräume mit und ohne Kollektor in der Fassade im Sommer	33
Tabelle 4.13: Erforderliche Dämmstärken für die Wandaufbauten mit Kollektor	34
Tabelle 4.14: Strahlungsintensiver Tag im Winter, Klimadaten vom Standort Graz und ermittelte Strahlung in die Wandebene	36
Tabelle 4.15: Strahlungsarmer Tag im Winter, Klimadaten vom Standort Graz und ermittelte Strahlung in die Wandebene	37
Tabelle 4.16: Effektive U-Werte an strahlungsintensiven und strahlungsarmen Wintertagen für die untersuchten Wandaufbauten	41
Tabelle 4.17: Spezifische Massenströme für High-, Low- und Matched Flow Systeme	46
Tabelle 5.1: Wirkungsgradparameter in Abhängigkeit von der Neigung	57
Tabelle 5.2: Definierte Basisvarianten	62
Tabelle 5.3: Entnahmezeiten von Warmwasser	64
Tabelle 6.1: Benötigte Daten für die Berechnung der Ressourceneffizienz	72
Tabelle 6.2: Daten der Testanlage mit Fassadenkollektor auf einer Leichtbauwand für die Berechnung der Ressourceneffizienz	73
Tabelle 6.3: Daten der Testanlage mit Fassadenkollektor auf einer Ziegelwand für die Berechnung der Ressourceneffizienz	74
Tabelle 7.1: Schichtaufbau und Abmessungen des Wandaufbaus der Testfassade 1 in Graz	76
Tabelle 7.2: Art des Messgeräts und Position im Wandaufbau der Testfassade 1	80
Tabelle 7.3: Wandaufbau der Testfassade 2	87
Tabelle 7.4: Darstellung der Ergebnisse der wärmetechnischen Variantenuntersuchung	90
Tabelle 7.5: Art des Messgeräts und Position im Wandaufbau der Testfassade 2	92

13 Anhang

Anhang 1: Erhebung realisierter Anlagen und Problemzonen bei fassadenintegrierten Kollektoren

Anhang 2: Auswertung der Fragebogenerhebung und Architektenworkshop

Anhang 3: Baurechtliche Bestimmungen

Anhang 4: Wandaufbauten

Anhang 5: Ressourceneffizienz und Materialintensitätsanalyse

Anhang 6: Tätigkeitsbericht

Inhaltsverzeichnis Anhang:

A 1. ERHEBUNG REALISierter ANLAGEN UND PROBLEMZONEN BEI FASSADENINTEGRIERTEN KOLLEKTOREN	2
A 2. AUSWERTUNG DER FRAGEBOGENERHEBUNG UND ARCHITEKTENWORKSHOP	35
A 3. BAURECHTLICHE BESTIMMUNGEN	39
A 4. WANDAUFBAUTEN	63
A 5. RESSOURCENEFFIZIENZ UND MATERIALINTENSITÄTSANALYSE	69
A 6. TÄTIGKEITSBERICHT	91

A 1. Erhebung realisierter Anlagen und Problemzonen bei fassadenintegrierten Kollektoren

Die Erhebung der realisierten Anlagen erfolgte vor Ort durch eine Begehung. Mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens wurden die Anlagendaten erhoben. In Einzelfällen war auch die Kontaktaufnahme mit Haustechnikern oder Architekten der Gebäude notwendig. Des Weiteren wurden Fotos zur Dokumentation der Erhebungen und eventueller Schwachstellen aufgenommen.

Es wurden insgesamt vierzehn Anlagen erhoben und dokumentiert, wobei drei Anlagen in öffentlichen Objekten, acht Anlagen in privaten Objekten und drei in Gewerbebetrieben montiert sind. Bei der Dokumentation werden Abkürzungen verwendet, deren Bedeutungen den Verfassern dieses Berichts bekannt sind. Aus Gründen des Datenschutzes wurden alle Daten anonymisiert. So werden öffentliche Objekte durch den Buchstaben A, private Objekte mit dem Buchstaben B, Gewerbebetriebe durch den Buchstaben C, Kollektoren mit dem Buchstaben F und schließlich Kollektortypen durch den Buchstaben T mit jeweils einer fortlaufenden Nummer gekennzeichnet.

A 1.1 Öffentliches Objekt A1

In Bludesch wurde Mehrzweckhalle mit Kindergarten und Wohnungen errichtet. Zur Warmwasserbereitung des Objektes ist eine thermische Solaranlage installiert. Der Kollektor wurde bei dieser Anlage nicht in die Fassade integriert, sondern vor die Fassade gehängt (siehe Abbildung A 1.1). Der Fassadenkollektor wurde als ein Großflächenkollektormodul gefertigt und an Stahlträgern vor die Holzfassade montiert.

Abbildung A 1.1: Seitenansicht der Südfassade des Objektes A1



Das Großflächenmodul hat eine Kollektorbruttofläche von 18 m². Die im Kollektor erzeugte Wärmeenergie wird in einen Pufferspeicher eingetragen. Die Kollektorfläche wurde so gewählt, dass sie mit dem Gebäude architektonisch harmonisiert. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.1 zusammengefasst.

Tabelle A 1.1: Eckdaten der Anlage A1

Objektnutzung		Mehrzweckhalle, Kindergarten
Solaranlagennutzung		Brauchwasserbereitung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	44 Dach + 18 Fassade
Kollektornlieferant		F1
Kollektortype		T2
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	85
Abschattung		keine
Energiespeichervolumen	[l]	2*1000 l
Nachheizung		Gaskessel

A 1.1.1 Kollektoraufbau

Als Kollektortragekonstruktion wird ein verzinkter Stahlrahmen (Winkelprofil) verwendet. In diesen sind die Kollektorrückwand und das Kollektorrahmenholz für die Glasbefestigung montiert. Als Wärmedämmung wurden 60 mm starke Steinwollplatten ohne Glasfließ, wie sie auch bei der herkömmlichen Fassadendämmung eingesetzt werden, verwendet. Bei diesem Kollektor wird das

Glas mittels doppelseitigem Klebeband auf das Holzprofil geklebt und die Stöße zum Kollektorrahmen bzw. zwischen den Glasscheiben mittels Silicon abgedichtet, um den Feuchtigkeitseintritt zu verhindern. Der prinzipielle Kollektoraufbau ist aus Abbildung A 1.2 ersichtlich. Bei der vorliegenden Kollektorfläche sind sechs Glasscheiben mit einer Abmessung von 3x1 m im Querformat übereinander angeordnet. Als Glastype wurde ein Einscheibensicherheitsglas (ESG) mit einer Glasstärke von 6 mm und glatter Oberfläche verwendet.

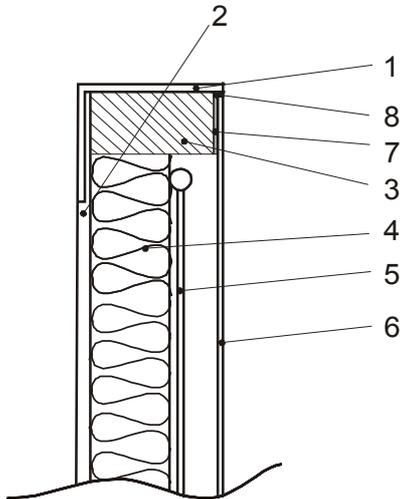


Tabelle A 1.2: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen [mm]
1	Trägerkonstruktion	k.A.
2	Kollektorrückwand	8
3	Rahmenholz	100 x 45
4	Kollektordämmung	60
5	Absorber	1,1
6	Glasabdeckung (ESG)	6
7	Klebeband	k.A.
8	Silikondichtung	-

Abbildung A 1.2: Kollektoraufbau, Anlage A1

Die Leitungen der Kollektorverschaltung werden in der Kollektordämmung geführt. Die Kollektovor- und Rücklaufleitung werden an der Kollektorrückwand gemeinsam herausgeführt und durch einen Mauerdurchbruch in den Technikerraum geleitet.

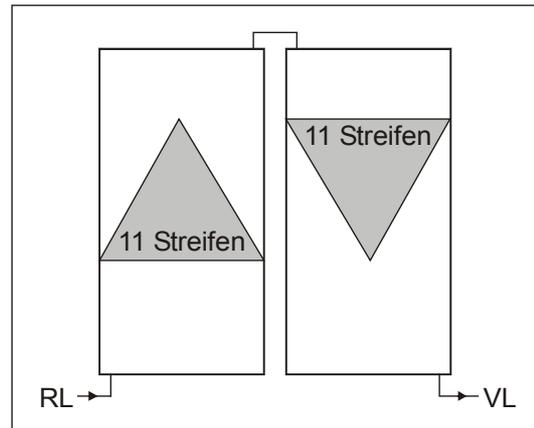


Abbildung A 1.3: Der Kollektorausschnitt zeigt die Absorberstreifen und die mit Silikon eingedichteten Gläser.

A 1.1.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Insgesamt sind zwei Kollektorfelder mit je 11 Absorberstreifen seriell verschaltet. Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 12 m. Die hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes ist nur durch die Demontage der Glasscheiben zugänglich. Revisionsöffnungen sind nicht vorhanden. Der Mikroblasenabscheider für die Entlüftung des Solarprimärkreises ist im Technikraum montiert.

Abbildung A 1.4: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder; 2 Kollektorfelder mit je 11 Absorberstreifen sind in seriell verschaltet



A 1.2 Öffentliches Objekt A2

Im neu errichteten Pfarr- und Jugendheim wurden fassadenintegrierte Kollektoren in der Südfassade des Objektes installiert. Das Untergeschoss ist als Massivbau ausgeführt. Die Wände des Obergeschosses sind als Holzriegelkonstruktion ausgeführt. Zur Montage der Kollektorfläche wurde die Südfassade des Obergeschosses genutzt. Insgesamt wurden 72 m² Kollektorfläche installiert. Die Kollektorfassade bestehend aus Wärmedämmung, Absorberfelder und Glasabdeckung wurde bei dieser Anlage vor Ort montiert.



Abbildung A 1.5: Ansicht der Kollektorsüdfassade, Anlage A2

Der Wärmeertrag des Kollektorfeldes wird in einen Pufferspeicher mit 2200 l eingebracht und für die Heizung und Brauchwasserbereitung des Objektes verwendet. Die Brauchwasserbereitung erfolgt über einen Spira-Rohr-Wärmetauscher im Pufferspeicher (Durchlauferhitzerprinzip). Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.3 zusammengefasst.

Tabelle A 1.3: Eckdaten der Anlage A2

Objektnutzung		Jugendheim
Solaranlagennutzung		Brauchwasserbereitung, teilsolare Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	72
Kollektorlieferant		F2
Kollektortype		T1
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	90
Energiespeichervolumen	[l]	2200
Nachheizung		Gaskessel

A 1.2.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Die Wände des Obergeschosses sind als Holzriegelkonstruktion ausgeführt, die Kollektorfläche wurde an die Südfassade angebracht.

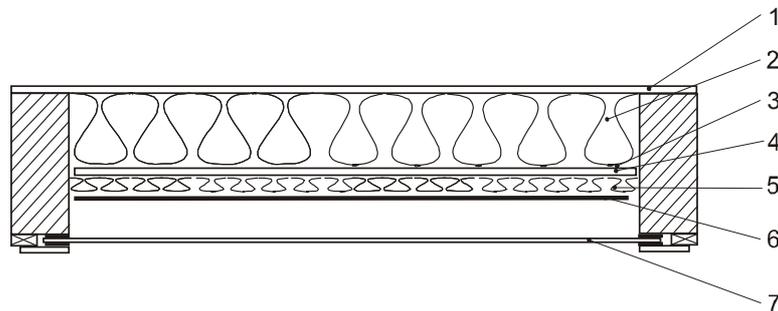


Abbildung A 1.6: Wandaufbau, Anlage A2

Tabelle A 1.4: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessung (mm)
1	Sperrholzplatte	k.A.
2	Gebäudedämmung	200
3	Dampfbremse	-
4	Sperrholzplatte	k.A.
5	Wärmedämmung Kollektor	50
6	Absorber	-
76	Glasabdeckung (ESG, eisenarm)	4

Der Absorber ist mit einem strukturierten, 4 mm starken eisenarmen Einscheibensicherheitsglas (ESG) abgedeckt. Bei der vorliegenden Kollektorfläche sind drei Glasscheiben übereinander angeordnet, wobei die zwei unteren Glasscheiben Standardabmessungen haben und jeweils die letzte oben an die Architektur angepasst wurde. Die Kollektorfläche wurde an die Abmessungen des Gebäudes angepasst.

Das Glasbefestigungssystem besteht aus einem Alu-Glasauflageprofil, dem Glasauflagegummi und einem Alu-Abdeckprofil, das mit Schrauben im Schraubkanal des Alu-Glasauflageprofils fixiert ist. Diese Komponenten werden auch bei Flachkollektoren (Aufdachkollektoren, Indachkollektoren) verwendet. Die Querdichtung zwischen zwei übereinanderliegenden Gläsern wird durch ein Stoßkanten-H-Profil bewerkstelligt. Abgedichtet werden diese Profile mit Silikon. Die untersten Glasscheiben sind mit je zwei Glashaltewinkel vor dem Abrutschen gesichert.

A 1.2.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Insgesamt sind 10 Kollektorfelder mit je sieben Absorberstreifen parallel nach Tichelmann verschaltet. Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 5 m. Die hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes ist nur durch die Demontage der Glasscheiben zugänglich. Revisionsöffnungen sind nicht vorhanden. Der Entlüfter für die Entlüftung des Solarprimärkreises ist im Dachboden montiert.

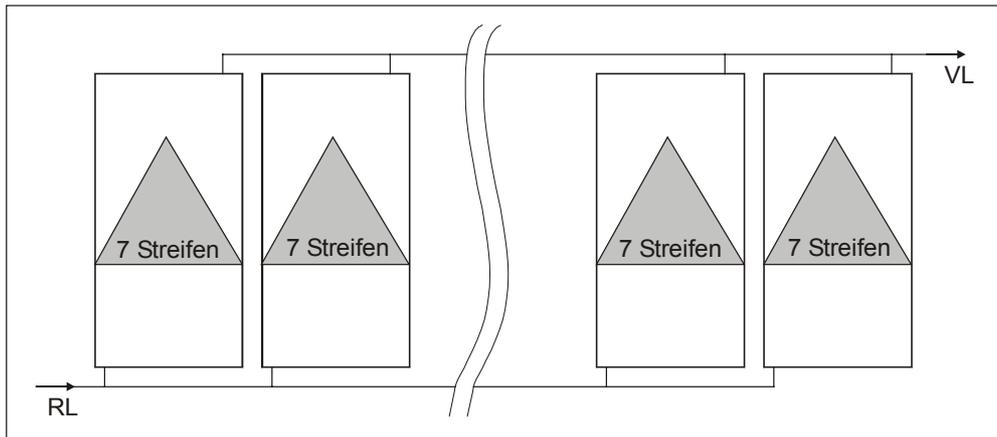


Abbildung A 1.7: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder; 10 Kollektorfelder mit je 7 Absorberstreifen sind parallel verschaltet (Tichelmann-Verschaltung)

A 1.2.3 Problemzonen

Diese Kollektorfassade wurde vor Ort montiert. Durch einen kurzen Regen während der Montage sind die Absorberstreifen nass geworden, sodass trotz strukturierter Glasabdeckung Schlieren auf dem Absorber sichtbar sind, wodurch das optische Erscheinungsbild der Fassade verschlechtert wird (siehe Abbildung A 1.8). Deshalb sollte bei der Vor-Ort Montage darauf geachtet werden, dass der Absorber vor Feuchtigkeit (Regentropfen) geschützt ist.



Abbildung A 1.8: Detailansicht des Absorberfeldes, durch Nässe beim Absorbereinbau sind Schlieren am Absorber sichtbar.

A 1.3 Öffentliches Objekt A3

Im Mittelpunkt der Sanierungsmaßnahmen eines Jugendgästehauses standen die Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenfassade sowie die Modernisierung der Warmwasserbereitungsanlage. Das ist die ideale Kombination für eine thermische Solaranlage mit fassadenintegrierten Kollektoren. Bei dieser Anlage fungiert die rückseitige Dämmung des Fassadenkollektors gleichzeitig als Dämmung der Gebäudehülle. Als Kollektorfläche wurde die gesamte zur Verfügung stehende Fassadenfläche genutzt. Insgesamt wurden 112 m² installiert.



Abbildung A 1.9: Ansicht der Kollektorsüdfassade des Öffentlichen Objektes A3

Tabelle A 1.5: Eckdaten des Öffentlichen Objektes A3

Objektnutzung		Jugendgästehaus
Solaranlagenutzung		Brauchwasserbereitung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	112
Kollektorlieferant		F1
Kollektortype		T2
Ausrichtung (Abweichung aus Süden)	[°]	+30
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		keine
Energiespeichervolumen	[l]	2 x 1.180
Nachheizung		mittels Gaskessel

Die Kollektoranlage wurde in das bestehende Brauchwasserbereitungssystem integriert. Die solare Wärme wird in zwei in Reihe geschaltete Brauchwasserspeicher (2 x 1.180 l) temperaturorientiert eingeschichtet. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.5 zusammengefasst.

A 1.3.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Abbildung A 1.10 zeigt den Wandaufbau von innen nach außen. Auf den bestehenden Wandaufbau (Pos. 1 bis 3) wurde der Fassadenkollektor montiert, wobei zwischen Außenputz und Kollektor eine Kollektorhinterlüftungsebene angeordnet ist. Die Kollektorhinterlüftung ist nicht aktiviert, d.h. die Klappen für die Hinterlüftung sind geschlossen. Auf den Distanzholzstaffeln der Hinterlüftung ist die Kollektorrückwand montiert. Die Kollektormontage – Montage der Kollektorrückwand, der Wärmedämmung, verlöten der Absorberfelder sowie die Montage der Glasabdeckung – erfolgte bei dieser Anlage vor Ort (siehe Abbildung A 1.11).

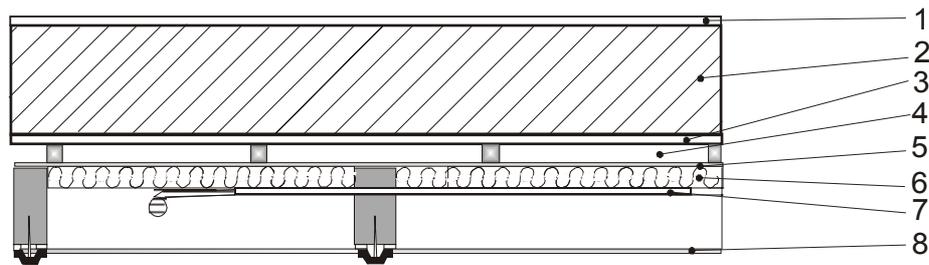


Abbildung A 1.10: Wandaufbau, Anlage A3

Tabelle A 1.6: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)
1	Innenputz	15
2	Ziegel	280
3	Außenputz	15
4	Hinterlüftung, Luftklappen geschlossen	40
5	Kollektorrückwand	8
6	Wärmedämmung (Steinwollplatten)	40
7	Absorber	1,1
8	Glasabdeckung (ESG)	4

Der Absorber ist mit einem glatten, 4 mm starken Einscheibensicherheitsglas (ESG) abgedeckt. Bei der vorliegenden Kollektorfläche sind fünf Glasscheiben übereinander angeordnet. Dabei wurde die Glasabmessung so gewählt, dass alle Glasscheiben der rechten Fassadenseite die gleiche Abmessung haben. Durch die Fenster in der linken Fassadenseite war dies im Fensterbereich nicht möglich. Die Kollektorfläche wurde an die Abmessungen des Gebäudes angepasst.



Das Glasbefestigungssystem besteht aus einem Holzrahmen, dem Glasaufleg Gummi und dem Alu-Abdeckprofil. Dieses ist durch Schrauben, die im Schraubenkanal des Alu-Abdeckprofils fixiert werden, montiert. Dieses Glasbefestigungssystem wird vertikal eingesetzt. Die Querdichtung zwischen zwei übereinanderliegenden Gläsern wird durch ein Stoßkanten-H-Profil bewerkstelligt. Abdichtet werden diese Profile mit Silikon. An den untersten Glasscheiben sind pro Scheibe zwei Glashaltewinkel montiert, die die Gläser vor dem Abrutschen sichern.

Abbildung A 1.11: Vor Ort Montage der Kollektorfassade

lare Wärme wird in drei Energiespeicher (3 x 850 l) und einen Trinkwasserspeicher (500 l) eingebracht, wobei der Trinkwasserspeicher Ladepriorität hat. Als Kollektorfläche wurde nicht die gesamte Südfassadenfläche, sondern drei Kollektormodule, mit einer Gesamtkollektorfläche von 17 m² installiert. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.7 zusammengefasst.

Tabelle A 1.7: Eckdaten der Anlage B1

Objektnutzung		Einfamilienhaus
Solaranlagenutzung		Brauchwasserbereitung und Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	17
Kollektorlieferant		F3
Kollektortype		T3
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	+ 30
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		durch Vordach
Energiespeichervolumen	[l]	3 x 850 und 1 x 500
Nachheizung		elektrischer Heizlüfter

A 1.4.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors:

Die Südfassade wurde als Holzriegelkonstruktion mit vorgesetzter Glasfassade und integrierten Kollektoren ausgeführt. Der Wandaufbau von innen nach außen ist aus Abbildung A 1.14 ersicht-

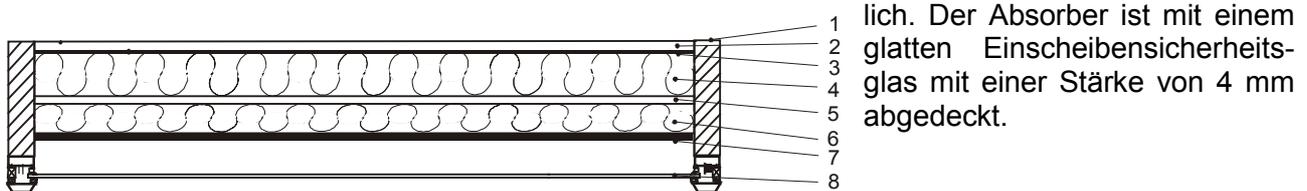


Abbildung A 1.14: Wandaufbau, Anlage B1

Tabelle A 1.8: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)
1	Holzständerkonstruktion	k.A.
2	Sperrholzplatte	k.A.
3	Dampfsperre (Alufolie)	k.A.
4	Wärmedämmung	k.A.
5	Kollektorrückwand (OSB 3 Platte)	k.A.
6	Wärmedämmung	k.A.
7	Absorber	k.A.
8	Glasabdeckung (ESG)	4

Die Abmessungen der Kollektorfelder und die Abmessungen der Verglasung wurden an die Architektur des Gebäudes angepasst.

Das Glasbefestigungssystem besteht aus dem Glasauflegegummi, der direkt auf dem Holzrahmen – entspricht dem Holzständer der Südfassade - montiert ist, und dem Alu-Abdeckprofil. Die Fixierung der Glasscheibe erfolgt mit Schrauben, die durch das Alu-Abdeckprofil in den Holzrahmen geschraubt werden. Vertikal werden Stoßkanten-H-Profile verwendet, welche die gleiche Breite wie die horizontalen Profile haben. Abgedichtet werden diese Profile mit Silikon.

A 1.4.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Die drei Kollektorfelder sind seriell verschaltet, wobei jedes Kollektorfeld aus je sechs Absorberstreifen besteht. Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 21 m. Die hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes ist nur durch die Demontage der Glasscheiben zugänglich. Revisionsöffnungen sind nicht vorhanden. Der Mikroblasenabscheider für die Entlüftung des Solarprimärkreises ist im Technikraum montiert.

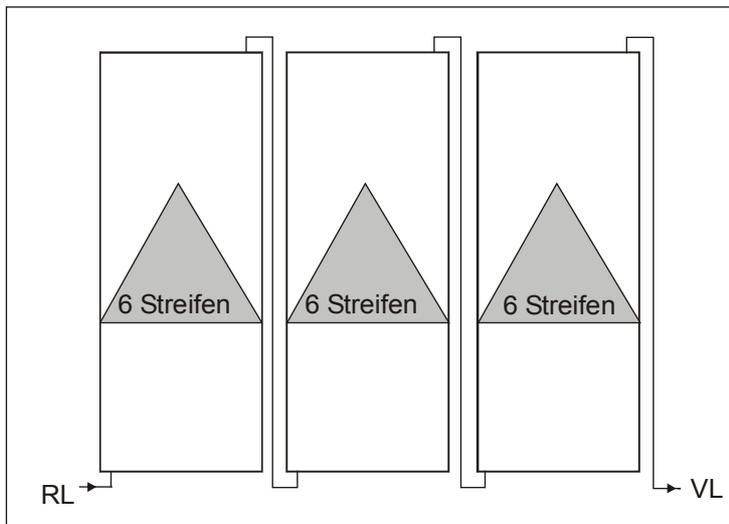


Abbildung A 1.15: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder. Jedes Kollektorfeld besteht aus je 6 Absorberstreifen.

A 1.4.3 Problemzonen

Durch das Vordach wird im Sommer der obere Teil der Kollektorfläche abgeschattet.

Im Kollektor sind Öffnungen für die Kollektorlüftung angebracht, sodass Insekten eindringen können (siehe Abbildung A 1.16). Diese Öffnungen sollten mit einem Fließ versehen werden, sodass einerseits die „Kollektoratmung“ möglich ist, aber andererseits das Eindringen der Insekten verhindert wird.



Abbildung A 1.16: Insekten im Kollektor

A 1.5 Privates Objekt B2

Das Einfamilienhaus B2 ist ein renovierter Altbau, wobei das Obergeschoss komplett neu errichtet wurde. Es entstand ein geräumiges Haus, wobei darauf geachtet wurde, dass das Sonnenlicht möglichst alle Bereiche erreicht. Dies wird durch die offene Bauweise erzielt. Die Energieversorgung erfolgt mit einer 38,5 m² Kollektorfläche und die erforderliche Nachheizung mit Hilfe eines Pelletofens, der auch mit Stückholz beschickt werden kann. Die Energie wird in einem 3800 Liter fassenden Pufferspeicher gespeichert, der einen 500 l Brauchwasserspeicher versorgt.



Abbildung A 1.17: Einfamilienhaus B2

Der Kollektor ist hinterlüftet montiert, wobei er zum Teil über das Dach hinausragt. Als Energieabgabesystem ist eine Fußbodenheizung und eine Wandheizung installiert. Die Eckdaten der Anlage B2 sind in Tabelle A 1.9 zusammengefasst.

Tabelle A 1.9: Eckdaten der Anlage B2

Objektnutzung		Einfamilienhaus
Solaranlagenutzung		teilsolare Raumheizung und Warmwasserbereitung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	38,5
Kollektorlieferant		F4
Kollektortype		T2
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	+20°
Kollektorneigung	[°]	84
Energiespeichervolumen	[l]	3800
Nachheizung		Pelletsofen

A 1.5.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Der Kollektor mit einer Neigung von 84° ist hinterlüftet ausgeführt und ragt etwa zur Hälfte über das flache Dach (6° Neigung) hinaus. Hinter dem Kollektor befindet sich ein 20 cm breiter Luftraum.

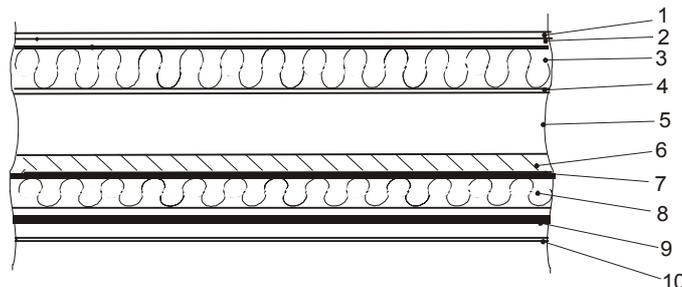


Abbildung A 1.18: Wandaufbau, Anlage B2

Tabelle A 1.10: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)
1	Gipskartonplatte	15
2	OSB-Platte	18
3	Wärmedämmung	160
4	Agepan DWD	16
5	Luftspalt	200
6	Massivholzplatte	80
7	Kollektorrückwand	k.A.
8	Kollektordämmung	k.A.
9	Absorber	1,1
10	Glasabdeckung (ESG)	4

Das Glasbefestigungssystem besteht aus einem Holzauflegeprofil, dem Glasauflegegummi und einem Alu-Abdeckprofil, das mit Schrauben im Schraubkanal des Auflageprofils fixiert ist.

A 1.5.2 Problemzonen

Die Energieversorgung erfolgt durch eine Fußboden- und eine Wandheizung. Die Regelung ermöglicht es nicht, die beiden Systeme mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen anzufahren. Dies führt zur Unzufriedenheit der Bewohner, da entweder die Wandheizung zu warm, oder die Fußbodenheizung zu kalt ist. Der Hausbesitzer musste bislang mit einem Handventil die Durchflussmenge der Wandheizung herabsetzen, will das Problem in Zukunft aber durch eine Änderung in der Regelungsstrategie beheben.

A 1.6 Privates Objekt B3

Die Außenwände des Einfamilienhauses B3 sind als Holzriegelkonstruktion ausgeführt. Die Energieversorgung – Brauchwasserbereitung und Raumheizung – wird vollständig aus erneuerbaren Energieträgern bewerkstelligt. Die Energieversorgung erfolgt durch die Kombination einer thermischen Solaranlage und einem Kachelofen, der für die Ganzhausheizung ausgelegt ist. Die thermische Solaranlage wurde in die Fassade integriert. Bei dieser Anlage fungiert die Dämmung des Fassadenkollektors gleichzeitig als Dämmung der Gebäudehülle.



Abbildung A 1.19: Südansicht mit den Fassadenkollektoren im Obergeschoss, Anlage B3

Als Kollektorfläche wurde nicht die gesamte Südfassadenfläche, sondern sieben Kollektormodule mit einer Gesamtkollektorfläche von 28 m² installiert. Drei kleine Kollektorfelder sind auf Höhe der Oberlichten angebracht. Das erkennbare vierte kleine Feld in der linken oberen Ecke der Südfassade ist als Blindverglasung ausgeführt. Dieses Feld bringt keinen Wärmeeintrag, sondern soll lediglich architektonischen Ansprüchen genügen. Die solare Wärme wird in einen 1.000 l fassenden Pufferspeicher eingebracht. Die Brauchwasserbereitung erfolgt mittels externem Wärmetauscher. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.11 zusammengefasst.

Tabelle A 1.11: Eckdaten der Anlage B3

Objektnutzung		Einfamilienhaus
Solaranlagenutzung		Brauchwasserbereitung und teilso-lare Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	28
Kollektorlieferant		F1
Kollektortype		T2
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		Kollektorfelder in den Oberlichtern sind im Sommer teilweise abgeschattet
Energiespeichervolumen	[l]	1000
Nachheizung		Kachelofen-Ganzhausheizung

A 1.6.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Das Obergeschoss des Einfamilienhauses ist in Leichbauweise – Holzständerkonstruktion – gefertigt. Abbildung A 1.20 zeigt den Wandaufbau von innen nach außen. Im Obergeschoss der Südfassade ist der Fassadenkollektor integriert. Die Absorberfelder liegen direkt auf der Pavatexdämmung. Der Absorber wird an den Holzleisten, zwischen denen die Pavatexdämmung geklemmt ist, montiert. Die Abdeckung der Kollektorfelder erfolgt mit einem 6 mm starken Einscheibensicherheitsglas. Die Kollektorgröße

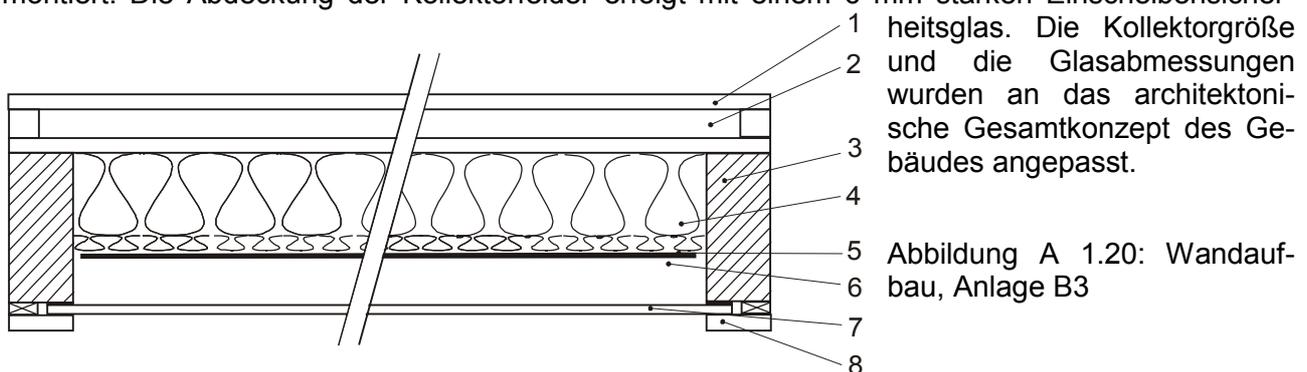


Abbildung A 1.20: Wandaufbau, Anlage B3

Tabelle A 1.12: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessung (mm)
1	Innentrockenausbau Fermazellplatte	k.A.
2	Installationsebene	k.A.
3	Holzriegel	k.A.
4	Wärmedämmung Steinwolle	180
5	Pavatexdämmung und Holzleiste für die Absorberfixierung	25
6	Absorber	1,1
7	Glasabdeckung (ESG)	6
8	Abdeckleiste	25

Die Leitungen für die Kollektorverschaltung sind in der Dämmung geführt. Für die Glasbefestigung wurden bei dieser Anlage Holzabdeckleisten, die mit der Holzriegelkonstruktion verschraubt ist gewählt (siehe Abbildung A 1.21).



Abbildung A 1.21: Detailansicht des Kollektorfeldes mit Holzabdeckkleisten

A 1.6.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Die sieben Kollektorfelder sind seriell verschaltet. Die Absorberfelder neben den Balkontüren bestehen aus je 14 Absorberstreifen, die Absorberfelder in den „Oberlichten“ aus je sieben Absorberstreifen. Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 12 m. Die hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes ist nur durch die Demontage der Glasscheiben zugänglich. Revisionsöffnungen sind nicht vorhanden. Der Entlüfter (Spiorvent) für die Entlüftung des Solarprimärkreises ist im Technikraum montiert.

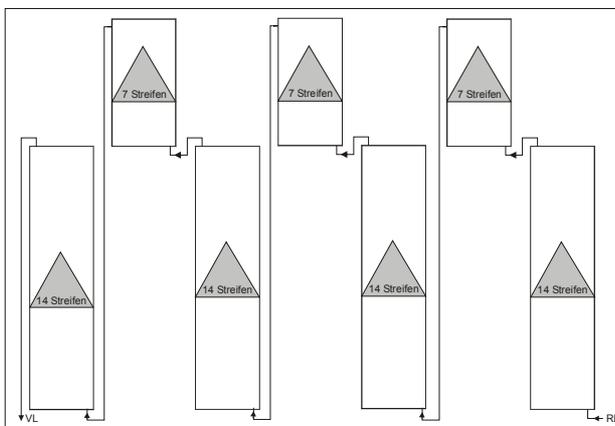


Abbildung A 1.22: Hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes.

A 1.6.3 Problemzonen

Die Art der hydraulischen Verschaltung der Kollektorfelder ist in diesem Fall insofern ungünstig, als die oberen (kleinen) Kollektorfelder im Sommer durch das Vordach verschattet werden. Dadurch wird das Medium, das in den unteren Feldern erwärmt wurde, wieder etwas gekühlt.

A 1.7 Privates Objekt B4

Die Außenwände des Einfamilienhauses B4 sind als Holzriegelkonstruktion aufgebaut. Die Energieversorgung – Brauchwasserbereitung und Raumheizung – wird vollständig aus erneuerbaren Energieträgern bewerkstelligt. Die Energieversorgung erfolgt durch die Kombination einer thermischen Solaranlage und einem Kachelofen, der für die Ganzhausheizung ausgelegt ist. Die thermische Solaranlage wurde in die Fassade integriert. Bei dieser Anlage fungiert die Dämmung des Fassadenkollektors gleichzeitig als Dämmung der Gebäudehülle.



Abbildung A 1.23: Südansicht des Objektes B4 mit den Fassadenkollektoren

Als Kollektorfläche wurde nicht die gesamte Südfassadenfläche, sondern zwei Kollektormodule, mit einer Gesamtkollektorfläche von 15 m² installiert. Die solare Wärme wird in einen Speicher eingebracht. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.13 zusammengefasst.

Tabelle A 1.13: Eckdaten der Anlage B4

Objektnutzung		Einfamilienhaus
Solaranlagennutzung		Brauchwasserbereitung und teilso-lare Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	15
Kollektorlieferant		F1
Kollektortype		T2
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		Keine
Energiespeichervolumen	[l]	800 l
Nachheizung		Kachelofen-Ganzhausheizung

A 1.7.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Das Objekt ist in Leichbauweise – Holzständerkonstruktion – gefertigt. Die Abbildung A 1.24 zeigt den Wandaufbau von innen nach außen. An der Ost-, West- und Nordwand wird der Wandaufbau mit einer hinterlüfteten Holzfassade abgeschlossen. In der Südwand ein Fassadenkollektor integriert. Die Absorberfelder liegen direkt auf der Gebäudedämmung und sind an der Holzriegelkonstruktion des Gebäudes fixiert. Der Absorber ist mit einem 6 mm starken Einscheibensicherheitsglas abgedeckt.

Die Glasabmessung der Absorberfelder wurden so gewählt, dass sie die gleiche Größe wie die Fensterabmessung (siehe Abbildung A 1.23) haben. Die Kollektorgröße und die Glasabmessungen wurden an das architektonische Gesamtkonzept des Gebäudes angepasst, wobei die gleiche Glasteilung wie bei den Fensterflächen verwendet wurde.

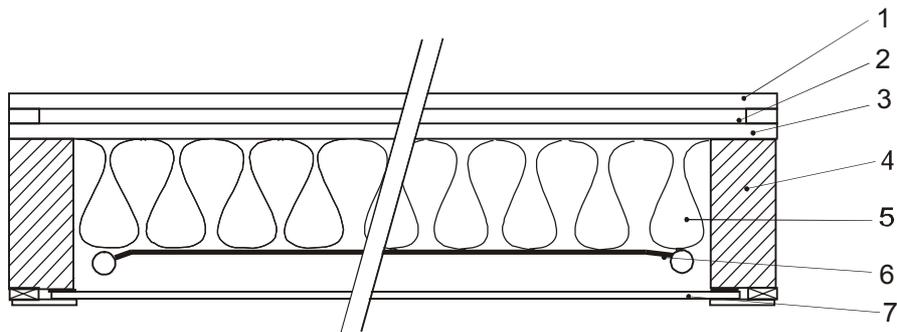


Abbildung A 1.24: Wandaufbau, Anlage B4

Tabelle A 1.14: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)
1	Spanplatte	k.A.
2	Luftspalt	k.A.
3	Spanplatte	k.A.
4	Holzriegelkonstruktion	k.A.
5	Wärmedämmung (Steinwollplatten)	k.A.
6	Absorber	1,1
7	Glasabdeckung	6



Die Leitungen für die Kollektorverschaltung sind im wesentlichen in der Dämmung der Holzriegelkonstruktion geführt.

Das Glasbefestigungssystem besteht aus einem Holzrahmen, dem Glasaufleg Gummi und dem Alu-Abdeckprofil. Dieses ist durch Schrauben, die im Schraubenkanal des Alu-Glasauflegprofils verschraubt sind, fixiert. An den untersten Glasscheiben sind Glashaltewinkel montiert, welche die Gläser vor dem Abrutschen sichern. Als Abtropfleiste ist ein Kupferwinkel montiert.

Abbildung A 1.25: Detailansicht des Fassadenkollektors

A 1.7.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Die zwei Kollektorfelder (links und rechts von den Wohnraumfenstern) sind parallel verschaltet, wobei jedes Kollektorfeld aus vier Absorberfeldern mit je fünf Absorberstreifen besteht. Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 11,6 m.

Die hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes ist nur durch die Demontage der Glasscheiben zugänglich. Revisionsöffnungen sind nicht vorhanden. Der Entlüfter (Spiorvent) für die Entlüftung des Solarprimärkreises ist im Technikraum montiert.

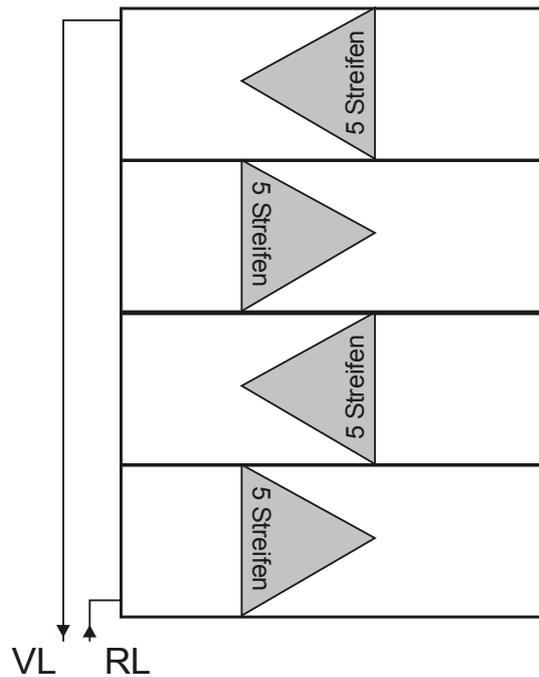


Abbildung A 1.26: Hydraulische Verschaltung eines Kollektorfeldes. Die Verschaltung des zweiten Kollektorfeldes entspricht der des ersten Feldes.

A 1.8 Privates Objekt B5

Der Energiebedarf für Brauchwasserbereitung und Raumheizung im Einfamilienhaus B5 wird vollständig durch erneuerbare Energieträger gedeckt. Dies erfolgt mit einer thermischen Solaranlage und einem Stückholzkessel. Als Kollektorfläche wurde nicht die gesamte Südfassadenfläche, sondern zwei Teilflächen mit einer Gesamtkollektorfläche von 24 m² installiert. Die solare Wärme wird in einen Energiespeicher mit 1.000 l eingebracht. Die thermische Solaranlage wurde in zwei Teilflächen aufgeteilt, wobei eine Teilfläche in die Fassade des halboffenen Autounterstellplatzes und die zweite Teilfläche in die Fassade des Wohnhauses integriert ist. Die Kollektoren wurden als Fertigmodule geliefert. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.15 zusammengefasst.



die zweite Teilfläche in die Fassade des Wohnhauses integriert ist. Die Kollektoren wurden als Fertigmodule geliefert. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.15 zusammengefasst.

Abbildung A 1.27: Südansicht mit den Fassadenkollektoren in der Südseite des Wohnhauses und in der Fassade des Autoabstellplatzes (ganz rechts), Objekt B5

Tabelle A 1.15: Eckdaten der Anlage B5

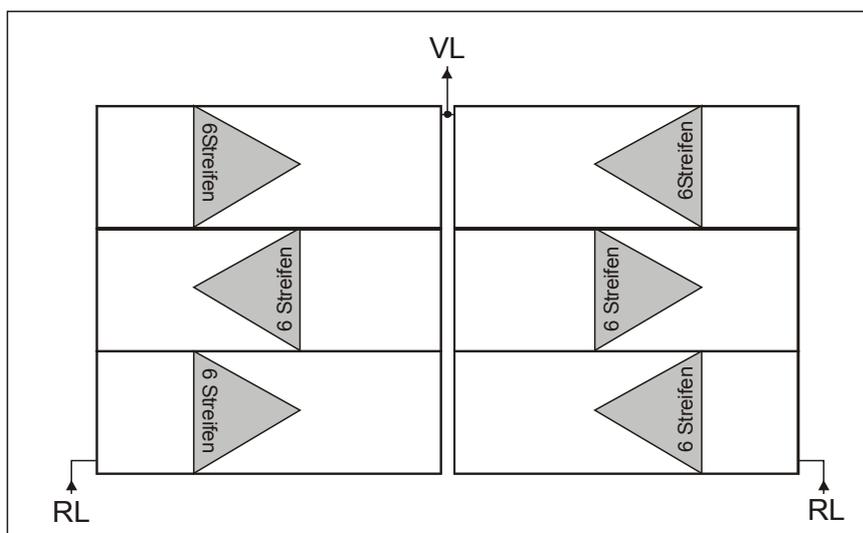
Objektnutzung		Einfamilienhaus
Solaranlagenutzung		Brauchwasserbereitung und teilso-lare Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	24
Kollektorlieferant		F2
Kollektortype		T1
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		zeitweise durch Dachüberstand
Energiespeichervolumen	[l]	1.000
Nachheizung		Stückholzkessel

A 1.8.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Der Fassadenkollektor am Wohnhaus ist hinterlüftet ausgeführt. Der Absorber ist mit einem glatten, 4 mm starken eisenarmen Einscheibensicherheitsglas abgedeckt. Das Glasbefestigungssystem besteht aus einem Alu-Glasauflageprofil, dem Glasauflagegummi und dem Alu-Abdeckprofil. Dieses ist durch Schrauben, die im Schraubenkanal des Alu-Glasauflageprofils fixiert werden, montiert. Für beide Kollektorflächen wird dieses Glasbefestigungssystem vertikal eingesetzt. An den untersten Glasscheiben sind pro Scheibe zwei Glashaltewinkel montiert, welche die Gläser vor dem Abrutschen sichern. Der Kollektorrahmen ist innen aus optischen Gründen schwarz lackiert.

A 1.8.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Die zwei Kollektorfelder in der Fassade des Autoabstellplatzes sind parallel verschaltet. Jedes Kollektorfeld besteht aus drei seriell verschalteten Absorberfeldern mit je sechs Absorberstreifen. Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 6,7 m. Die hydraulische Verschaltung des



Kollektorfeldes ist nur durch die Demontage der Glasscheiben zugänglich. Revisionsöffnungen sind nicht vorhanden (über die Verschaltung des Kollektorfeldes in der Fassade des Wohnhauses gibt es keine Angaben.)

Abbildung A 1.28: Hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes in der Fassade des Autoabstellplatzes. Jedes Absorberfeld besteht aus je 6 Absorberstreifen.

A 1.8.3 Problemzonen

Fassadenkollektoren werden nicht ausschließlich zur Energiegewinnung installiert, sondern sind auch ein wichtiges Gestaltungselement für die Fassade. Werden glatte, klare Gläser für die Kollektorabdeckung verwendet, so ist besonders auf die Auswahl der Absorbermaterialien und die Verarbeitungsqualität des Kollektors zu achten. Handelsübliche Kupferabsorber mit einer Blechstärke von 0,2 mm sind aus optischen Gründen – Unebenheiten des Absorberbleches – für die Fassadenintegration mit glatten Gläsern nicht sehr attraktiv (siehe Abbildung A 1.29). Aus optischen Gründen sollten bei Kupferabsorbern mit dieser Blechstärke strukturierte Gläser verwendet, bzw. stabilere Kupferbleche (strukturiert, größere Blechstärken) eingesetzt werden. Eine gute alternative sind Alu-Absorber, die durch die größere Blechstärke eine wesentlich höhere Absorberstabilität haben, wodurch keine Absorberunebenheiten auftreten und glatte Gläser eingesetzt werden können.

Eine weitere Problemzone sind die Glashaltewinkel (siehe Abbildung A 1.30). Die Glaskante ist im Bereich des Glashaltewinkels ausgebrochen.



Abbildung A 1.29: Kupferabsorber mit glatter Glasabdeckung. Im rechten Absorberfeld sind die Unebenheiten des Absorberbleches ersichtlich

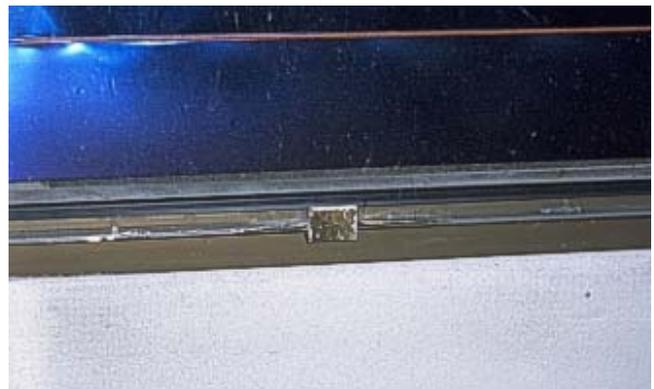


Abbildung A 1.30: Die Glaskante ist im Bereich des Glashaltewinkels abgesplittert.

A 1.9 Privates Objekt B6

Das Einfamilienhaus B6 wurde in Massivbauweise errichtet. Die Energieversorgung - Brauchwasserbereitung und Raumheizung – wird vollständig aus erneuerbaren Energieträgern bewerkstelligt. Diese besteht aus der Kombination einer thermischen Solaranlage und einem Kachelofen zur Ganzhausheizung, wobei die Brennstoffzufuhr im Keller erfolgt. Die solare Wärme wird in zwei parallel geschaltete Speicher (2 x 800 l) eingebracht. Die thermische Solaranlage wurde in die Fassade integriert. Bei dieser Anlage fungiert die Dämmung des Fassadenkollektors gleichzeitig als Dämmung der Gebäudehülle.



Abbildung A 1.31: Südansicht des Objektes B6 mit den Fassadenkollektoren. Ein Kollektorfeld wurde zwischen den beiden Fenstern im Obergeschoss montiert.

Als Kollektorfläche wurde nicht die gesamte Südfassadenfläche, sondern drei Kollektormodule, die in der Kollektorherstellerfirma vorgefertigt wurden, mit einer Gesamtkollektorfläche von 22,7 m² installiert. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.16 zusammengefasst.

Tabelle A 1.16: Eckdaten der Anlage B6

Objektnutzung		Einfamilienhaus
Solaranlagenutzung		Brauchwasserbereitung und teilso-lare Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	22,7
Kollektorlieferant		F1
Kollektortype		T2
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	+20
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		Keine
Energiespeichervolumen	[l]	2 x 800
Nachheizung		Kachelofen-Ganzhausheizung

A 1.9.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Die tragende Wand ist aus Ziegeln mit einer Wandstärke von 180 mm ausgeführt. Auf diese wird an der Ost-, Nord-, West- und der verbleibenden Südfassade ein Vollwärmeschutz montiert. Der Fassadenkollektor wird direkt mittels Blechwinkel an die Ziegelwand montiert (Pos. 3 bis 6), siehe Abbildung A 1.32. Der Absorber ist mit einem glatten, 6 mm starken Einscheibensicherheitsglas (ESG) abgedeckt. Die Kollektorfläche und die Abmessungen der Glasscheiben wurden an die Abmessungen des Gebäudes angepasst. Die Leitungen für die Kollektorverschaltung sind im Wesentlichen im Kollektorgehäuse in der Dämmung geführt.

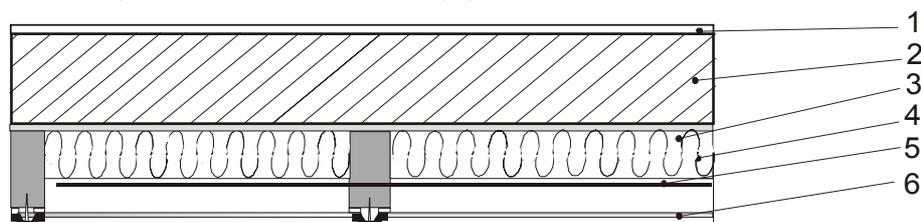


Abbildung A 1.32: Wandaufbau, Anlage B6

Tabelle A 1.17: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)
1	Innenputz	10
2	Ziegel (Hochlochziegel)	180
3	Kollektorrückwand, OSB	8
4	Wärmedämmung (Steinwollplatten)	110
5	Absorber	1,1
6	Glasabdeckung (ESG)	6

Das Glasbefestigungssystem besteht aus dem Glasauflegegummi, der direkt im Kollektorrahmen fixiert wird, und dem Alu-Abdeckprofil. Die Fixierung der Glasscheibe erfolgt mit Schrauben die durch das Alu-Abdeckprofil in den Holzrahmen geschraubt werden. Die Abdichtung der Schrauben erfolgt mittels Dichtscheibe, die zwischen Schraubenkopf und Alu-Abdeckprofil gelegt sind. Das Glasbefestigungssystem mit dem Alu-Abdeckprofil wird vertikal eingesetzt. An den untersten Glasscheiben sind pro Scheibe zwei Glashaltewinkel montiert, welche die Gläser vor dem Abrutschen sichern. Die untere Kollektorsammelleitung wird aus optischen Gründen mit einem Alu-Blech, das schwarz lackiert ist, abgedeckt.



Abbildung A 1.33: Kollektordetail: Absorber, Glashalteprofil, Glashaltewinkel; Abdeckblech für die Sammelleitung. Der Kollektor ist direkt an der Ziegelmauer montiert.

A 1.9.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Die drei Kollektorfelder sind seriell verschaltet, wobei jedes Kollektorfeld aus je 14 Absorberstreifen besteht. Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 12,5 m. Die hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes ist nur durch die Demontage der Glasscheiben zugänglich. Revisionsöffnungen sind nicht vorhanden. Der Mikroblasenabscheider für die Entlüftung des Solarprimärkreises ist im Technikraum montiert.

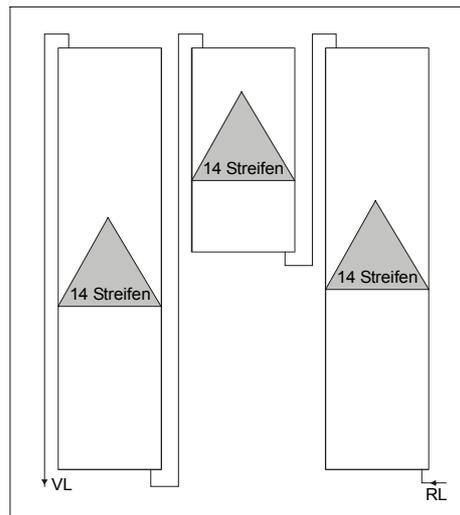


Abbildung A 1.34: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder. Jedes Kollektorfeld besteht aus je 14 Absorberstreifen.

A 1.10 Privates Objekt B7

Im Jahre 1993 hatte sich die Familie B7 entschlossen, ihr Einfamilienhaus zu sanieren. Aus dem bestehenden Altbau ist ein geräumiges Zweifamilienhaus mit einer vollsolaren Deckung des Warmwassers und Heizenergiebedarfs entstanden. Die vollsolare Versorgung wird mit einer 91 m² Kollektorfläche, die in der Fassade integriert ist, und einem 32.000 Liter fassenden Pufferspeicher erreicht.



Abbildung A 1.35: Südansicht des Zweifamilienhauses B7 mit Fassadenkollektor

Als Energieabgabesystem ist eine Deckenheizung installiert. Komplettiert wird die Raumwärmeversorgung mit einer kontrollierten Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung. Die Eckdaten der Anlage Sohm sind in Tabelle A 1.18 zusammengefasst.

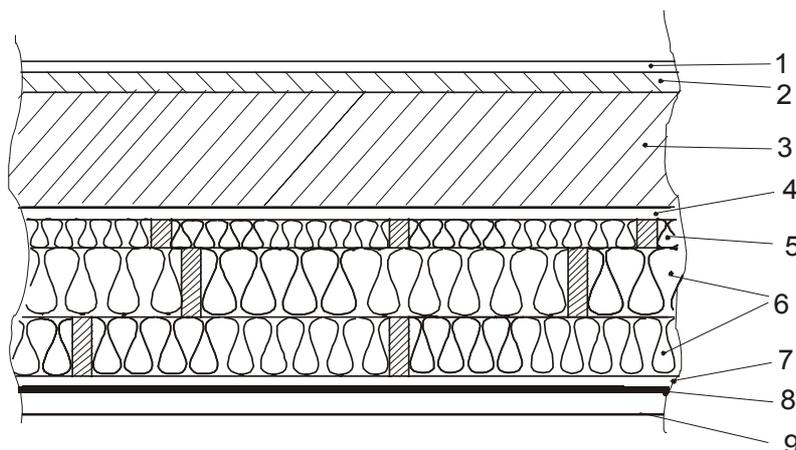
Tabelle A 1.18: Eckdaten der Anlage B7

Objektnutzung		Zweifamilienhaus
Solaranlagenutzung		vollsolare Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	91,5
Kollektorlieferant		F5
Kollektortype		k.A.
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	90
Energiespeichervolumen	[l]	31.200

A 1.10.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Ausgehend vom bestehenden Wandaufbau wurde das Gebäude mit einer Wärmedämmung versehen. Die Abbildung A 1.36 zeigt den Wandaufbau von innen nach außen, wobei die Positionen 1 bis 4 den bestehenden Wandaufbau und die Positionen 5 bis 7 die neue Wärmedämnhülle zeigen. Zwischen den beiden Wärmedämmschichten und auf der äußeren Wärmedämmschicht ist ein Windpapier montiert. An der Ost-, West- und Nordwand wird der Wandaufbau mit einer hinterlüfteten Holzfassade abgeschlossen. In die Südwand ist ein Fassadenkollektor integriert (siehe Abbildung A 1.35).

Auf der Holzriegelkonstruktion – Trägerkonstruktion für die Wärmedämmung - ist ein Holzplatte (Dreischichtplatte) montiert. Der Absorber liegt direkt auf dieser auf. Die Holzplatte – Kollektorrückwand - und der Holzrahmen für das Absorberfeld sind schwarz lackiert. Der Absorber ist mit einer 4 mm starken eisenarmen strukturierten Glasscheibe, wie sie bei Flachkollektoren üblich ist,



abgedeckt. Bei der vorliegenden Kollektorfläche sind vier Glasscheiben übereinander angeordnet. Dabei wurden die Glasmaße so gewählt, dass alle Glasscheiben die gleiche Abmessung haben.

Abbildung A 1.36: Wandaufbau, Anlage B7

Tabelle A 1.19: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)
1	Innenputz	15
2	Heraklith	25
3	Ton-Ziegel	250
4	Außenputz	15
5	Wärmedämmung (Rockwool)	50
6	Wärmedämmung (Rockwool)	240
7	Holzplatte	15
8	Absorber	-
9	Glasabdeckung (ESG – eisenarm, strukturiert)	4

Das Glasbefestigungssystem besteht aus einem Alu-Glasauflageprofil, dem Glasauflagegummi und einem Alu-Abdeckprofil, das mit Schrauben im Schraubkanal des Alu-Glasauflageprofils fixiert ist. Diese Komponenten werden auch bei Flachkollektoren (Aufdachkollektoren, Indachkollektoren) verwendet. Das Glasbefestigungssystem wird sowohl vertikal, als auch horizontal montiert (siehe Abbildung A 1.38). Die untersten Glasscheiben sind mit je zwei Glashaltewinkel vor dem Abrutschen gesichert.

A 1.10.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Insgesamt sind 13 Kollektorfelder mit je neun Absorberstreifen parallel nach Tichelmann verschaltet. Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 7 m. Die hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes ist nur durch die Demontage der Glasscheiben zugänglich. Revisionsöffnungen sind nicht vorhanden. Der Entlüfter für die Entlüftung des Solarprimärkreises ist im Dachboden montiert.

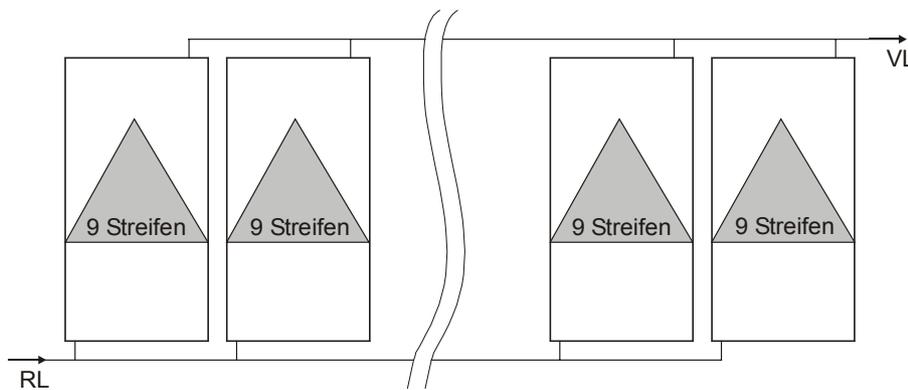


Abbildung A 1.37: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder; 13 Kollektorfelder mit je 9 Absorberstreifen sind parallel verschaltet (Tichelmann-Verschaltung)

A 1.10.3 Problemzonen

Durch die Windsogbelastung sind bereits einige Schrauben des Alu-Abdeckprofils gelockert bzw. halten nicht mehr, sodass Wasser seitlich in das Kollektorfeld eintreten kann. Die bei dieser Anlage verwendeten Alu-Glasauflageprofile sind für die Fassade nicht geeignet, was wahrscheinlich auf den Schraubkanal zurückzuführen ist.

Das Alu-Abdeckprofil ist über die gesamte Höhe einmal geteilt. Dieser Stoß bringt das Problem mit sich, dass Feuchtigkeit in den Kollektor eindringen könnte.

Es wurde festgestellt, dass heiße Teile des Kollektors mit Teilen aus Holz thermisch verbunden sind. So ist die Aufhängung der Sammelleitung im Holz mit Hacken befestigt. An diesen Stellen wird das Holz über einen längeren Zeitraum mit höheren Temperaturen beaufschlagt. Diese können im Sommer bis zu 200°C erreichen und über mehrere Stunden hindurch anhalten. Aber auch in den Übergangszeiten im Frühjahr und im Herbst können über längere Zeiträume hindurch diese hohen Temperaturen erreicht werden, da die Einstrahlung sehr stark sein kann. Außerdem erfolgt die Einstrahlung mit einem flacheren Einstrahlungswinkel als im Sommer, was für einen Fassadenkollektor bedeutet, dass die Strahlung mit einem Winkel von annähernd 90°C auf den Absorber auftrifft.

Dies führt zu einem langsamen Ausgasen des Holzes und schließlich zum Verkohlen, wie es hier der Fall ist. Damit einher geht eine Verminderung der Festigkeit des Holzes, was im Bereich der Aufhängung der Kollektoren natürlich nicht erwünscht ist.



Abbildung A 1.38: Vertikale und horizontale Glasbefestigungsprofile



Abbildung A 1.39: Einige Schrauben des Alu-Abdeckprofils sind durch die Windsogbelastung gelockert bzw. fehlen.

A 1.11 Privates Objekt B8

Die Außenwand des Einfamilienhauses B8 ist als Holzriegelkonstruktion ausgeführt. Das Haus hat eine solarunterstützte Heizungsanlage mit Brauchwasserbereitung. Die Nachheizung erfolgt mit einer Ölfeuerungsanlage. Die solare Wärme wird in einen Speicher (1250 l) eingebracht. Über einen Wärmetauscher erfolgt die Energieeinbringung in einen 200 l Brauchwasserspeicher.



Abbildung A 1.40: Südansicht des Hauses B8

Die thermische Solaranlage besteht aus zwei Kollektorfeldern, die parallel verschaltet sind. Das größere Feld (ca. 11 m²) wurde ins Dach und das kleinere (ca. 7 m²) in die Südfassade integriert. Bei dieser Anlage fungiert die Dämmung des Fassadenkollektors gleichzeitig als Dämmung der Gebäudehülle. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.20 zusammengefasst.

Tabelle A 1.20: Eckdaten der Anlage B8

Objektnutzung		Einfamilienhaus
Solaranlagenutzung		Brauchwasserbereitung und teilso-lare Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	Insgesamt 18 m ² , davon 7m ² Fas-sadenkollektor
Kollektorlieferant		F1
Kollektortype		T2
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		In der Früh durch einen Wald
Energiespeichervolumen	[l]	1250 l Schichtspeicher und 200 l Brauchwasserspeicher
Nachheizung		Ölkessel

A 1.11.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Die Außenwand ist in Leichtbauweise als Holzriegelkonstruktion gefertigt. Der Fassadenkollektor wird nicht hinterlüftet, jedoch sind die Kollektordämmung und die Gebäudedämmung getrennt ausgeführt. Die Abdeckung der Kollektorfelder erfolgt mit einem 4 mm starken Einscheibensicherheitsglas. Die Kollektorgröße und die Glasabmessungen wurden an das architektonische Gesamtkonzept des Gebäudes angepasst.

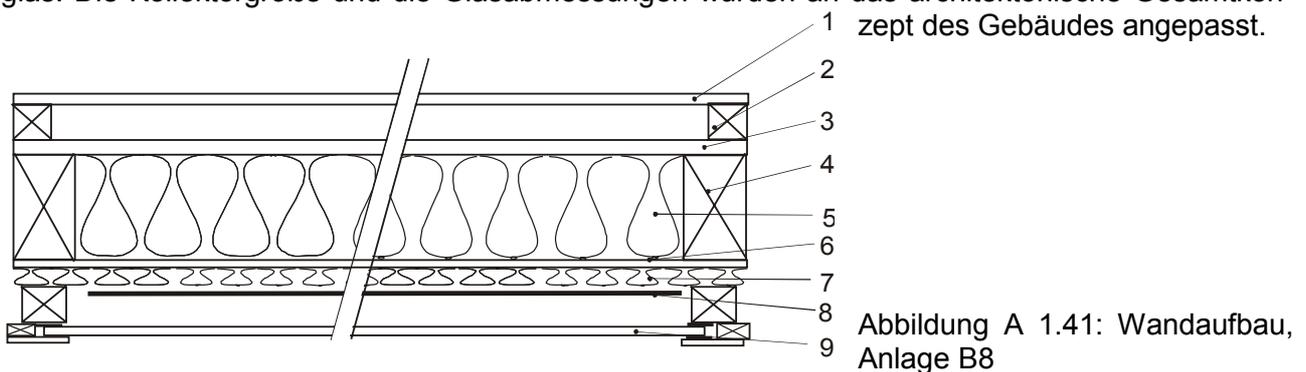


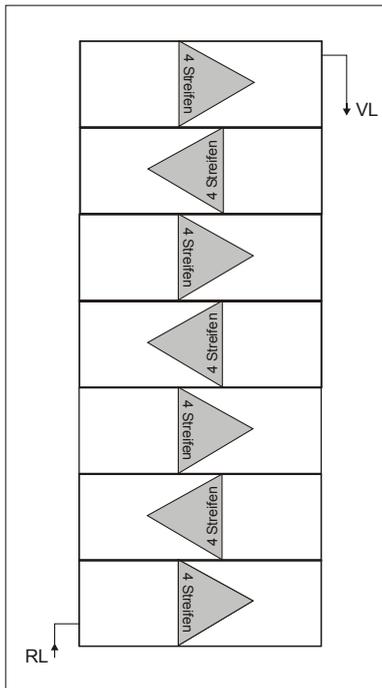
Abbildung A 1.41: Wandaufbau, Anlage B8

Tabelle A 1.21: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessung (mm)
1	Gipsfaserplatte	15
2	Installationsebene	50
3	OSB - Platte	18
4	Wärmedämmung (Isozell)	160
5	Dampfbremse (PE)	-
6	AGEPAN DWD Platte	16
7	Kollektordämmung	18
8	Absorber	1,1
9	Glasabdeckung (ESG)	4

Die Glasbefestigung besteht aus einem Holzrahmen, dem Glasauflegegummi und dem Alu-Abdeckprofil. Durch eine Schraubverbindung wird das Glas fixiert.

A 1.11.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage



Das Kollektorfeld besteht aus 7 seriell verschalteten Absorberfeldern mit je vier waagrecht Absorberstreifen (siehe Abbildung A 1.42). Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 14 m. Ein händischer, temperaturbeständiger Entlüftungstopf mit Luftreservoir ist in der Vorlaufleitung im Heizhaus eingebaut. Die Regelung der Gesamtanlage (auch die der Vorlauftemperaturen) erfolgt mit der freiprogrammierbaren Heizungsregelung, Produkt EMC 2000.

Abbildung A 1.42: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder. Das Kollektorfeld besteht aus 7 seriell verschalteten Absorberfeldern mit je 4 Absorberstreifen.

A 1.11.3 Problemzonen

Die Probleme bestehen bei dieser Anlage in der Verschattung der Kollektorfelder durch einen nahe liegenden Wald und in der Regelung. Die Integration des Kollektors in die Fassade ohne Hinterlüftung bereitet dagegen keine Schwierigkeiten.

A 1.12 Gewerbebetrieb C1

Im Energiepark West des Betriebes C1 wurde erstmals ein Bürogebäude und eine Produktionshalle mit 100% Energieversorgung aus erneuerbaren Energieträgern errichtet. Durch die ideale Anordnung des Büros und der Produktionshalle wird die passive Sonnenenergie optimal ausgenutzt. An aktiven Systemen zur Stromerzeugung, Brauchwasserbereitung und Raumheizung sind zwei mit Biodiesel betriebene BHKW's, eine Photovoltaikanlage mit 17160 W_{peak} (142 m²) und eine thermische Solaranlage mit 80 m² Kollektorfläche installiert.



Abbildung A 1.43: Südansicht des Bürogebäudes C1 mit integrierten Fassadenkollektoren und Photovoltaikmodulen

Der Wärmeertrag der Kollektorfelder wird in einen Pufferspeicher mit 950 l eingebracht und für die Heizung des Bürogebäudes und der Produktionshalle verwendet. Die Brauchwasserbereitung erfolgt über einen Spira-Rohr-Wärmetauscher im Pufferspeicher (Durchlauferhitzerprinzip).

Tabelle A 1.22: Eckdaten der Anlage C1

Objektnutzung		Industriehalle und Bürogebäude
Solaranlagenutzung		Warmwasserbereitung und Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	80
Kollektorlieferant		F1
Kollektortype		T2
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		Geringfügig im Sommer
Speichervolumen	[l]	950
Nachheizung		BHKW mit Biodiesel

Die Produktionshalle wird über die Betonplatte beheizt. 430m² sind mit PE – Heizschlangen ausgelegt und erwärmen die 25 cm dicke Betonplatte, die nach unten 12 cm gedämmt ist. Die Beheizung der Büroräume erfolgt durch eine Wandflächenheizung die aus Absorberprofilen des Typs T2 ausgeführt sind. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.22 zusammengefasst.

A 1.12.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Die Kollektoren sind so in die Wandkonstruktion integriert, dass der Fassadenkollektor selbst Funktionen der Außenwand (z.B. Aussteifung) übernimmt. Hier liegt eine Holzriegelkonstruktion vor, bei der die äußere Abdeckung durch den Kollektor dargestellt wird. Der Kollektor hat keine Rückwand, die Dämmung des Gebäudes übernimmt somit auch die Funktion der Kollektordämmung (oder umgekehrt). Als Glastype wurde ein Einscheibensicherheitsglas verwendet mit den Abmaßen 3 m mal 95 cm.

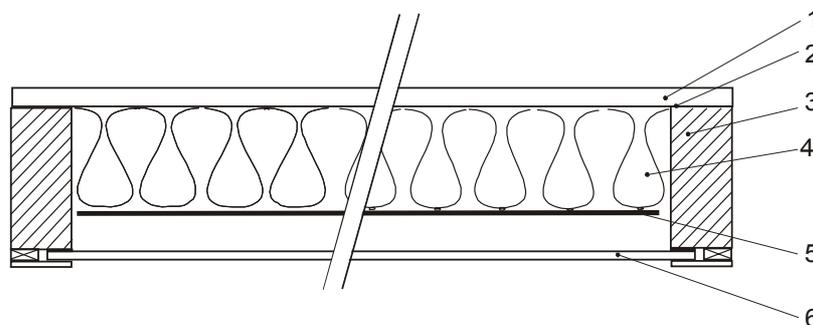


Abbildung A 1.44: Wandaufbau, Anlage C1

Tabelle A 1.23: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)
1	Sperrholzplatte	k.A.
2	Dampfsperre (Alu)	k.A.
3	Holzständerkonstruktion	-
4	Wärmedämmung,	220
5	Absorber	1,1
6	Glasabdeckung (ESG)	6

Die Glasbefestigungssystem besteht aus dem Glasauflegegummi, der direkt auf der Holzständerkonstruktion mit dem Alu-Abdeckprofil montiert ist. Die Fixierung der Glasscheibe erfolgt mit Schrauben, die durch das Alu-Abdeckprofil in den Holzrahmen geschraubt werden. Die Abdichtung der Schrauben erfolgt mittels Dichtscheibe, die zwischen Schraubenkopf und Alu-Abdeckprofil gelegt sind. Die Querdichtung zwischen zwei übereinanderliegenden Gläsern wird durch ein Stoßkanten-H-Profil bewerkstelligt. Abgedichtet werden diese Profile mit Silikon. Die unterste Scheibe wird durch einen Edelstahlglashaltebügel fixiert.



Abbildung A 1.45: Detailausschnitt der Kollektorfassade; mit Fensteranschluss an die Kollektorglasabdeckung



Abbildung A 1.46: Detailausschnitt Kollektor unten; Fixierung der Glasscheiben mit den Alu-Abdeckprofilen und durchgehenden Glashaltewinkel. In diesen sind die Gläser mit Silikon eingedichtet

A 1.12.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Insgesamt sind 3 Kollektorfelder mit stehenden Absorberprofilen seriell verschaltet.

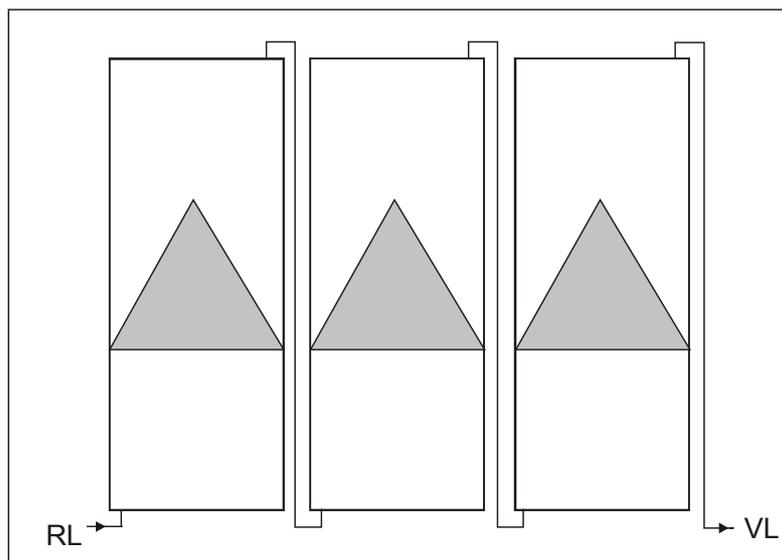


Abbildung A 1.47: Hydraulische Verschaltung der Kollektorfelder

A 1.13 Gewerbebetrieb C2



Die Einheit von Form und Funktion harmonieren bei der Produktionshalle der Firma C2 optimal. Verglasung, Wandelemente und fassadenintegrierte Kollektoren sind flächenbündig und gehen nahtlos ineinander über. Die Gebäudehülle ist sehr gut gedämmt. So weisen die Hallendecke eine Dämmstärke von 200 mm und die Wandelemente eine Dämmstärke von 160 mm auf.

Abbildung A 1.48: Südansicht der Fertigungshalle mit integriertem Fassadenkollektor, Objekt C2

In der Südfassade wurde eine Kollektorfläche von 84 m² in die Fassade der Produktionshalle integriert. Zusätzlich sind 66 m² Kollektorfläche am Scheddach einer weiteren Produktionshalle installiert. Diese Kollektorfläche ist 75° geneigt und dadurch auch bestens für die Winternutzung geeignet. Der Wärmeertrag beider Kollektorflächen wird in drei Pufferspeicher (2x5.000 l und 1x1.000 l) temperaturorientiert eingeschichtet.

Tabelle A 1.24: Eckdaten der Anlage C2

Objektnutzung		Industriehalle
Solaranlagenutzung		Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	Insgesamt 150 m ² davon 84 m ² Fassadenkollektor
Kollektornlieferant		F3
Kollektortype		T3
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		durch Bäume
Energiespeichervolumen	[l]	2 x 5.000 und 1 x 1.000
Nachheizung		Gasheizung

Das Heizungsabgabesystem der neuen Produktionshalle besteht aus einer Fußbodenheizung. In die Betonplatte, die sowohl als Speichermasse als auch als Fußbodenheizung dient, sind Heizschlangen verlegt. Im alten Hallenbestand sind Luftheizsysteme installiert. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.24 zusammengefasst.

A 1.13.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors

Die Produktionshalle ist als Stahlträgerkonstruktion ausgeführt. Die Nordseite der Halle ist vollflächig verglast (durchsichtig, U=0,9 W/m²K). Die Südfassade besteht aus den drei Elementen: Undurchsichtige Glasfassade, Fenster, Fassadenkollektor.

Der Wandaufbau der Südfassade ist aus Abbildung A 1.49 ersichtlich. Die Produktionshalle ist aus einer Stahlträgerkonstruktion aufgebaut. Die in das Stahltragwerk integrierten Fassadenelemente

sind aus Holz gefertigt und bestehen aus Holzrückwand, Kollektorrahmenholz, Wärmedämmung, Absorber und Verglasung. Auf diese ist die Wärmedämmung montiert (Pos 1 bis 5). Der Absorber liegt direkt auf der Wärmedämmung der Fassade. Für die Absorberabdeckung wird prismiertes eisenarmes Einscheibensicherheitsglas verwendet. Bei dieser Anlage wurden standardisierte Glasabmessungen verwendet.

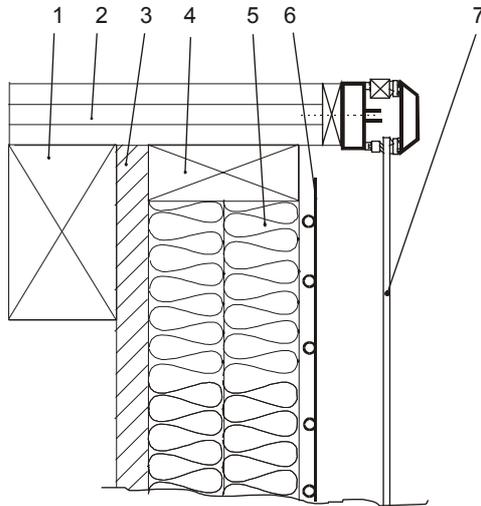


Abbildung A 1.49: Wandaufbau, Anlage C2

Tabelle A 1.25: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)
1,2	Holzträgerkonstruktion der Fassade	k.A.
3	Kollektorrückwand	20
4	Kollektorrahmenholz	k.A.
5	Wärmedämmung	160
6	Absorber	k.A.
7	Glasabdeckung (ESG)	6

Das Glasbefestigungssystem besteht aus einem Alu-Glasauflageprofil, dem Glasauflagegummi und dem Alu-Abdeckprofil. Durch eine Schraubverbindung wird das Glas fixiert. Zusätzlich ist auf das Alu-Abdeckprofil eine Zierblende aufgeklippt, sodass der Schraubkopf nicht sichtbar ist. Die Zierblende bewirkt eine optische Aufwertung der Alu-Profile. Vertikal werden zwei nebeneinander liegende Gläser mit einem Stoßkanten-H-Profil zusammengefügt, wobei die Abdichtung mittels Silikon erfolgt (siehe Abbildung A 1.50).



Abbildung A 1.50: Die Südfassade besteht aus den Elementen: Fenster, undurchsichtige Glasfassade und Fassadenkollektor

A 1.14 Gewerbebetrieb C3

Dass Bürogebäude nicht nur als Zweckbauten errichtet sein müssen, zeigt das vorliegende Beispiel. Bei der Firma C3 wurden Funktion und optisches Design ideal miteinander verbunden. Die



Energieversorgung – Brauchwasserbereitung und Raumheizung – wird vollständig aus erneuerbaren Energieträgern bewerkstelligt. Dies geschieht einerseits durch eine thermische Solaranlage, deren Kollektoren in die Fassade integriert sind, und andererseits durch die Wärmeversorgung über ein Biomassemikronetz.

Abbildung A 1.51: Ost- Südansicht des Bürogebäudes C3 mit integrierten Fassadenkollektoren in der Südfassade

In der Südfassade wurde eine Kollektorfläche von 87 m² in die Fassade des Bürogebäudes integriert. Der Wärmeertrag von sechs Kollektorfeldern wird in einen Pufferspeicher mit 1.000 l eingebracht und für die Heizung des Bürogebäudes und der Produktionshalle verwendet. Der Wärmeertrag aus dem siebenten Kollektorfeld wird zur Brauchwasserbereitung herangezogen. Dafür ist ein Trinkwasserspeicher mit einem Volumen von 300 l installiert. Das Heizungsabgabesystem der Produktionshalle besteht aus einer Fußbodenheizung. In der Betonplatte, die sowohl als Speichermasse als auch als Fußbodenheizung dient, sind Heizschlangen verlegt. Die Eckdaten der Anlage sind in Tabelle A 1.26 zusammengefasst.

Tabelle A 1.26: Eckdaten der Anlage C3

Objektnutzung		Industriehalle und Bürogebäude
Solaranlagenutzung		Warmwasserbereitung und Raumheizung
Kollektorfläche (Bruttofläche)	[m ²]	87
Kollektorlieferant		F1
Kollektortype		T2
Ausrichtung (Abweichung von Süden)	[°]	0
Kollektorneigung	[°]	90
Abschattung		Keine
Speichervolumen	[l]	1 x 1.000 und 1 x 300
Nachheizung		Biomasse

A 1.14.1 Wandaufbau und Integration des Fassadenkollektors:

Das Bürogebäude ist als Holzständerkonstruktion ausgeführt. Die Ost- und Westseite des Bürogebäudes ist vollständig verglast. Die Südfassade ist als Glasfassade, in der die Fassadenkollektoren integriert sind, ausgeführt. Der Wandaufbau von innen nach außen ist aus Abbildung A 1.52 ersichtlich. Position 1 bis 5 wurden von der Holzbaufirma als Fertigmodul angeliefert und montiert. Die Kollektormontage – Wärmedämmung, Montage der Absorberfelder sowie die Montage der Glasabdeckung – erfolgte bei dieser Anlage vor Ort. Der Absorber ist mit einem glatten Einscheibensicherheitsglas mit einer Stärke von 6 mm abgedeckt. Bei der vorliegenden Kollektorfläche sind 2 Glasscheiben übereinander angeordnet.

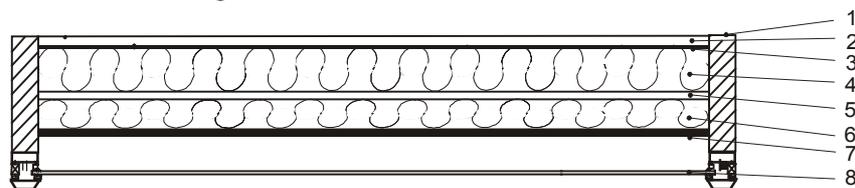


Abbildung A 1.52: Wandaufbau, Anlage C3

Tabelle A 1.27: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)
1	Holzständerkonstruktion	130 x 60
2	Sperrholzplatte	15
3	Dampfsperre (Alufolie)	
4	Wärmedämmung	90
5	Kollektorrückwand (OSB 3 Platte)	11
6	Wärmedämmung	60
7	Absorber	11
8	Glasabdeckung (ESG)	6



Abbildung A 1.53: Detailansicht der Fassade mit integrierten Kollektoren

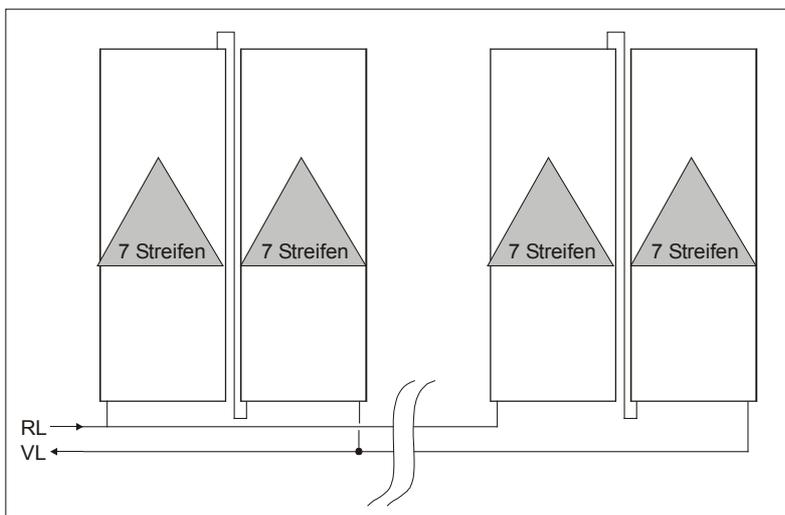


Abbildung A 1.54: Detailansicht Glasbefestigung unten. Bei dieser Anlage werden nicht Glashaltewinkel, wie sonst üblich, sondern Alu-Abdeckprofile für die Glasfixierung verwendet.

Das Glasbefestigungssystem besteht aus einem Alu-Glasauflageprofil, dem Glasauflagegummi und dem Alu-Abdeckprofil. Durch eine Schraubverbindung wird das Glas fixiert. Das Alu-Abdeckprofil hat bei dieser Fassade die Funktion der Glasfixierung und die Funktion der Führungsschiene für die außen montierte Fensterverschattung. Vertikal werden zwei übereinanderliegende Gläser mit einem Stoßkanten-H-Profil zusammengefügt, wobei die Abdichtung mittels Silikon erfolgt.

A 1.14.2 Hydraulische Verschaltung der Kollektoranlage

Für die teilsolare Raumheizung sind sechs Kollektorfelder verschaltet, wobei immer zwei Absorberfelder in Serie geschaltet sind. Jedes Absorberfeld besteht aus sieben Absorberstreifen. Die hydraulische Länge des Absorbers beträgt etwa 8 m. Die Verbindungsleitung zwischen zwei Kollektorfeldern ist in der Kollektorisolierung geführt. Die Vor- und Rücklaufleitungen in den Techniker-raum sind im Fußboden (E-Strich) verlegt. Die hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes ist



nur durch die Demontage der Glasscheiben zugänglich. Revisionsöffnungen sind nicht vorhanden. Ein Mikroblasenabscheider für die Entlüftung des Solarprimärkreises ist im Technikraum montiert.

Abbildung A 1.55: Hydraulische Verschaltung der drei parallel durchströmten Kollektorfelder. Jedes Kollektorfeld besteht aus 2 seriell verschalteten Absorberfeldern mit je 7 Absorberstreifen.

A 2. Auswertung der Fragebogenerhebung und Architektenworkshop

Um das Anforderungsprofil an einen Fassadenkollektor von Seiten der Architekten zu klären, wurde eine Fragebogenerhebung und ein eintägiger Workshop unter Einbeziehung von Architekten und Stadtplanern durchgeführt.

Folgende Fragestellungen sollten durch die Fragebogenerhebung und den Workshop geklärt werden:

- Ästhetisch-funktionale Anforderungen
- Möglichkeiten der Standardisierung hinsichtlich Abmessungen
- Rastermaße
- Anschluss der Kollektoren an Fenster, Dach und die konventionelle Gebäudehülle

Das Ziel dieses Arbeitspaketes lag darin, ein Anforderungsprofil für Fassadenkollektoren von Seiten der Architekten zu erhalten. Da die bauphysikalischen und baurechtlichen Aspekte getrennt erhoben wurden, stand hier der gestalterische Aspekt im Mittelpunkt. Methodisch wurde dabei so vorgegangen, dass einerseits eine Fragebogenerhebung unter Architekten durchgeführt wurde und im Anschluss daran, im Rahmen eines Workshops, die Fragestellungen unter Berücksichtigung der eingelangten Rückmeldungen mit den ausgewählten Architekten nochmals diskutiert wurden.

A 2.1 Fragebogenerhebung

Der Fragebogen wurde insgesamt an 1.975 Architekten versandt. Es sind 75 Rückmeldungen eingelangt, was einer Rücklaufquote von 4% entspricht. Es erfolgten 23 Leermeldungen, wobei in diesen Fällen im wesentlichen darauf hingewiesen wurde, dass noch keinerlei Erfahrungen mit Sonnenkollektoren vorhanden war und aus diesem Grunde keine weiteren Beiträge geleistet werden können. Nach Abzug der Leermeldungen konnten 52 Rückmeldungen einer detaillierten Auswertung unterzogen werden. Die Ergebnisse der Auswertung werden im folgenden diskutiert.

Tabelle A 2.1: Statistische Betrachtung der Fragebogenerhebung

Anzahl der versandten Fragebögen	1.975 Stk
Rückmeldungen insgesamt	75 Stk
Rücklaufquote	4%
Ausgewertete Rückmeldungen	52 Stk

Fragestellung „Vorrangiges Einsatzgebiet“

Diese Fragestellung sollte klären, inwieweit aus Sicht der Architekten das zukünftige vorrangige Einsatzgebiet im Bereich der Althausanierung oder im Bereich des Neubaus liegt. 86% der Architekten vertreten die Ansicht, dass das zukünftige vorrangige Einsatzgebiet von Fassadenkollektoren im Bereich Neubau liegt. Lediglich 14% sehen das vorrangige Einsatzgebiet im Bereich der Althausanierung. Dies ist insofern bemerkenswert, als nach allgemeiner Einschätzung der Neubau in Zukunft eine untergeordnete Rolle spielen wird. Die Auswirkungen auf das Projekt ergeben sich insofern, als im Bereich der Althausanierung die Vorgaben durch das Projekt wesentlich ausgeprägter sind, während im Bereich des Neubaus, im Zuge der Planung wesentlich mehr auf die Besonderheiten von Sonnenkollektoren Rücksicht genommen werden kann.

Fragestellung „Abmessungen“

Architekten unterliegen bei der Planung einer Vielzahl von Vorgaben. Beispielhaft erwähnt seien Wohnungsgröße, Fensterfläche je Aufenthaltsraum, Ziegelraster usw. Unter Berücksichtigung dieser Vorgaben soll u.a. eine ästhetisch ansprechende Fassade geplant werden. Durch die Verwen-

derung von Fassadenkollektoren und deren Abmessungen kommt es nun zu einer weiteren Einschränkung.

Unter Beachtung dieser Randbedingungen sollte die Fragestellung „Abmessungen“ klären, welche Abmessungen der Kollektoren für Architekten zweckmäßig sind. Es wurden 3 Varianten zur Auswahl gestellt:

- Kollektoren mit Standardabmessungen (z.B. 200 cm/90 cm)
- Kollektoren mit einem Rastermaß, wie definierter Länge und gerasteter Breite (z.B. 15 cm Streifen)
- Kollektoren, bei denen die Abmessungen ausschließlich durch den Architekten vorgegeben werden.

28% der Architekten vertreten die Ansicht, dass Kollektoren mit Standardabmessungen den Anforderungen genügen und die Behinderung bei der Gestaltung der Fassade nicht wesentlich ist. Die relative Mehrheit von 46% hält Rastermaße für zweckmäßig. Rastermaße haben den Vorteil, dass bei definierter Länge die Breite in einem vorgegebenen Raster variiert werden kann. Den geringsten Zuspruch mit 26% findet jene Variante, dass der Architekt über die Abmessungen entscheidet und somit der Kollektor mit beliebigen Abmessungen lieferbar sein muss.

Die Betrachtung der Ergebnisse legt den Schluss nahe, dass Architekten grundsätzlich eine große Freiheit bezüglich der Abmessungen von Fassadenkollektoren haben möchten. Der relativ geringe Zuspruch für Fassadenkollektoren mit beliebigen Abmessungen liegt vermutlich darin, dass die Befürchtung vorherrscht, die Kostensituation könnte in diesem Falle die Realisierung von Fassadenkollektoren verhindern. Jedenfalls sollte man aus den Ergebnissen nicht unbedingt ableiten, dass für „kostengünstige“ Kollektoren mit beliebigen Abmessungen kein Markt vorhanden wäre. Hinsichtlich der Standard Abmessungen wurden die in der Tabelle A 2.2 dargestellten Vorschläge unterbreitet.

Tabelle A 2.2: Im Rahmen der Fragebogenerhebung vorgeschlagene Standard Abmessungen

Breite	Höhe							
	60	[cm]	-	90			-	250
90	[cm]	60	-	100	200	-	-	280
100	[cm]	-	90	-	200	-	-	-
120	[cm]	-	-	-	-	240	-	-

Aus der Tabelle A 2.2 ist zu erkennen, dass insbesondere Standardabmessungen mit einer Breite von 90 cm und 60 cm bevorzugt werden. Weiters wurden noch Vorschläge unterbreitet, dass bei der Festlegung von Standardabmessungen auf Lichte Raumhöhe und Geschosshöhe Rücksicht zu nehmen ist. Zusätzlich wurde noch ein Vorschlag unterbreitet, die Länge der Module als ganzzahlige Vielfache der Breite festzulegen. Hinsichtlich Rastermaße wurden die in der Tabelle A 2.3 dargestellten Vorschläge unterbreitet.

Tabelle A 2.3: Im Rahmen der Fragebogenerhebung vorgeschlagene Rastermaße

	Rastermaße				
Oktametrische Reihe	[cm]	25	50	67,5	-
Internationale Modulordnung	[cm]	10	30	60	120
Einzelvorschläge	[cm]	60	70	120	-

Wie aus Tabelle A 2.3 hervorgeht, sind hinsichtlich der Rastermaße mehrere Varianten vorgeschlagen worden. Bemerkenswert ist dabei, dass insbesondere das Rastermaß 60 cm mehrfach genannt wurde und dieses Maß auch mehrfach bei Standard Abmessungen genannt wurde.

Fragestellung „Absorberfarbe“

Der Absorber hat die Aufgabe die einfallende Strahlung der Sonne in thermische Energie des Wassers umzuwandeln. Für diese Aufgabe ist eine schwarze Farbe aufgrund der im Vergleich zu

anderen Farben höheren Absorption besonders geeignet. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit und ist auch bereits ausgeführt worden, dass die Absorberflächen eine andere, möglichst dunkle Farbe aufweist. Helle Farben wie Weiß, Gelb etc. sind grundsätzlich aufgrund der geringen Absorptionsfähigkeit nicht geeignet. Da durch die Variation der Absorberfarbe ein zusätzliches Gestaltungselement beim Einsatz von Fassadenkollektoren entsteht, wurde den Architekten die Frage gestellt, inwieweit andere Absorberfarben als Schwarz wünschenswert sind, wobei zu bedenken gegeben wurde, dass dadurch der Deckungsgrad der gesamten Solaranlage gegenüber einem schwarzen Absorber sinkt.

85% der Architekten wünschen sich bei Fassadenkollektoren eine Auswahl von mehreren Farben für den Absorber. Lediglich 15% sind der Meinung, dass mit einer schwarzen Farbe das Auslagen gefunden wird. Die Verteilung der Antworten ist relativ eindeutig, wobei nochmals erwähnt wurde, dass die Antworten unter Hinweis eines verminderten solaren Ertrages bei einer Abweichung von der Farbe „Schwarz“ zustande gekommen sind.

Fragestellung „Abdeckleisten“

Die Glasscheiben der Kollektoren müssen mit geeigneten Befestigungseinrichtungen an der Kollektorwanne befestigt werden. In der Regel erfolgt dies mit Abdeckleisten, die mit Schrauben an der Kollektorwanne befestigt werden. Diese Abdeckleisten stellen ein wesentliches Gestaltungselement für den Fassadenkollektor dar, das meist noch nicht befriedigend gelöst ist.

Die Fragestellung „Abdeckleisten“ sollte klären, ob aus der Sicht der Architekten die bisherigen Lösungen, die unter „Einzelentwicklung“ einzuordnen sind und optisch oft nicht befriedigend gelöst wurden zufriedenstellend sind, oder ob optisch ansprechendere Lösungen angeboten werden sollen.

92% der Architekten sind gemäß der Fragebogenerhebung der Meinung, dass die derzeit verwendeten Abdeckleisten bei Kollektoren nicht den optischen Anforderungen für Fassaden entsprechen und daher optisch ansprechendere Lösungen anzubieten sind. Bei der Erhebung wurde die technische Eignung der Abdeckleisten vorausgesetzt. Wie wichtig das Detail Abdeckleisten für Architekten ist, zeigt sich darin, dass bei keiner anderen Fragestellung ein derartig eindeutiges Ergebnis aufgetreten ist.

Fragestellung „Gestaltungsrichtlinien“

Da aus der Frühzeit der Sonnenkollektoren bekannt ist, dass gewisse Widerstände gegen die Errichtung von Solaranlagen auf den Dächern bestand und weiters bekannt ist, dass größere Glasflächen in der Fassade ebenfalls nicht uneingeschränkte Zustimmung seitens der Behörde finden müssen, wurde hinterfragt, ob aus der Sicht der Architekten Einschränkungen bei der Errichtung von Fassadenkollektoren durch Gestaltungsrichtlinien zu erwarten sind.

Die Fragestellung „Gestaltungsrichtlinien“ sollte klären, ob aus der Sicht der Architekten wesentliche Einschränkungen bei der Realisierung von Fassadenkollektoren durch Gestaltungsrichtlinien zu erwarten sind.

58% der Architekten erwarten wesentliche Einschränkungen durch Gestaltungsrichtlinien bei der Realisierung von Fassadenkollektoren, während nur 42% der Architekten keine wesentlichen Einschränkungen erwarten. Unter den Architekten, die Einschränkungen erwarten, sind 17% der Meinung, dass vor allem Einschränkungen im Bebauungsplan (Gebäudehöhe, Bebauungsdichte, Bauweise) zu erwarten sind. 30% sind der Meinung, dass wesentliche Einschränkungen durch zusätzliche Bebauungsbestimmungen (z.B. Bestimmungen über Verputz) zu erwarten sind. Die Mehrheit von 56% der Architekten ist der Meinung, dass wesentliche Einschränkungen durch die Bestimmungen der Ortsbildgestaltung zu erwarten sind.

A 2.2 Architektenworkshop

Auf Basis der oben diskutierten Fragebogenerhebung wurde am 25. März 2000 in Salzburg ein Workshop mit Architekten zu diesem Thema veranstaltet. An der Tagung nahmen fünf Architekten teil. Die Diskussion der Auswertung der Fragebogenerhebung haben folgendes Ergebnis gebracht: Über die Beschränkung des vorrangigen Einsatzgebietes von Fassadenkollektoren auf Neubauten konnte innerhalb der Gruppe keine Einigung erzielt werden, da in den nächsten Jahren die thermische Sanierung der Gebäude aus der Zeit der 60er und 70er Jahre erfolgen wird und hier mit Fassadenkollektoren bei geeigneter Lage der Gebäude ein wesentlicher Beitrag erfolgen könnte. Rastermaße erscheinen nicht praktikabel, da derzeit der Architekt eine Vielzahl von Vorgaben (Wohnungsgröße, Fensterflächen, Ziegelraster usw.) hat und die Vorgabe eines zusätzlichen Rasters für Kollektoren die Planung erschwert. Sofern es „wirtschaftlich vertretbar“ ist, sollten Abmessungen der Fassadenkollektoren den Vorgaben der Architekten entsprechen.

Die Farbe des Absorbers wurde als ein wesentliches Gestaltungselement definiert. Die Abnahme der solaren Erträge wird dafür in Kauf genommen. Anmerkung: Allen Beteiligten war klar, dass nur „dunkle“ Farben für den Absorber in Frage kommen und helle Absorber (weiß oder gelb, etc.) solartechnisch nicht sinnvoll sind. Die Abdeckleisten sind ebenfalls ein wesentliches Gestaltungselement. In diesem Bereich sind jedenfalls neue, Fassadentaugliche Lösungen anzubieten.

Einschränkungen durch Gestaltungsrichtlinien werden zwar erwartet, es sollten dies jedoch keine unüberwindlichen Hindernisse für die Realisierung darstellen. Auf die Problematik des Schallschutzes, den bei der Behörde immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird, wurde insbesondere hingewiesen. Dabei spielen naturgemäß Details wie Mauerdurchbrüche eine wesentliche Rolle.

Grundsätzlich wäre es zu begrüßen, wenn mehrere Standardfälle dargestellt werden, wo die Probleme - insbesondere die Bauphysik und der Brandschutzes - dargestellt werden und deren Lösung dargelegt wird. Die Anschlusstechnik der Fassadenkollektoren an Fenster, Dach und konventionelle Gebäudehülle wird als ein übliches gestalterisches Problem der Architekten gesehen, das lösbar ist.

A 2.3 Zusammenfassung

Aus gestalterischer Sicht können die Anforderungen der Architekten an Fassadenkollektoren folgendermaßen zusammengefasst werden:

Hinsichtlich der Abmessungen ergibt sich unter Berücksichtigung der Diskussion des Workshops die Forderung nach möglichst großer gestalterischer Freiheit für den Architekten, wobei ein Rastermaß vermutlich nur deshalb von der Mehrheit der Architekten gewünscht wird, weil angenommen wird, dass eine Vorgabe der Abmessungen durch den Architekten zu wesentlichen Mehrkosten führen würde. Sehr eindeutig ergibt sich der Wunsch der Architekten in Hinkunft verschiedene Absorberfarben zu verwenden. Diese Anforderung kann derzeit nur mit lackbeschichteten Absorbern erfüllt werden. Die Verringerung der solaren Erträge durch die nicht selektive Schicht gegenüber selektiven Schichten wird in Kauf genommen.

Optisch ansprechende Abdeckleisten für Kollektorrahmen sind ein besonderer Wunsch der Architekten. Dies spricht für individuelle Lösungen, was eine vorkonfektionierte Kollektorproduktion in großen Stückzahlen erschwert. Probleme bei Realisierung von Fassadenkollektoren durch Gestaltungsrichtlinien werden von der Mehrzahl der Architekten erwartet, ein Ausschlusskriterium für deren Einsatz wird allerdings nicht angenommen.

A 3. Baurechtliche Bestimmungen

Für die Errichtung von Fassadenkollektoranlagen, insbesondere in mehrgeschossiger Ausführung gelten grundlegend andere bautechnische Anforderungen, als bei der Aufdachmontage oder Dachintegration von thermischen Kollektoranlagen. Daher wurden vor der Konzeptionierung der Fassadenkollektoren alle für diesen Bauteil bzw. für Glasfassaden in Frage kommenden Bauvorschriften, Normen sowie Brand- und Schallschutzanforderungen erhoben und auf ihre Anwendbarkeit auf Fassadenkollektoren überprüft und dokumentiert. Inhaltlich wurde dabei den wärme- und schallschutztechnischen Aspekten sowie den brandschutztechnischen Aspekten das Hauptaugenmerk gewidmet.

A 3.1 Baurecht - Kompetenzrechtliche Situation

A 3.1.1 Historischer Überblick über die Entwicklung der Landesbauordnungen

Die Landesbauordnungen haben sich aus den alten Feuerlöschverordnungen entwickelt. Ein Markstein war hier die für ganz Niederösterreich gültige Josephinische Feuerordnung für Landstädte und Märkte vom 7.9.1782 mit Vorschriften auch über die Vorbeugung von Feuersbrünsten baurechtlichen Inhalts, so etwa über die Dacheindeckung, über das Verbot der Unterbringung von Wohnungen im Dachgeschoss usw. Weiters findet sich die Anordnung, dass ohne obrigkeitliche Erlaubnis und ohne vorhergegangenen Augenschein kein neues Gebäude aufgeführt oder „Hauptreparaturen“ an denselben vorgenommen werden dürfen. Die erste eigenständige Bauordnung für Österreich dürfte nach (Geuder, 1999) die Bauordnung für die Städte Linz und Salzburg vom 18. 4.1820 sein.

Allmählich wurden weitere öffentliche Rücksichten Gegenstand baurechtlicher Regelungen, wie jene der Festigkeit von Gebäuden, die Wahrung der gesundheitlichen Belange ihrer Benutzer, während eine Anführung subjektiv öffentlicher Rechte der Nachbarn erst viel später Gegenstand baurechtlicher Normen wurde.

Beispielgebend war die Wiener Bauordnung LGBL. Nr. 1930/11, die auch als erste planungsrechtliche Bestimmungen enthielt. Die anderen Bundesländer schufen derartige Bestimmungen erst nach dem 2. Weltkrieg in Form eigener Raumordnungs(planungs)gesetze. Noch später wurden die Belange der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und dgl. Gegenstand baurechtlicher Regelung. Die Möglichkeit einer umfassenden Regelung wurde jedoch hinsichtlich Luftreinhaltevorschriften durch die B - VG Novelle 1988 auf Heizanlagen beschränkt und hinsichtlich gefährlicher Abfälle ganz beseitigt.

A 3.1.2 Kompetenzverteilung nach B - VG und verfassungsrechtliche Grundlage der Baugesetze der Länder

Nach Art. 2 B - VG ist Österreich ein Bundesstaat, der aus den selbständigen Ländern Burgenland, Kärnten, Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg, Steiermark, Tirol, Vorarlberg und Wien gebildet wird.

Die Kompetenzverteilung hinsichtlich Gesetzgebung und Verwaltung zwischen Bund und den Ländern wird durch die sogenannten Kompetenzartikel (Artikel 10 bis 15) nach (Stampfer, 1986) in drei Gruppen unterteilt.

- Für die Angelegenheiten des Abgabewesens ist die Verteilung der Kompetenzen im Sinne des Art. 13 B - VG durch das Finanz - Verfassungsgesetz 1948 geregelt.
- Für Angelegenheiten des Schul-, Erziehungs- und Volksbildungswesens erfolgt die kompetenzrechtliche Regelung durch Art. 14 und Art. 14 a B - VG sowie durch verfassungsrechtliche Sonderregelungen.
- Sämtliche übrige Angelegenheiten werden durch die Art. 10 bis 12 und Art. 15 B - VG festgelegt.

Die im letzten Punkt als übrige Angelegenheiten angeführten Kompetenzverteilung folgt vier Haupttypen:

- Gesetzgebungs- und Vollziehungskompetenz des Bundes (Art. 10). Hierzu gehören insbesondere Verfassungsgerichtsbarkeit, Passwesen, Normenwesen, Zivilrechtswesen, öffentliche Ruhe und Ordnung, Angelegenheiten des Gewerbes, Verkehrswesen, Bergwesen, Wasserrechtswesen, Gesundheitswesen.
- Gesetzgebungskompetenz des Bundes und Vollziehungskompetenz der Länder (Art. 11). Hierzu gehören insbesondere Staatsbürgerschafts- und Heimatrecht, Volkswohnwesen, Straßenpolizei
- Grundsatzgesetzgebungskompetenz des Bundes und Ausführungs-gesetzgebungs- und Vollziehungskompetenz der Länder (Art. 12). Hierzu gehören insbesondere Armenwesen, Bodenreform, Elektrizitätswesen.
- Gesetzgebungs- und Vollziehungskompetenz der Länder (Art. 15)

Die Zuweisung der Kompetenz erfolgt bei den ersten drei Kompetenztypen durch Aufzählung der mehr oder weniger fest umrissenen Kompetenztatbestände. Im Artikel 15 - der Generalklausel - werden alle in den anderen Artikeln nicht als Kompetenztatbestände angeführten Angelegenheiten den Ländern übertragen.

Art. 15 Abs. 1 lautet: „Soweit eine Angelegenheit nicht ausdrücklich durch die Bundesverfassung der Gesetzgebung oder auch der Vollziehung dem Bund übertragen ist, verbleibt sie im selbständigen Wirkungsbereich der Länder.“

Aufgrund der Generalklausel ergibt sich, dass jede Dynamik der Kompetenzverteilung zugunsten der Länder ausfällt, da die Kompetenzen des Bundes explizit festgelegt sind und somit jede neu auftretende Angelegenheit im selbständigen Wirkungsbereich der Länder verbleibt; sofern nicht durch Bundesverfassungsnovellen einzelne Kompetenzen explizit dem Bund zugeordnet werden.

Im B - VG befinden sich nach (Geuder, 1999) relativ wenig explizite Ansatzpunkte für das Baurecht. Im Art. 10 Abs. 1 Z 13 B - VG ist festgelegt, dass die Angelegenheiten der Bundestheater **mit Ausnahme der Bauangelegenheiten** in die Gesetzgebung und Vollziehung dem Bund zufallen. Art. 11 Abs. 1 Z 3 nennt die Zuständigkeit des Bundes zur Grundsatzgesetzgebung und der Länder zur Vollziehung auf dem Gebiet des **Volkswohnwesens** mit Ausnahme der Förderung des Wohnbaues und der Wohnhaussanierung.

Gemäß Art. 15 Abs. 5 B - VG sind Akte der Vollziehung in Bausachen betreffend bundeseigene Gebäude, die öffentlichen Zwecken dienen, mit Ausnahme der Bestimmungen der Baulinie und des Niveaus der mittelbaren Bundesverwaltung vorbehalten.

(Geuder, 1999) kommt aufgrund der vorliegenden Überlegungen zum Ergebnis, dass die Begriffsvielfalt „Bauangelegenheiten“, „Bausachen“ und „Bauwesen“ im B - VG nicht auf wohlüberlegte Abgrenzungsparameter, sondern auf eine Großzügigkeit des Gesetzgebers zurückzuführen ist. (Geuder, 1999) weist weiters darauf hin, dass die Generalklausel der maßgebliche Ansatzpunkt für die Baugesetze der Länder ist.

Für die Auslegung der Kompetenzartikel hat der Verfassungsgerichtshof nach (Klecatsky, 1973) und (Geuder, 1999) mehrere Theorien entwickelt die unter dem Namen Überschattungstheorie, Wesenstheorie, Versteinerungstheorie, Gesichtspunktetheorie, Berücksichtigungstheorie und Kernbereichstheorie bekannt sind. Im Rahmen der Gesichtspunktetheorie hat der VfGH die Ansicht vertreten, dass dadurch, dass eine bestimmte Materie einem bestimmten Kompetenztatbestand zugewiesen ist, nicht ausgeschlossen wird, dass bestimmte Sachgebiete nicht nach verschiedenen Gesichtspunkten geregelt werden könnten.

Der Inhalt eines Kompetenztatbestandes umfasse die Materie nicht in allen Richtungen, die Rechtsvorschriften hätten einen verschiedenen Inhalt; die Erlassung identer Normen von kompetenzrechtlich verschiedenen Gesetzgebern (Bund, Länder) sei jedoch verfassungsrechtlich ausgeschlossen. Dies bedeutet auf Fassadenkollektoren umgelegt, dass Regelungen die Fassadenkollektoren betreffen durchaus auch in anderen Gesetzen als den Baugesetzen auftreten können, wenngleich inhaltlich dieselbe Norm nicht von mehreren Gesetzen verschieden geregelt sein darf.

A 3.1.3 Beeinflussung der Baurechtskompetenz der Länder durch EU Recht

Österreich ist mit 1.1.1995 der Europäischen Union beigetreten. Damit wurden die EU Vorschriften für Österreich unmittelbar verbindlich. Das Parlament darf keine Regelungen beschließen, die im Widerspruch zum EU Recht stehen. Dagegen erlassen das Europäische Parlament und der Rat

gemeinsam, der Rat und die Kommission Verordnungen, Richtlinien und Entscheidungen, sprechen Empfehlungen aus und geben Stellungnahmen ab. Die Verordnung hat allgemeine Geltung. Sie ist in allen Teilen verbindlich und gilt unmittelbar in jedem Mitgliedsstaat.

Die Richtlinie ist für jeden Mitgliedsstaat, an den sie gerichtet wird, hinsichtlich des zu erreichenden Zieles verbindlich, überlässt jedoch den innerstaatlichen Stellen die Wahl der Form und der Mittel. Die Entscheidung ist in allen ihren Teilen für denjenigen verbindlich, die sie bezeichnet. Die Empfehlungen und Stellungnahmen sind nicht verbindlich (Art. 189 EG Vertrag).

Eine Beschneidung der Baurechtskompetenz der Länder durch EU Recht ist durch die Bauproduktenrichtlinie (RL v. 21.12.1988 - 89/106/EWG) gegeben. Die Länder haben zur Wahrung ihrer Interessen und Standpunkte eine Vereinbarung gemäß Art. 15 a B - VG geschlossen, in welcher die Zusammenarbeit im Bauwesen und die Errichtung eines Österreichischen Institutes für Bautechnik als Akkreditierungsstelle für die Anerkennung von Zertifizierungsstellen zur Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Bauprodukten vorgesehen ist. Die landesgesetzliche Umsetzung dieser Richtlinie ist im Zuge oder bereits abgeschlossen. Bauprodukte sind hierbei alle diejenigen Produkte, die hergestellt werden, um dauerhaft in Bauwerken des Hoch- und Tiefbaues eingebaut werden. Wesentlich ist hierbei die Pflicht zur Übernahme europäischer technischer Spezifikationen.

Eine **europäische technische Spezifikation** ist entweder

1. eine harmonisierte Norm
2. eine europäische technische Zulassung oder
3. eine anerkannte nationale Norm

Harmonisierte Normen sind von europäischen Normungsorganisationen (CEN/CENELEC) im Hinblick auf die wesentlichen Anforderungen erarbeitete Regeln auf Grund eines Mandats der Kommission der EU. Eine **europäische technische Zulassung** ist eine positive technische Beurteilung der Brauchbarkeit eines Produktes hinsichtlich der Erfüllung der wesentlichen Anforderungen für Bauwerke, für die das Produkt verwendet wird.

Anerkannte nationale Normen sind in Mitgliedsstaaten der EU für Bauprodukte geltende technische Regeln, von denen auf Grund eines gemäß der Bauproduktenrichtlinie durchgeführten Verfahrens anzunehmen ist, dass sie mit wesentlichen Anforderungen übereinstimmt. Als Zeichen der Konformität eines Produktes oder eines Verfahrens dient das auf dem Produkt oder seiner Verpackung aufgebrachte „**CE Kennzeichen**“. In einem solchen Fall ist es für die Baubehörde praktisch ausgeschlossen, ein ausländisches Produkt für den Bereich seiner Konformitätsbescheinigung abzulehnen.

A 3.2 Baurechtliche Bestimmungen der Bundesländer

Aufgrund der verfassungsrechtlichen Situation in Österreich sind baurechtliche Bestimmungen durch die einzelnen Bundesländer zu regeln. In weiterer Folge werden im Text für die Bezeichnungen der einzelnen Rechtsvorschriften die unter „Kurzbezeichnung“ verwendeten Bezeichnungen des Rechtsinformationssystems des Bundeskanzleramtes (www.ris.bka.gv.at) übernommen. Da mit Hilfe der „Kurzbezeichnung“ der Inhalt der Gesetze über Internet abgefragt werden kann, wird auf die exakte Zitierung der Rechtsvorschriften verzichtet.

Wie bereits erwähnt, sind für das vorliegende Thema der Fassadenintegration von Sonnenkollektoren insbesondere die wärme-, schallschutz- und brandschutztechnischen Bestimmungen für Außenwände relevant.

A 3.2.1 Wärmetechnische Anforderungen der Bundesländer

In den baurechtlichen Bestimmungen der Länder sind hinsichtlich der wärmetechnischen Anforderungen Bestimmungen über Wärmedurchgangskoeffizienten (k Wert) für Außenwände festgelegt. Zusätzlich sind mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten (k_m Werte) von Fassadenflächen vorgegeben, sofern der Anteil der Fenster- und Außentüröffnungen in der Fassade über 30 % liegt.

Die Anforderungen hinsichtlich der Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände und der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der Fassadenflächen sind in Tabelle A 3.1 in Abhängigkeit vom jeweiligen Bundesland dargestellt.

Tabelle A 3.1: Geforderte Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände je Bundesland

Bundesland	k Wert	k _m Wert.
Wien	0,50 [W/(m ² *K)]	0,90 [W/(m ² *K)]
Burgenland	0,45 [W/(m ² *K)]	0,90 [W/(m ² *K)]
Niederösterreich	0,40 [W/(m ² *K)]	0,90 [W/(m ² *K)]
Oberösterreich	0,50 [W/(m ² *K)]	0,90 [W/(m ² *K)]
Salzburg	0,56 - 0,47 [W/(m ² *K)]	-
Steiermark	0,50/0,40 [W/(m ² *K)]	0,92/0,85 [W/(m ² *K)]
Kärnten	0,40 [W/(m ² *K)]	0,90 [W/(m ² *K)]
Tirol	0,35 [W/(m ² *K)]	0,75 [W/(m ² *K)]
Vorarlberg	0,35 [W/(m ² *K)]	0,78 [W/(m ² *K)]

Aufgrund der Wiener „Wärmeschutzverordnung“ darf der Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand auf 0,60 [W/(m²*K)] erhöht werden. In diesem Fall muss jedoch der Nachweis erbracht werden, dass der spezifische Transmissionsverlust in [W/(m²*K)] eine vom beheizten Volumen abhängige obere Schranke nicht überschreitet.

Die Bestimmungen der „Bauverordnung“ des Burgenlandes lassen bei der Errichtung von Gebäuden keine höheren Wärmedurchgangskoeffizienten als in Tabelle 3.3.1 zu. § 6 Abs. 1 legt zusätzlich fest, dass für Gebäude mit Aufenthaltsräumen eine Energiekennzahl als Heizwärmebedarf, ausgedrückt in [kWh/(m²*a)] (Bruttogeschossfläche) auszuweisen ist.

Die Bestimmungen der „Bautechnikverordnung“ von Niederösterreich lassen gemäß § 6 Abs. 3 für „Ein- und Zweifamilienhäuser“ bzw. gemäß § 47 Abs. 3 für „Andere Gebäude und Bauwerke“ höhere Wärmedurchgangskoeffizienten zu,

- wenn nachgewiesen wird (z.B. durch die Berechnung einer Energiekennzahl), dass durch besondere bauphysikalische Maßnahmen nur jener Transmissionsverlust entsteht, oder nur jener Heizwärmebedarf notwendig ist, der gegeben wäre, würden die Anforderungen nach Abs. 1 (Festlegung der Wärmedurchgangskoeffizienten) eingehalten,
- wenn die Gebäude oder Gebäudeteile nach ihrem Verwendungszweck nur unwesentlich beheizt werden,
- bei Gebäuden und Gebäudeteilen mit gewerblichem, landwirtschaftlichem oder forstwirtschaftlichem Verwendungszweck, soweit dies aus technischen oder betrieblichen Gründen notwendig ist.

Die „Bautechnikverordnung“ von Oberösterreich legt im § 3 Abs. 2 fest, dass für Gebäude und Gebäudeteile, die der Ausübung eines Gewerbes oder landwirtschaftlichen Zwecken dienen oder künstlerisch oder kulturell erhaltungswürdig sind, die Baubehörde Ausnahmen von der Einhaltung der Mindestanforderungen gestatten kann, soweit dies aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen notwendig ist. Das gleiche gilt für Gebäude oder Gebäudeteile, die nach ihrer Zweckbestimmung nicht oder nur unwesentlich beheizt werden. Gemäß § 3 Abs. 3 kann die Baubehörde von der Einhaltung der festgelegten Mindestanforderungen überhaupt absehen, soweit durch bauphysikalische Maßnahmen besonderer Art nachweislich sichergestellt ist, dass ein Gebäude oder Gebäudeteil höchstens jenen Wärmebedarf aufweist, der bei der Einhaltung dieser Mindestanforderungen gegeben wäre.

Die „Wärmeschutzverordnung“ von Salzburg legt die Wärmedurchgangskoeffizienten im § 1 Abs. 1 in Abhängigkeit von der Bemessungstemperatur (§ 1 Abs. 2) fest. Betragen die Flächen von Fenstern und Fenstertüren mehr als 30 % der Fläche der Außenwand, so ist gemäß § 1 Abs. 3 der Wärmeschutz bei den Außenwänden, Fenstern oder Türen so zu erhöhen, dass für den Bau insgesamt keine Minderung des Wärmeschutzes eintritt. § 2 legt fest, dass die Wärmedurchgangskoeffizienten nicht für Bauten und Bauteile gelten die nach ihrer Zweckbestimmung nicht oder nur unwesentlich beheizt werden, sowie für Fenster von Auslagen udgl. Gemäß § 42 Abs. 1 „Bautechnikgesetz“ müssen Hochhäuser (Höhe > 25 m) ab einer Höhe von 25 m einen erhöhten Wärmeschutz bieten.

Die „Wärmedämmverordnung“ von Steiermark legt im § 1 für „allgemeine Bauten“ einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $0,50 \text{ [W/(m}^2\text{*K)]}$ und für „freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser“ einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $0,40 \text{ [W/(m}^2\text{*K)]}$ fest. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient wird im § 2 für „allgemeine Bauten“ mit $0,92 \text{ [W/(m}^2\text{*K)]}$ und für „freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser“ mit $0,85 \text{ [W/(m}^2\text{*K)]}$ festgelegt. Für Gebäude und Gebäudeteile, die der Ausübung eines Gewerbes oder landwirtschaftlichen Zwecken dienen oder welche künstlerisch und kulturell erhaltungswürdig sind, kann die Baubehörde gemäß § 3, soweit dies aus technischen Gründen notwendig ist, Ausnahmen von den Mindestanforderungen zulassen. Weiters gelten diese Mindestanforderungen nicht für Gebäude und Gebäudeteile, die nach ihrer Zweckbestimmung nicht oder nur unwesentlich beheizt werden. Von der Einhaltung der festgelegten Mindestanforderungen ist gemäß § 4 weiters abzusehen, wenn der Nachweis erbracht wird, dass ein Gebäude oder Gebäudeteil höchstens jenen Heizwärmebedarf aufweist, der bei Einhaltung dieser Mindestanforderungen gegeben wäre. Gemäß § 5 Abs. 2 ist eine Raumwärme Energiekennzahl als Jahres Heizwärmebedarf in $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{*a})]$ zu ermitteln.

Gemäß § 11 Abs. 3 der „Kärntner Bauvorschriften K-BV“ kann von den Wärmedurchgangskoeffizienten auch abgewichen werden, wenn durch andere Maßnahmen nachweislich sichergestellt ist, dass in einem Gebäude oder Gebäudeteil keine höheren Transmissionsverluste auftreten, als dies bei Einhaltung der festgelegten Wärmedurchgangskoeffizienten der Fall ist. Die Bestimmungen hinsichtlich des Wärmeschutzes gelten gemäß § 11 Abs. 5 nicht für Gebäude oder Gebäudeteile, die zur Ausübung eines Gewerbes oder landwirtschaftlichen Zwecken dienen oder künstlerisch oder kulturell erhaltungswürdig sind, sowie für Gebäude oder Gebäudeteile, die nach ihrem Verwendungszweck nicht oder nur unwesentlich beheizt werden.

Die „Technischen Bauvorschriften 1998“ von Tirol legen im § 24 Abs. 1 fest, dass höhere Werte des Wärmedurchgangskoeffizienten zulässig sind, wenn durch ein anerkanntes Rechenverfahren nachgewiesen wird, dass der Wärmebedarf des betreffenden Gebäudes insgesamt zumindest nicht größer wird. Die Anforderungen bezüglich der Wärmedurchgangskoeffizienten gelten gemäß § 24 Abs. 2 nicht für Produktions- und Lagergebäude, deren Bedarf an Heizenergie auf Grund ihres Verwendungszweckes zumindest überwiegend durch die im Inneren des Gebäudes anfallende Abwärme gedeckt wird. Für kulturhistorisch wertvolle Gebäude, die unter Denkmalschutz stehen, gelten diese Anforderungen nur insoweit, als diesen auch unter Beachtung der auf Grund der denkmalschutzrechtlichen Vorschriften sich ergebenden Beschränkungen entsprochen werden kann.

Gemäß § 18 Abs. 3 „Bautechnikverordnung“ von Vorarlberg kann anstelle der festgelegten Mindestanforderungen der Nachweis erbracht werden, dass durch andere Maßnahmen sichergestellt wird, dass ein Gebäude oder Gebäudeteil höchstens jenen Wärmeleistungs- oder Wärmeenergiebedarf aufweist, der bei Einhaltung der Mindestanforderungen gegeben wäre. § 18 Abs. 4 besagt, dass für Gebäude oder Gebäudeteile, die der Ausübung eines Gewerbes oder der Erzeugung landwirtschaftlicher Güter dienen oder künstlerisch oder kulturell erhaltungswürdig sind Ausnahmen gemacht werden können, soweit dies aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen notwendig ist. Dies gilt auch für Gebäude und Gebäudeteile, die nach ihrer Zweckbestimmung nicht oder nur unwesentlich beheizt oder gekühlt werden.

A 3.2.2 Schalltechnische Anforderungen der Bundesländer

In den baurechtlichen Bestimmungen der Länder sind hinsichtlich der schallschutztechnischen Anforderungen Bestimmungen über bewertete Schalldämmmaße (R_w Wert) für Außenwände festgelegt. Zusätzlich sind bewertete resultierende (mittlere) Schalldämmmaße ($R_{res,w}$ Werte) der Außenflächen der Aufenthaltsräume inklusive Fenster und Außentüröffnungen vorgegeben.

Die Anforderungen hinsichtlich der bewerteten Schalldämmmaße der Außenwände und der bewerteten resultierenden (mittleren) Schalldämmmaße der Außenflächen der Aufenthaltsräume sind in der Tabelle A 3.2 in Abhängigkeit vom jeweiligen Bundesland dargestellt.

Tabelle A 3.2: Geforderte bewertete Schalldämmmaße der Außenwände und bewertete resultierende Schalldämmmaße der Außenflächen der Aufenthaltsräume je Bundesland

Bundesland	R _w Wert	R _{res,w} Wert
Wien, allgemein	47 [dB]	43 [dB]
Wien, Klein- und Reihenhäuser	42 [dB]	38 [dB]
Wien, Sommerhäuser	keine Anforderungen	
Burgenland	Stand der Technik	
Niederösterreich Ein- und Zweifamilienhäuser	keine Anforderung	38 [dB]
Niederösterreich, Andere Gebäude und Bauwerke	47 [dB]	38 [dB]
Oberösterreich, Wohngebäude, Schulen, Kindergärten, Horte, Heime, Krankenanstalten, Beherbergungsbetriebe	47 [dB]	38 [dB]
Oberösterreich, Bürobauten	47 [dB]	33 [dB]
Salzburg	ÖNORM B 8115	
Steiermark	siehe Erläuterung unten	
Kärnten	siehe Erläuterung unten	
Tirol	Stand der Technik	
Vorarlberg	ÖNORM B 8115	

Die „Bauverordnung“ von Burgenland fordert hinsichtlich des Schallschutzes:

§ 7 (1): *„Bauten sind in allen ihren Teilen nach dem Stand der Technik so zu planen und auszuführen, dass der unter Berücksichtigung von Größe, Art, Verwendungszweck, Lage und Umgebung des Baues erforderliche Schallschutz gewährleistet ist.“*

§ 7 (3): *„Der durch die Benützung eines Baues verursachte Schall ist so zu dämmen, dass eine örtlich unzumutbare Belästigung der Benützer sowie der Nachbarschaft vermieden werden.“*

Durch den Verweis, dass der erforderliche Schallschutz dem Stand der Technik entsprechen muss, hat der Landesgesetzgeber des Burgenlandes in der „Bauverordnung“ eine Dynamisierung der Anforderungen festgelegt und sich nicht, wie andere Landesgesetzgeber, mit der statischen Festlegung von bewerteten Schalldämmmaßen begnügt. Zusätzlich zum Stand der Technik wurde noch als weiteres Kriterium die unzumutbare Belästigung von Personen eingefügt. Ein expliziter Verweis auf die ÖNORM B 8115 existiert nicht. Für die Festlegung des Standes der Technik ist die gesamte Literatur heranzuziehen.

Das „Bautechnikgesetz“ von Salzburg fordert im § 1 Abs. 1: *„Alle Bauten und sonstigen baulichen Anlagen müssen in ihrer Gesamtheit und allen ihren Teilen so errichtet, gestaltet und ausgestattet sein, dass sie nach den Erkenntnissen und Erfahrungen der technischen Wissenschaften der Bauaufgabe gerecht werden und im Hinblick auf ihren Verwendungszweck und die örtlichen Verhältnisse den Anforderungen folgender Gesichtspunkte entsprechen:*

1. *mechanischer Festigkeit und Standsicherheit*
2. *Brandschutz*
3. *Nutzungssicherheit*
4. *Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz*
5. *Schallschutz*
6. *Energieeinsparung und Wärmeschutz*

Kann den Anforderungen eines dieser Gesichtspunkte nicht ohne gleichzeitige Beeinträchtigung der Anforderungen eines anderen dieser Gesichtspunkte entsprochen werden, sind die Anforderungen des jeweils vorher genannten Gesichtspunktes vor jenen der nachstehend genannten Gesichtspunkte zu erfüllen, wobei diesen im Rahmen des wirtschaftlich Vertretbaren Rechnung zu tragen ist.“

§ 1 Abs. 2 lautet: *„Den Anforderungen des Abs. 1 und nachfolgender Bestimmungen dieses Gesetzes erscheint, wenn darin nicht bestimmte Anforderungen festgelegt sind, jedenfalls insoweit entsprochen, als die baulichen Maßnahme nach ÖNORMEN (Normengesetz 1971, BGBl. Nr. 240) erfolgt, die von der Landesregierung durch Verordnung bezeichnet sind.“*

Die „ÖNORMEN Verordnung 1997“ führt hinsichtlich des Schalls die

- ÖNORM B 8115 Teil 1 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Begriffe und Einheiten“ vom 1. November 1992 (Anm: Diese Fassung ist vom Österreichischen Normungsinstitut bereits zurückgezogen).
- ÖNORM B 8115 Teil 2 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Anforderungen an den Schallschutz“ vom 1. November 1994 (Anm: Diese Fassung ist vom Österreichischen Normungsinstitut bereits zurückgezogen).
- ÖNORM B 8115 Teil 3 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Raumakustik“ vom 1. April 1996.
- ÖNORM B 8115 Teil 4 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen“ vom 1. November 1992.

Vom Landesgesetzgeber wird im „Bautechnikgesetz“ auf den Begriff „Stand der Wissenschaften“ verwiesen, der nach gängiger Literatur (Budde, 1980) höhere Anforderungen als der Begriff „Stand der Technik“ stellt. Im § 1 Absatz 2 „Bautechnikgesetz“ wird jedoch darauf verwiesen, dass dem „Stand der Wissenschaft der Bautechnik“ dann entsprochen wird, wenn der ÖNORM B 8115 entsprochen wird. Da die ÖNORM B 8115 mit dem jeweiligen Erscheinungsdatum zitiert wird, bedeutet dies konkret, dass für die Beurteilung des „Standes der Wissenschaften der Bautechnik“ Normen heranzuziehen, die zum derzeitigen Zeitpunkt bereits vom Normungsinstitut zurückgezogen wurden und somit auch nicht mehr zum „Stand der Technik“ zu zählen sind. Darüber hinaus wird die ursprünglich dynamische Formulierung der Anforderungen durch die Aufzählung der ÖNORM mit Erscheinungsdatum in eine statische Forderung umgewandelt.

Das „Stmk. BauG“ fordert in § 43 Abs. 2 lit. 5: *„Das Bauwerk muss derart geplant und ausgeführt sein, dass der von den Benützern oder von den Nachbarn wahrgenommene Schall auf einen Pegel gehalten wird, der nicht gesundheitsgefährdend ist und bei dem zufriedenstellende Wohn- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.“*

Das „Stmk. BauG“ bezieht sich hinsichtlich der schallschutztechnischen Anforderungen nicht direkt auf die Schalltechnik sondern gibt als Maßstab die Verhinderung einer gesundheitsgefährdenden Wirkung des Schalls bzw. die Schaffung von zufriedenstellenden Wohn- und Arbeitsbedingungen vor. Das Beurteilungskriterium ist somit nicht ein objektiv feststellbarer Stand der Technik, sondern die Gefahr einer subjektiven Gesundheitsgefährdung bzw. die Sicherstellung von subjektiv zufriedenstellenden Wohn- und Arbeitsbedingungen. Die Anforderung stellt eine Dynamisierung der Anforderungen dar, da die Beurteilungskriterien „gesundheitsgefährdende Wirkung“ und „zufriedenstellende Wohn- und Arbeitsbedingungen“ einer zeitlichen Veränderung unterliegen.

Die „Kärntner Bauvorschriften K-BV“ fordern in § 18 Abs. 1: *„Aufenthaltsräume sind gegen den Außenlärm und die Übertragung von im Gebäude entstehenden Schall ausreichend abzuschirmen.“*

Aufgrund dieser Formulierung ist nicht klar ersichtlich inwieweit der Gesetzgeber die Erreichung des Standes der Technik anstrebt oder ob darüber hinaus Anforderungen gestellt werden. Geht man von den Formulierungen der restlichen Landesgesetzgeber aus, so liegt der Schluss nahe, dass die Formulierung den Stand der Technik fordert und keine darüber hinausgehende Forderung darstellt. Auch der Landesgesetzgeber von Kärnten hat somit die schallschutztechnischen Anforderungen dynamisiert.

Die „Technischen Bauvorschriften 1998“ von Tirol fordern im § 1 Abs. 1: *„Bauliche Anlagen müssen in allen ihren Teilen entsprechend dem Stand der Technik geplant und ausgeführt werden. Insbesondere müssen sie den für bauliche Anlagen der jeweiligen Art notwendigen Erfordernissen der mechanischen Festigkeit und Standsicherheit, des Brandschutzes, der Hygiene, der Gesundheit und des Umweltschutzes, der Nutzungssicherheit, des Brandschutzes, der Energieeinsparung und des Wärmeschutzes entsprechen.“*

§ 1 Abs. 2 legt fest: *„Stand der Technik ist der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen.“*

Die Formulierungen des Tiroler Landesgesetzgebers fordern den Stand der Technik, wobei die zusätzlichen Erläuterungen nur eine Konkretisierung des Standes der Technik darstellen. Wichtig ist festzuhalten, dass schallschutztechnischen Anforderungen in dynamisierender Weise formuliert wurden.

Die „Bautechnikverordnung“ von Vorarlberg fordert in § 19 Abs. 1: *„Alle Teile eines Bauwerkes müssen entsprechend dem Verwendungszweck und den örtlichen Verhältnissen einen ausreichenden Schutz gegen Luft- und Körperschall sowie Erschütterungen gewährleisten.“*

§ 19 Abs. 2 legt fest: *„Ob den Erfordernissen gemäß Abs.1 entsprochen werden wird, ist unter Bedachtnahme auf die nachstehenden ÖNORMEN zu beurteilen:*

- ÖNORM B 8115 - Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Begriffe und Einheiten (Teil 1)
- ÖNORM B 8115 - Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Anforderungen an den Schallschutz (Teil 2)
- ÖNORM B 8115 - Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Raumakustik (Teil 3)
- ÖNORM S 9020 - Bauwerkserschütterungen - Sprengerschütterungen und vergleichbare impulsförmige Immissionen“

Der Landesgesetzgeber von Vorarlberg weist darauf hin, dass bei der Beurteilung des Schutzes gegen Luft- und Körperschall eine Bedachtnahme auf die ÖNORM B 8115 zu erfolgen hat. Gerade mit dieser Formulierung stellt er aber klar, dass er die Anforderungen der ÖNORM B 8115 nicht alleine als ausschlaggebend ansieht. Wichtig zu erwähnen ist weiters, dass die ÖNORM B 8115 ohne Herausgabedatum erfolgt, womit die jeweils letztgültige Norm relevant ist.

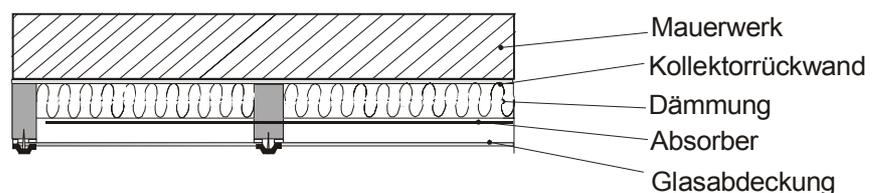
A 3.2.3 Brandschutztechnische Anforderungen der Bundesländer

Bei den wärme- und schallschutztechnischen Bestimmungen sind die Anforderungen an Außenwände insoweit klar, als der gesamte Wandaufbau die erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten oder bewertete Schalldämmmaße aufweisen müssen. Bei den brandschutztechnischen Bestimmungen ist, vermutlich historisch begründbar, ein wesentlicher Unterschied zu dieser Systematik vorhanden. In den baurechtlichen Bestimmungen der Bundesländer befinden sich Bestimmungen für „Wände“, „tragende Konstruktionen“ etc. und zusätzlich unterschiedliche Bestimmungen für „Außenverkleidungen“, „Fassadenverkleidungen“ etc..

Dies bedeutet, dass von der „tragenden Konstruktion“ der Wand definierte, meist sehr strenge Anforderungen zu erfüllen sind, während von der „Außenverkleidung“ ebenfalls definierte in der Regel aber bedeutend weniger strenge Anforderungen zu erfüllen sind. Für Fassadenkollektoren ist dies insoweit relevant, als aufgrund der bisherigen Erfahrungen zwei unterschiedlichen Varianten ausgeführt werden.

Variante 1 besteht darin, dass der Kollektor mit integrierter Wärmedämmung direkt auf einer Außenwand befestigt wird (siehe Abbildung A 3.1). Ein Beispiel hierfür ist z.B. die Befestigung eines Fassadenkollektors auf einem Ziegelmauerwerk. In diesem Fall handelt es sich bei dem Fassadenkollektor im rechtlichen Sinne um eine Außenverkleidung. Für den Fassadenkollektor sind somit die idR. wesentlich einfacheren brandschutztechnischen Bestimmungen für Außenverkleidungen relevant, während die eigentliche Wandkonstruktion (z.B. das Ziegelmauerwerk) die brandschutztechnischen Bestimmungen für Wände erfüllen muss.

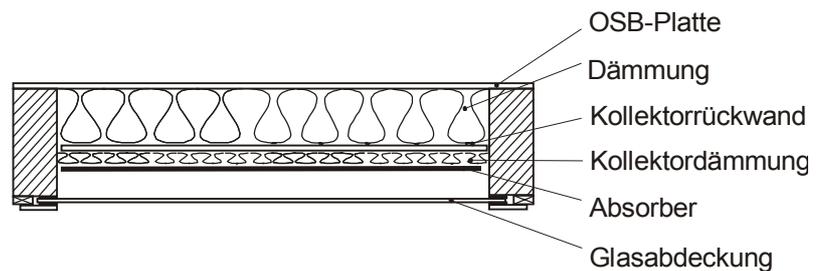
Abbildung A 3.1: Fassadenkollektor als Außenverkleidung



Variante 2 besteht darin, dass die Fassadenkollektoren so in die Wandkonstruktion integriert werden, dass der Fassadenkollektor selbst Funktionen der Außenwand (z.B. Aussteifung) übernimmt (siehe Abbildung A 3.2). Ein Beispiel für diesen Fall wäre etwa eine Holzriegelkonstruktion, bei der

die äußere Abdeckung durch den Kollektor dargestellt wird. In diesem Fall sind die brandschutztechnischen Bestimmungen für Wände auch vom Kollektor zu erfüllen.

Abbildung A 3.2: Fassadenkollektor in die Wandkonstruktion integriert



In weiterer Folge werden somit sowohl die brandschutztechnischen Bestimmungen für Außenwände als auch für Fassadenverkleidungen angeführt.

Grundsätzlich sind unabhängig von den jeweiligen Brandschutzbestimmungen im Fassadenbereich aus brandschutztechnischer Sicht 2 Fragen relevant:

- Wie groß ist die Verbreitung eines Feuers über die Fassadenkonstruktion?
- Wie groß ist die Gefahr, dass im Brandfall die Verankerung nicht mehr funktioniert und Fassadenteile in die Tiefe stürzen?

Die Gefahr der Verbreitung eines Feuers über die Fassade ist relativ gering, da sich für den Kollektor aus thermischen Gründen Steinwolle als Dämmstoff durchgesetzt hat. Auch die Verwendung einer Holzkonstruktion für die Kollektorwanne ist aus brandschutztechnischer Sicht nicht überzubewerten, da die Holzkonstruktion einen relativ geringen Anteil am Gesamtkollektor ausmacht.

Hinsichtlich der Verankerung ist jedenfalls darauf zu achten, dass die Verankerungselemente aus nicht brennbaren Material hergestellt werden und im Brandfall über eine ausreichend lange Zeit ihre Funktion aufrecht erhalten bleibt.

Ausgehend von diesen grundsätzlichen Überlegungen werden in weiterer Folge die Bestimmungen der einzelnen Bundesländer dargestellt.

Wien

Tabelle A 3.3: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen - Wien

Gebäude	Außenwand	Außenwand Verkleidungen
Allgemeine Bauten	feuerbeständig (F 90)	feuerbeständig oder aus unbrennbaren Baustoffen, Schächte nicht über mehrere Geschosse (Schacht > 6 cm)
ebenerdige Gebäude, Gebäude der Bauklasse I und Gebäude im Grünland	feuerhemmend (F 30)	keine Anforderungen
Kleinhäuser Reihenhäuser	feuerhemmend (F 30)	keine Anforderungen

Glas gilt als nichtbrennbarer Baustoff.

Über die Verwendbarkeit von Holz bei Außenwänden und bei tragenden Wänden legt § 102 Abs. 1 und 2 fest.:

§ 102 (1) Abweichend von den Bestimmungen des § 99 Abs. 1 hinsichtlich der Feuerbeständigkeit sind Holzwände als Außenwände zulässig:

- bei ebenerdigen Gebäuden*
- bei Gebäuden der Bauklasse I*
- Bei Gebäuden im Grünland.*

§ 102 (2) Holzaußenwände und tragende Holzwände in Gebäuden, die Aufenthaltsräume enthalten, sind zumindest feuerhemmend auszuführen.

Wie aus der Tabelle A 3.3 ersichtlich ist, sind die Anforderungen für Außenwände klar definiert. Sofern es sich um allgemeine Bauten handelt, ist aufgrund des Hinweises, dass die Außenwandverkleidung feuerbeständig oder aus unbrennbaren Baustoffen hergestellt sein muss zu schließen, dass jedenfalls keine Fassadenkollektoren mit einem Holzrahmen auf diesen Gebäuden befestigt werden dürfen. Weiters sind die erforderlichen Leitungen so zu legen, dass keine Schächte entstehen, die über mehrere Geschosse reichen.

Für ebenerdige Gebäude, für Gebäude der Bauklasse I, Gebäude im Grünland und für Klein- und Reihenhäuser sind keine Anforderungen an die Wandverkleidungen festgelegt. Da Außenwände für diese Gebäude lediglich eine feuerhemmende (F 30) Ausführung aufweisen müssen, können für Außenwandverkleidungen jedenfalls keine höheren Anforderungen gestellt werden.

Ein Fassadenkollektor mit Holzrahmen für diese Gebäude scheint insbesondere unter Berücksichtigung des § 102 nichts entgegenzustehen.

Erforderliche Zulassungen

Für hinterlüftete Außenwandverkleidungen ist eine Zulassung gemäß „Verordnung des Magistrates der Stadt Wien vom 31. Juli 1990 über die bis zum 30. September 2002 befristete Zulassung von hinterlüfteten Außenwandverkleidungen, MA 35 - B 419/88“ erforderlich.

Hinterlüftete Außenwandverkleidungen die dieser Verordnung entsprechen, werden im Rahmen der behördlichen Bewilligung zugelassen. Wenngleich in dieser Arbeit nichthinterlüftete Fassadenkollektoren betrachtet werden, sind insbesondere die brandschutztechnischen Bestimmungen sowie die Bestimmungen über die Korrosionsbeständigkeit der Verankerungen direkt zu übernehmen.

Außenwandverkleidungen müssen bei Gebäuden der Bauklassen II bis VI eine Feuerwiderstandsdauer von mindestens 30 Minuten aufweisen. Bei Außenwandverkleidungen mit Glas dürfen die Scheiben nicht großflächig abstürzen. Bei geklebten Verglasungen ist zusätzlich eine Prüfung nach der Schwelbrandkurve nach DIN 4102 Teil 11 erforderlich. Keinerlei Nachweise sind bei geklebten Verglasungen aus ESG erforderlich, wenn durch mechanische Sicherungen offenkundig sichergestellt ist, dass bei einem Versagen der Klebung die Scheiben zerstört werden. Soweit nicht im baulichen Einzelfall mit Zustimmung der Baubehörde Ausnahmen gemacht werden können, ist ein Sturz mit einer Mindesthöhe von 20 cm und ein Parapet mit einer Mindesthöhe von 1 m in feuerbeständiger Ausführung (mit oder ohne Berücksichtigung der Außenwandverkleidung) auszuführen. Der Raum zwischen Verkleidung und Außenwand ist bei Gebäuden der Bauklassen II bis VI gegen die Außenwandöffnung zu mit nichtbrennbaren Elementen abzuschließen. Ober- und unterhalb dieser Öffnungen im Bereich der Verkleidung angeordnete Be- und Entlüftungsschlitze sind zulässig.

Sämtliche Teile der Außenwandverkleidung müssen ebenso wie eine etwaige Wärmedämmung aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Hölzerne Unterkonstruktionen sind bei Gebäuden der Bauklassen II bis V jedoch nur unter der Voraussetzung zulässig, dass die brandschutztechnische Unbedenklichkeit bei einem Versuch nachgewiesen wurde. Die höchstzulässige Dicke von hölzernen Unterkonstruktionen beträgt 5 cm, aus Spanplatten gefertigte Teile sind unzulässig.

Um bei örtlichem Versagen ein fortlaufendes Abreißen der Verkleidung zu begrenzen, sind besondere Maßnahmen unter Berücksichtigung der dabei auftretenden Verformungen zu treffen. Z.B. kann die Außenwandverkleidung in Flächen von ca. 50 m² unterteilt werden oder einzelne Befestigungs- und Verankerungspunkte sind zu verstärken.

Bauteile, die nach der Fertigstellung der Außenwandverkleidung zu Kontrollzwecken ohne Teilabbau nicht zugänglich sind, müssen auf Dauer gegen biologische und chemische Einflüsse geschützt werden. Die in der Tabelle A 3.4 genannten Materialien dürfen ohne besonderen Korrosionsschutznachweis verwendet werden.

Tabelle A 3.4: Materialien die ohne besonderen Korrosionsschutznachweis verwendet werden dürfen

	Materialien
Verkleidung	nichtrostende Stähle mit Werkstoffnummern 1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571 Aluminium AlMn1, AlMnCu, AlMn1Mg0,5, AlMn1Mg1, AlMg1, AlMg1,5 und AlMg2,5 Kupfer SF-Cu 2.0090 und CuZn20 2.0250 und CuZn40Mn2 2.0572 Stahlsorten nach DIN 18 800 Teil 1 und DIN 17 162 Teil 2 mit einem Korrosionsschutz auf der Rückseite - nach DIN 55 928 Teil 8 Tab.3 , Schutzsystem Kennzahlen 3-57.1, 3-58.1 und 3.20.14, letztere jedoch um 100 mü Mindestdicke der PVC Auflage oder der gleichwertigen Deckschicht - Feuerverzinkung mindestens 350 g/m ² und Deckbeschichtung nach DIN 55 928 Teil 8 Tab. 3, Schutzsystem Kennzahlen 3-20.12, 3-30.17 und 3-30.18.
Unterkonstruktion	nichtrostende Stähle mit Werkstoffnummern 1.4301, 1.4541, 1.4401 und 1.4571 Aluminium AlMn1, AlMnCu, AlMn1Mg0,5, AlMn1Mg1, AlMg1, AlMg1,5 und AlMg2,5 , für Dicken unter 1,6 mm mit einem Korrosionsschutz nach DIN 4113 Teil 1 Abschnitt 10 Kupfer SF-Cu 2.0090 und CuZn20 2.0250 mindestens 1,5 mm dick, CuZn40Mn2 2.0572 Stahlsorten nach DIN 18 800 Teil 1 in Dicken von mindestens 2 mm mit einem Korrosionsschutz nach DIN 55 928 Teil 5 Tab. 6 Schutzsystem Kennzahlen 6-20.3, 6-21.3, 6-30.2, 6.30.3 sowie Tabelle 7, Schutzsystem Kennzahlen 7-20.6 bis 7-20.8 und 7.30.9
Verbindungen, Befestigungen und Verankerungen	nichtrostenden Stähle wie oben erwähnt sowie nach DIN 267 Teil 11 der Stahlgruppe A 2 und A 4, wenn die Verfestigungsstufe < K 700 nach DIN 17 440 und die Zugfestigkeit < 850 N/mm ² beträgt Aluminium nach DIN 4113 Teil 1 und DIN 1725 Teil 1 Kupfer SF-Cu 2.0090, CuZn37 Werkstoffnummer 2.0321, CuZn36Pb1,5 Werkstoffnummer 2.0835 Für Verankerungen sind nichtrostende Stähle nach DIN 17 440 oder DIN 17 441, DIN 17 456, Werkstoffnummern 1.4401, 1.4571, mechanische Verbindungselemente nach DIN 267 Teil 11, Stahlgruppe A 4 zu verwenden.

Holz für Holzunterkonstruktionen muss „Gutem Bauholz“ nach ÖNORM B 4100 Teil 2 entsprechen. Wird Glas im Bauwesen eingesetzt, ist eine Zulassung gemäß „Verordnung des Magistrates der Stadt Wien vom 4. Februar 1997 über die bis zum 31. Dezember 2000 befristete Zulassung von Glas im Bauwesen in festigkeitstechnischer Sicht, MA 35 - B 209/94“ erforderlich. Da der äußere Abschluss eines Fassadenkollektors eine Glasscheibe aufweist, ist für dieses Glas eine Zulassung gemäß oa. Verordnung einzuholen. Im Rahmen dieser Zulassung ist für „Fassadenverkleidungen“ vorgeschrieben

- Es darf nur Einscheibensicherheitsglas (ESG) verwendet werden.
- Scheiben, die einer besonderen Temperaturbeanspruchung unterliegen, (trifft bei Fassadenkollektoren zu) müssen vor der Auslieferung durch Heißlagerung nach DIN 18 516 Teil 4 mit positivem Ergebnis geprüft werden.
- Es ist der Nachweis zu erbringen, dass den erforderlichen Windbelastungen standgehalten wird. Der Nachweis der ausreichenden Festigkeit der Verglasung sowie deren Befestigung kann durch Berechnung oder Versuch geführt erfolgen. In den Nachweis sind die Holme, Profile usw. und deren Befestigung am Gebäude einzubeziehen.

Für jenen Bereich der Fassade, wo man mit der Glasfläche in direktem Kontakt kommen kann (z.B. im Erdgeschoss und bei Balkonen) , ist zusätzlich noch der Nachweis der Beständigkeit gegen „weichen Stoß“ gemäß DIN 52 337 (PW 300) erforderlich.

Burgenland

Tabelle A 3.5: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen - Burgenland

Gebäude	Außenwand	Außenwandverkleidung
Nutzfläche > 800 m ² (ohne KG)	brandbeständig (F 90)	Dämmstoff mindestens schwer brennbar und nicht zündend tropfend
Nutzfläche 400 m ² bis 800 m ² (ohne KG)	hochbrandhemmend (F 60)	Dämmstoff mindestens schwer brennbar und nicht zündend tropfend
Nutzfläche bis 400 m ² und bis 3 Geschosse	brandhemmend (F 30)	Dämmstoff mindestens schwer brennbar und nicht zündend tropfend.

In der „Bauverordnung“ sind Anforderungen an die Außenwand in Abhängigkeit von der Nutzfläche festgelegt.

Weiters ist in § 6 Abs. 3 festgelegt:

„Wärmedämmstoffe müssen mindestens schwer brennbar sein und dürfen nicht zündend tropfend sein“.

Über Außenwandverkleidungen sind mit Ausnahme der Bestimmung über Dämmstoffe keine Bestimmungen in der Bauordnung aufgenommen.

Nach Auskunft des Amtes der Burgenländischen Landesregierung wird im konkreten Bauverfahren zur Beurteilung des Bauwerkes der Stand der Technik herangezogen. Im Bereich Brandschutz werden dabei insbesondere die Technischen Richtlinien für den vorbeugenden Brandschutz herangezogen.

Erforderliche Zulassungen

Nach Auskunft des Amtes der Burgenländischen Landesregierung sind im Burgenland keine relevanten Zulassungen erforderlich.

Niederösterreich

Tabelle A 3.6: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen - Niederösterreich

Gebäude	Außenwand	Außenwandverkleidung
Ein- oder Zweifamilienhäuser	brandhemmend (F 30)	keine spezifischen Anforderungen
Andere Gebäude und Bauwerke	brandbeständig (F 90)	3 und 4 Geschosse: Verkleidung: nicht brennbar Dämmschicht: schwer brennbar Unterkonstruktion: normal brennbar größer 4 Geschosse: Verkleidung: nicht brennbar Dämmschicht: nicht brennbar Unterkonstruktion: schwer brennbar
Reihenhäuser	brandhemmend (F 30)	siehe Geschosszahl
Kleinwohnhäuser	hochbrandhemmend (F 60)	siehe Geschosszahl
Hochhäuser	brandbeständig (F 90)	Verkleidung: nicht brennbar Dämmschicht: nicht brennbar Unterkonstruktion: nicht brennbar
Bauwerke für größere Menschenansammlungen	brandbeständig (F 90)	siehe Geschosszahl
Verkaufsstätten	brandbeständig (F 90)	siehe Geschosszahl
Betriebsgebäude	brandbeständig (F 90)	siehe Geschosszahl
Landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Bauwerke	brandhemmend (F 30)	siehe Geschosszahl

Die „Bautechnikverordnung“ unterscheidet als Kriterium hinsichtlich der brandschutztechnischen Anforderungen insbesondere die Anzahl der Geschosse. Es werden unterschiedliche Anforderungen für

- Gebäude mit 3 und 4 Geschossen,
 - Gebäude mit mehr als 4 Geschosse,
 - Hochhäuser
- gestellt.

Für Gebäude mit weniger als 3 Geschosse sind keine explizite Anforderungen an die Außenwandverkleidung gestellt.

Erforderlich Zulassungen

Nach Auskunft des Amtes der NÖ Landesregierung sind keine Zulassungen für Außenwandverkleidungen erforderlich.

Oberösterreich

Tabelle A 3.7: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen - Oberösterreich

Gebäude	Außenwand	Außenwandverkleidung
Kleinhausbauten	brandhemmend (F 30)	keine Bestimmungen
bis 3 Geschosse	hochbrandhemmend (F 60)	keine Bestimmungen
mehr als 3 Geschosse	brandbeständig (F 90)	Verkleidung: nicht brennbar Dämmschicht: normal brennbar Verankerung: nicht brennbar
Bauten für größere Menschenansammlungen	brandbeständig (F 90)	siehe Geschosshöhe
Geschäftsbauten	brandbeständig (F 90)	siehe Geschosshöhe
Betriebsbauten	brandbeständig (F 90)	siehe Geschosshöhe
Hochhaus	brandbeständig (F 90) und aus nicht brennbaren Baustoffen	Verkleidung: nicht brennbar Dämmschicht: nicht brennbar Verankerung: nicht brennbar

Für Gebäude mit mehr als 3 Geschossen existiert weiters noch die Möglichkeit, dass die Verkleidung aus schwer brennbaren Baustoffen besteht. In diesem Fall muss die Dämmschicht aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen. Die Verankerung muss in jedem Fall aber aus nicht brennbaren Baustoffen hergestellt sein.

Da bei Fassadenkollektoren die oberste Bauteilschicht aus Glas und somit nicht brennbar ist, ist diese Kombination für das gegenständliche Problem nicht aktuell.

Bei den Gebäuden „Bauten für Menschenansammlungen“, „Geschäftsbauten“ und „Betriebsbauten“ sind über die Außenwandverkleidungen keine Bestimmungen enthalten. Da die Bestimmungen für diese Gebäude im II. Hauptstück „Besondere bautechnische Vorschriften für bestimmte Arten von baulichen Anlagen“ angeführt sind und hier keine Bestimmungen über „Außenwandverkleidungen“ angeführt sind, wird davon ausgegangen, dass die Bestimmungen I. Hauptstückes „Allgemeine bautechnische Vorschriften“ heranzuziehen sind und in diesem Hauptstück wird die Außenwandverkleidung in Abhängigkeit von der Geschosshöhe festgelegt.

Erforderliche Zulassungen

In Oberösterreich sind nach Auskunft des Amtes der OÖ Landesregierung keine Zulassungen für Fassadenverkleidungen erforderlich.

Salzburg

Tabelle A 3.8: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen - Salzburg

Gebäude	Außenwand	Außenwandverkleidung
Allgemeine Gebäude bis 3 Vollgeschosse	Brandbeständig (F 90) <i>Anm.: Tragende Wände aus Holz (Holzriegelwände, Blockwände udgl.) sind als Außenwände zulässig</i>	Verkleidungen dürfen die erforderliche Schutzwirkung der verkleideten Wände im Brandfall nicht beeinträchtigen.
Allgemeine Gebäude mit mehr als 3 Vollgeschosse	Brandbeständig (F 90) und aus nicht brennbaren Baustoffen	Verkleidungen dürfen die erforderliche Schutzwirkung der verkleideten Wände im Brandfall nicht beeinträchtigen.
Hochhäuser	brandbeständig (F 90) und aus nicht brennbaren Baustoffen	Verkleidungen dürfen nur aus nicht brennbaren Materialien bestehen, Glasteile sind ab einer Höhe von 25 m aus ESG herzustellen.
Industriebauten	Es gelten die allgemeinen Bestimmungen, Holz in Außenwände bei geschlossener Bebauung nicht zulässig	Verkleidungen dürfen die erforderliche Schutzwirkung der verkleideten Wände im Brandfall nicht beeinträchtigen.

Die Verwendbarkeit von Holzkonstruktionen für Außenwände legt § 9 Abs. 2 fest. *„Außenwände aus Holz (Holzriegelwände, Blockwände udgl.) sind als Außenwände nur bei Bauten mit bis zu drei Vollgeschossen zulässig“.*

Nach Auskunft des Amtes der Salzburger Landesregierung sind Holzverkleidungen als Außenverkleidung normalerweise kein brandschutztechnisches Problem. Daraus ist zu schließen, dass Holzverkleidungen die erforderliche Schutzwirkung der verkleideten Wände im Normalfall nicht beeinträchtigt. In der Verordnung „Bauliche Gestaltung von allgemeinbildenden Pflichtschulen“ wird in § 24 Abs. 1 festgelegt: *„Soweit sich aus bautechnischen Vorschriften und den Bestimmungen dieser Verordnung nichts anderes ergibt, ist zur Gewährleistung eines ausreichenden Feuer-schutzes auf die vom Österreichischen Bundesfeuerwehrverband und den Österreichischen Brandverhütungsstellen herausgegebenen Technischen Richtlinien Vorbeugender Brandschutz - Schulen, Teil 1, bauliche Maßnahmen, Ausgabe Juni 1977, Bedacht zu nehmen.“*

Die Bestimmungen der TRVB 130 „Technische Richtlinie vorbeugender Brandschutz - Schulen, Teil 1 Bauliche Maßnahmen“ sind in der folgenden Tabelle angeführt.

Tabelle A 3.9: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen für Schulen - Salzburg

Gebäude	Außenwände	Außenwandverkleidung
> 1 Geschoss	brandbeständig (F 90)	F 90 Abschottung zwischen Geschossen

In der TRVB 130 finden sich folgende Bestimmungen:

„4.1.3 An Außenwänden müssen zwischen den Öffnungen (Fenster etc.) der verschiedenen Geschosse gegen Brandeinwirkung ausreichend widerstandsfähige Bauteile (F 90) so angeordnet werden, dass der Brandüberschlagsweg von Geschoss zu Geschoss mindestens 1 m beträgt.“

„4.1.4 Vorgehängte Außenwandelemente (Vorhangfassaden) müssen gegen einen Brandübergreif von Geschoss zu Geschoss brandbeständig (F 90) abgeschottet sein. (Verhinderung eines Brandübergreffes im Bereich zwischen Decke und Außenwandelement und im Außenwandelement selbst.“

Erforderliche Zulassungen

Nach Auskunft des Amtes der Salzburger Landesregierung sind für Fassadenkollektoren keine Zulassungen erforderlich.

Steiermark

Tabelle A 3.10.: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen - Steiermark

Gebäude	Außenwand	Außenwandverkleidung
Gebäude allgemein	brandbeständig (F 90)	keine spezifischen Anforderungen
Wohngebäude mit nicht mehr als 3 Geschossen	hochbrandhemmend (F 60)	keine spezifischen Anforderungen
Hochhäuser	brandbeständig (F 90)	Fassadenverkleidung und deren Tragkonstruktion aus nicht brennbaren Baustoffen
Kleinhäuser aus Holz	brandhemmend (F 30)	keine spezifischen Anforderungen
Ein- und Zweifamilienhäuser	brandhemmend (F 30)	keine spezifischen Anforderungen

Gemäß § 98 Abs. 6 sind Hohlräume zwischen Fassadenverkleidungen und Außenwänden gegen Fenster- und Türleibungen mit nicht brennbaren Baustoffen abzuschließen.

Hinsichtlich Verglasungen wird im „Stmk BauG“ festgelegt: *„§ 57 Verglasungen im Bereich von allgemein zugänglichen Gängen, Stiegen, Hausfluren, Balkonen, Terrassen udgl. sind mit Schutzvorrichtungen oder mit für Brüstungen geeignetem Sicherheitsglas bis mindestens zu einer Höhe von 1,10 m auszuführen.“*

Diese Bestimmung ist für Fassadenkollektoren dann relevant, wenn der Kollektor z. B. im Erdgeschoss oder im Bereich von Balkonen sich befindet.

Erforderliche Zulassungen

Nach Auskunft des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung ist für Außenverkleidung keine eigene Zulassung erforderlich.

Kärnten

Tabelle A 3.11: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen - Kärnten

Gebäude	Außenwand	Außenwandverkleidung
Gebäude bis 3 Geschosse	brandhemmend (F 30)	keine spezifischen Anforderungen
Gebäude mit mehr als 3 Geschosse	brandbeständig (F 90)	keine spezifischen Anforderungen
Hochhäuser	brandbeständig (F 90)	Verkleidung einschließlich Isolierung und Unterkonstruktion aus nicht brennbaren und nicht korrodierenden Materialien
Krankenanstalten	hochbrandbeständig (F 180)	keine spezifischen Anforderungen

Hinsichtlich der Verglasung in Kindergärten und Horten legt § 103 fest, dass Verglasungen bis zu einer Höhe von 0,90 m über dem Boden abzusichern ist. Diese Bestimmung ist sinngemäß für den Außenbereich anzuwenden.

Erforderliche Zulassungen

Nach Auskunft des Amtes der Kärntner Landesregierung ist für Fassadenkollektoren keine Zulassung erforderlich.

Tirol

Tabelle A 3.12: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen - Tirol

Gebäude	Außenwand	Außenwandverkleidung
Wohngebäude mit höchstens 5 Wohnungen	brandhemmend (F 30)	keine spezifischen Anforderungen
Wohnanlagen	hochbrandhemmend (F 60)	keine spezifischen Bestimmungen
erdgeschossige Warenhäuser	brandhemmend (F 30)	keine spezifischen Bestimmungen
zweigeschossige Warenhäuser	hochbrandhemmend (F 60)	keine spezifischen Bestimmungen
Warenhäuser mit mehr als 2 Geschossen	brandbeständig (F 90)	keine spezifischen Bestimmungen
Hochhäuser mit automatischer Löscheinrichtung	brandbeständig (F 90)	keine spezifischen Bestimmungen
Hochhäuser ohne automatischer Löscheinrichtung	hochbrandbeständig (F 120)	keine spezifischen Bestimmungen

Der Landesgesetzgeber von Tirol hat sich hinsichtlich des Brandschutzes auf ein Mindestmaß an Vorschriften beschränkt, da in jedem Bauverfahren die Beiziehung eines Brandschutzsachverständigen zwingend vorgeschrieben ist und die speziellen brandschutztechnischen Anforderungen durch den Sachverständigen formuliert werden.

Erforderliche Zulassungen

Nach Auskunft des Amtes der Tiroler Landesregierung existieren für Fassadenteile keine Zulassungsbestimmungen.

Vorarlberg

Tabelle A 3.13: Brandschutztechnische Anforderungen für Außenwände und Außenwandverkleidungen – Vorarlberg

Gebäude	Außenwand	Außenwandverkleidung
Gebäude allgemein	nicht brennbare Baustoffe	keine besonderen Bestimmungen
Wohngebäude mit nicht mehr als 3 Geschosse	normal brennbare Baustoffe	Außenwandverkleidung aus normal brennbaren Baustoffen
Wohngebäude mit mehr als 3 Geschosse	nicht brennbare Baustoffe	Außenwandverkleidung und Befestigung aus schwer brennbaren Baustoffen
Hochhäuser	brandbeständig (F 90)	Außenwandverkleidung aus nicht brennbaren Baustoffen
Spitäler	brandbeständig (F 90)	Außenwandverkleidung aus nicht brennbaren Baustoffen

Erforderliche Zulassungen

Nach Auskunft des Amtes der Vorarlberger Landesregierung ist für Fassadenverkleidungen keine Zulassung erforderlich.

A 3.3 Bestimmungen der ÖNORMEN

Zur Beurteilung des Standes der Technik ist die gängige Literatur und hier insbesondere die vom Österreichischen Normungsinstitut herausgegebenen ÖNORMEN heranzuziehen. ÖNORMEN können darüber hinaus auch von den einzelnen Gesetzgebern als rechtlich verbindlich vorgeschrieben werden.

A 3.3.1 Wärmetechnik

Die Anforderungen an den Wärmeschutz wird in der ÖNORM B 8110 Teil 1 geregelt. Während die vom Österreichischen Normungsinstitut bereits zurückgezogene Norm B 8110 Teil 1 vom 1. Februar 1983 die Anforderungen durch ein Ensemble von Wärmedurchgangskoeffizienten festgelegt, werden durch die Neuauflage der ÖNORM B 8110 Teil 1 vom 1. Juni 1998 (VN) die Anforderungen an den Wärmeschutz im wesentlichen durch die Festlegung eines maximalen Heizwärmebedarfes geregelt und auf die Vorgabe eines Ensembles von Wärmedurchgangskoeffizienten verzichtet.

Die ÖNORM B 8110 Teil 1 vom 1. Februar 1983 sah für Außenwände einen maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten von $0,90 \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$ vor. Dieser Wert ist durch die Vorgabe der baurechtlichen Bestimmungen der Bundesländer überholt, sodass seitens der ÖNORMEN in wärmetechnischer Hinsicht keine Einschränkungen für Fassadenkollektoren zu erwarten sind.

A 3.3.2 Schallschutz

Die Anforderungen an den Schallschutz im Hochbau sind in der ÖNORM B 8115 Teil 2 vom 1. Oktober 1998 festgelegt. Diese Norm, bzw. die vom Österreichischen Normungsinstitut bereits zurückgezogene Fassung dieser Norm vom 1. November 1994, ist wie bereits dargelegt wurde, von einzelnen Bauordnungen als zu berücksichtigende Unterlage bei der Planung explizit vorgeschrieben.

Die ÖNORM B 8115 Teil 2 vom 1. Oktober 1998 legt die Anforderungen an den Schallschutz der Außenwände in Abhängigkeit von der am Standort herrschenden Schallimmission fest.

Sofern keine Daten über die Schallimmission vorliegen, sind Planungsrichtwerte für zulässige Immissionen angeführt. Diese Werte sind in der Tabelle A 3.14 angeführt.

Tabelle A 3.14: Planungsrichtwerte für zulässige Schallimmissionen gemäß ÖNORM B 8115 Teil 2 vom 1. Oktober 1998

Gebiet und Standplätze	Bei Tag		Bei Nacht	
	L _{A,95}	L _{A,eq}	L _{A,95}	L _{A,eq}
Ruhegebiet, Kurgebiet, Krankenhaus	35	45	25	35
Wohngebiet in Vororten, Wochenendhausgebiet, ländliches Wohngebiet, Schulen	40	50	30	40
Städtisches Wohngebiet, Gebiet für Bauten land- und forstwirtschaftlicher Betriebe mit Wohnungen	45	55	35	45
Kerngebiet (Büros, Geschäfte, Handel und Verwaltung ohne Schallemission sowie Wohnungen), Gebiet für Betriebe ohne Schallemission	50	60	40	50
Gebiet für Betriebe mit geringer Schallemission (Verteilung, Erzeugung, Dienstleistung, Verwaltung)	55	65	45	55

Die Planungsrichtwerte für zulässige Schallimmissionen sind in der ÖNORM B 8115 Teil 2 vom 1. Oktober 1998 aus der vorangegangenen Norm unverändert übernommen worden.

Das bewertete Schalldämmmaß R'_w der Außenwände (ohne Fenster und Türen) und das bewertete resultierende Schalldämmmaß $R'_{res,w}$ der Außenwände (einschließlich Fenster und Außentüren) ist in der Tabelle A 3.15 angeführt.

Tabelle A 3.15: Bewertetes Schalldämmmaß R'_w und bewertetes resultierendes Schalldämmmaß $R'_{res,w}$ der Außenwände in Abhängigkeit vom Außenlärmpegel gemäß ÖNORM B 8115 Teil 2 vom 1. Oktober 1998

Gebäude		Außenlärmpegel L _{A,eq} in [dB]							
		Tag < 50	51 bis 55	56 bis 60	61 bis 65	66 bis 70	71 bis 75		
		Nacht < 40	41 bis 45	46 bis 50	51 bis 55	56 bis 60	61 bis 65		
Krankenhäuser, Kurgebäude udgl.	R'_{res,w}	33	38	43	47	52	-		
	R'_w	52	52	52	52	52			
Wohngebäude, Hotels, Schulen, Kindergärten udgl.	R'_{res,w}	33	33	38	43	43	48		
	R'_w	47	47	47	52	52	52		
Bürogebäude	R'_{res,w}	33	33	33	33	38	43		
	R'_w	47	47	47	47	47	47		

Die Fassung dieser ÖNORM vom 1. November 1994 sieht zum Teil niedrigere Grenzwerte vor. Für Gebäude in einer Lage mit extremer Lärmbelastung gelten die Werte gemäß Tabelle A 3.16.

Tabelle A 3.16: Bewertetes Schalldämmmaß R'_w und bewertetes resultierendes Schalldämmmaß $R'_{res,w}$ der Außenbauteile für extreme Lärmbelastung gemäß ÖNORM B 8115 Teil 2 vom 1. Oktober 1998

	Außenlärmpegel		
	L _{A,max} 110	106 bis 111	111 bis 115
	L _{A,eq} Tag 80	76 bis 80	81 bis 85
	L _{A,eq} Nacht bis 70	66 bis 70	71 bis 75
Außenbauteile ohne Fenster und Außentüren	53	58	63
Außenbauteile mit Fenster und Außentüre	53	58	63

Die Fassung der ÖNORM vom 1. November 1994 sieht für Außenbauteile mit Fenster und Außentüren dieselben Grenzwerte vor. Für Außenbauteile ohne Fenster und Außentüren wurden in der bereits zurückgezogenen Norm keine Grenzwerte vorgegeben.

A 3.3.3 Brandschutz

Der Brandschutz im Bauwesen wird durch die ÖNORMEN Reihe B 3800 Teil 1 bis Teil 4 geregelt. In der ÖNORM B 3800 Teil 1 (VN) vom 1. Dezember 1988 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Baustoffe: Anforderungen und Prüfungen“ erfolgt die Klassifizierung der Baustoffe in

- **Brennbarkeit**

- Brennbarkeitsklasse A: nichtbrennbar
- Brennbarkeitsklasse B: brennbar
- Brennbarkeitsklasse B 1: schwerbrennbar
- Brennbarkeitsklasse B 2: normalbrennbar
- Brennbarkeitsklasse B 3: leichtbrennbar

- **Qualmbildung beim Abbrand**

- Qualmbildungsklasse Q 1: schwachqualmend
- Qualmbildungsklasse Q 2: normalqualmend
- Qualmbildungsklasse Q 3: starkqualmend

- **Tropfenbildung beim Abbrand**

- Tropfenbildungsklasse Tr 1: nichttropfend
- Tropfenbildungsklasse Tr 2: tropfend
- Tropfenbildungsklasse Tr 3: zündend tropfend

Weiters werden die Anforderungen an die einzelnen Klassen und die Prüfbestimmungen festgelegt.

In der ÖNORM B 3800 Teil 2 vom 1. März 1997 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile: Begriffsbestimmungen, Anforderungen, Prüfungen“ erfolgt eine Einteilung der Bauteile nach Brandwiderstandsklassen. Es werden folgende Brandwiderstandsklassen definiert:

- F 30 brandhemmend
- F 60 hochbrandhemmend
- F 90 brandbeständig
- F 180 hochbrandbeständig

Weiters werden die Anforderungen an die einzelnen Klassen und die Prüfbestimmungen festgelegt.

In der ÖNORM B 3800 Teil 3 vom 1. Dezember 1995 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Sonderbauteile: Begriffsbestimmungen, Anforderungen, Prüfungen“ werden die Anforderungen an Sonderbauteile festgelegt.

Als Sonderbauteile werden

- Brandwände, an die besondere mechanischen Anforderungen gestellt werden
- Nichttragende Außenwandbauteile
- Dachdeckungen
- Brandschutzabschlüsse
- Brandschutzverglasungen

behandelt.

In der ÖNORM B 3800 Teil 4 vom 1. März 1990 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile: Einreihung in die Brandwiderstandsklassen“ werden die Bauteile einzelnen Brandwiderstandsklassen zugeordnet. In dieser Norm werden jene Bauteile aufgelistet, die ohne Prüfung einer Brandwiderstandsklasse zugeordnet werden können.

Wie ausgeführt, werden in den oa. ÖNORMEN brandschutztechnische Begriffe definiert und die Anforderungen sowie die Prüfbestimmungen festgelegt. Die Festlegung der brandschutztechnischen Eigenschaften von Bauteilen in Abhängigkeit von der Nutzungsart erfolgt ausschließlich in

den landesgesetzlichen Bestimmungen. In der ÖNORM B 3836 „Abschottungen von Kabeldurchführungen“ vom 1. Dezember 1984 werden Anforderungen an die Abschottungen von (elektrischen) Kabeldurchführungen festgelegt und Prüfbestimmungen definiert.

A 3.4 Diverse Richtlinien

A 3.4.1 ÖAL Richtlinien

Der Österreichische Arbeitsring für Lärmbekämpfung (ÖÄL) gibt Richtlinien für die Lärmbekämpfung heraus. Die ÖAL Richtlinie Nr. 26 „Lärmschutz im Wohnungsbau, Planerische Grundlagen“ verweist in „Kapitel 4.2 Anforderungen an die Konstruktion“ hinsichtlich der Anforderungen an den Luftschallschutz von Außenbauteilen auf die Bestimmungen der ÖNORM B 8115 Teil 2. Eigene schallschutztechnische Anforderungen an Bauteilen werden in den ÖAL Richtlinien nicht festgelegt.

A 3.4.2 Technische Richtlinien Vorbeugender Brandschutz

Die „Technischen Richtlinien Vorbeugender Brandschutz“ sind Richtlinien die von den Verbänden „Österreichischer Bundesfeuerwehrverband“ und „Die österreichischen Brandverhütungsstellen“ herausgegeben werden. Die Technischen Richtlinien Vorbeugender Brandschutz (TRVB) sind so aufgebaut, dass in der TRVB 109 „Brennbare Baustoffe im Bauwesen“, Ausgabe 1998, allgemeine Anforderungen an die Brennbarkeit von Baustoffen festgelegt werden. Darüber hinaus sind für Gebäude mit spezieller Nutzung eigene TRVBs herausgegeben worden.

A 3.4.3 TRVB 109 „Brennbare Baustoffe im Bauwesen“, Ausgabe 1998

Die TRVB 109 legt die brandschutztechnischen Anforderungen an Baustoffe im Bauwesen fest. Diese Bestimmungen gelten für alle Bauten, sofern nicht für Gebäude mit spezieller Nutzung eigene TRVBs herausgegeben wurden. Der Zweck dieser Richtlinie liegt darin, einheitliche Anforderungen an die Brennbarkeit von Baustoffen festzulegen. Die Anforderungen an die Außenwände sind in der Tabelle A 3.17 festgehalten.

Tabelle A 3.17: Brandschutztechnische Anforderungen an die Außenschicht, der Unterkonstruktion der Außenschicht und der Dämmschicht von Außenwänden gemäß TRVB 109

Bauteil	Gebäude		
	bis 3 Geschosse	> 3 Geschosse	Hochhäuser
Außenschicht (Verkleidung)	B 2, Tr 1	A ¹	A
Stabförmige Unterkonstruktion von Außenwand Verkleidung ²	B 2	B 1 ³	A
Dämmschicht	B 1 ⁴	A ⁵	A

¹ Zulässig sind auch Außenwanddämmsysteme z.B. nach ÖNORM B 6110

² Halterungen und Befestigungen der Außenwandverkleidung und der Unterkonstruktion müssen nichtbrennbar sein. Dies gilt nicht für Befestigungen von Dämmschichten auf Grund ihres großen Abstandes untereinander und nicht für Dübel, die in tragenden Wänden aus nicht brennbaren Baustoffen befestigt werden.

³ B 2 zulässig, wenn der Abstand Außenwand bzw. etwaiger Dämmschichten und der Verkleidung nicht mehr als 5 [cm] beträgt und Fenster- und Türleibungen gegen den Luftzwischenraum - abgesehen von Belüftungsöffnungen - allseitig mit nicht brennbaren Baustoffen abgeschlossen sind.

⁴ B 2 zulässig, sofern raumseitig hohlraumfrei abgedeckt und elektrische Leitungen in Kanälen aus Brandschutzplatten geführt und Steckdosen, Verteilerdosen und sonstige Durchdringungen der raumseitigen Abdeckung mit Brandschutzplatten hinterlegt werden.

⁵ B 1 zulässig, sofern beidseitig hohlraumfrei und zwar außen nicht brennbar und raumseitig mit nichtbrennbaren Baustoffen brandhemmend abgedeckt.

Für Rohrleitungen und deren Dämmung gelten die Bestimmungen der Tabelle A 3.18. *Anm: Ein- und Zweifamilienhäuser sind von diesen Bestimmungen ausgenommen.*

Tabelle A 3.18: Brandschutztechnische Anforderungen an Rohrleitungen und deren Dämmung gemäß TRVB 109

Bauteil	Gebäude		
	bis 3 Geschosse	> 3 Geschosse	Hochhäuser
Wasserleitungen ³	A ¹	A ²	A
Dämmung nicht brennbarer Rohrleitungen ⁴			
o Unter Putz oder dgl.	B 2	B 2	B 1
o In Schächten und Kanälen mit brandbeständigen Wänden mit brandbeständigen Abschlüssen	B 2, Q 2	B 2, Q 2	B1, Q 1
o In Verbindungswegen			
- Innerhalb von nicht brennbaren oder brandhemmenden Abdeckungen	B 2, Q 2	B1, Q 1	A
- Sonst	B 1, Q 1	A	A
o In Räumen			
- Innerhalb von nichtbrennbaren oder brandhemmenden Abdeckungen	B 2, Q 2	B 1, Q 2	A
- Sonst	B 1, Q 1	B 1, Q 1	A

¹ B 2 zulässig unter Putz und in Schächten mit hochbrandhemmenden Wänden und zumindest brandhemmenden Abschlüssen

² B 2 zulässig unter Putz und in Schächten mit brandbeständigen Wänden und zumindest brandhemmenden Abschlüssen

³ Gilt auch für Heizleitungen

⁴ Bei brennbaren Rohrleitungen sind Anforderungen im baulichen Einzelfall festzulegen.

A 3.4.4 TRVB 130 „Schulen, Teil 1 Bauliche Maßnahmen“, Ausgabe 1977

Der Zweck dieser Richtlinie ist es, einheitliche Mindestanforderungen hinsichtlich des vorbeugenden Brandschutzes für alle Schulen mit Ausnahme von solchen, in denen sich körperlich oder geistig behinderte aufhalten. In derartigen Fällen sind entsprechend strengere Maßstäbe anzuwenden.

In der TRVB 130 wird festgelegt:

„4.1.2 In Gebäuden mit mehr als einem Geschoss sind tragende und aussteifende Wände, ihre Unterstützung (Unterzüge) sowie Pfeiler und Stützen mindestens brandbeständig (F 90) herzustellen.“

4.1.3 An Außenwänden müssen zwischen den Öffnungen (Fenster etc.) der verschiedenen Geschosse gegen Brandeinwirkung ausreichend widerstandsfähige Bauteile (W 90) so angeordnet werden, dass der Brandüberschlagsweg von Geschoss zu Geschoss mindestens 1 [m] beträgt

4.1.4 Vorgehängte Außenwandelemente (Vorhangfassaden) müssen gegen einen Brandübergreif von Geschoss zu Geschoss brandbeständig (F 90) abgeschottet sein. (Verhinderung eines Brandübergreffes im Bereich zwischen Decke und Außenwandelement selbst.)“

A 3.4.5 TRVB 132 „Krankenanstalten, Pflege- und Altenwohnheime, Teil 1 Bauliche Maßnahmen, Ausgabe Juni 1978

Die TRVB 132 gilt für Anstalten in denen die Mehrzahl der Insassen bettlägerig ist und der ständigen ärztlichen Betreuung bedürfen (z.B.. Krankenhäuser, Sanatorien, Pflege- und Altenwohnheime).

In der TRVB 132 wird festgelegt:

„4.1.1 Tragende Wände und aussteifende Wände, ihre Unterstützungen (Unterzüge) sowie Pfeiler und Stützen sind mindestens brandbeständig (F 90) herzustellen.“

4.1.2 Bei erdgeschossigen Gebäuden ist die Brandwiderstandsklasse F 60 zulässig, wenn der rechnerische Nachweis gemäß der TRVB 100 erbracht wird. Es dürfen jedoch nur nicht brennbare Baustoffe verwendet werden.

4.1.3 Zwischen den Fenstern der einzelnen Geschosse ist ein brandbeständiger Bauteil (Fensterbrüstung + Deckendicke + Fenstersturz) in einer Höhe von mindestens 1,20 [m] herzustellen. Balkonplatten müssen brandbeständig ausgeführt sein. Außenjalousien müssen aus nicht brennbaren Materialien bestehen.

4.1.4 Fassadenverkleidungen sowie Dämmstoffe an oder in tragenden Bauteilen müssen aus nicht brennbaren Baustoffen (ÖNORM B 3800) hergestellt werden; diese Forderung gilt auch für die Unterkonstruktion. Die Hohlräume zwischen Fassadenverkleidungen und Außenwänden sind gegen Fenster- und Türleibungen durch nicht brennbare Baustoffe abzuschließen.

4.1.5 Die Zwischenräume vorgehängter Außenwandelemente und Decken müssen gegen einen Brandübergang von Geschoss zu Geschoss brandbeständig (F 90) abgeschottet sein. (Verhinderung eines Brandüberganges im Bereich zwischen Decke und Außenwandelement und im Außenwandelement selbst.)“

Die Zusammenfassung dieser Bestimmungen sind in der Tabelle A 3.19 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle A 3.19: Brandschutztechnische Bestimmungen für Krankenanstalten gemäß TRVB 132

Bauteil	Brennbarkeit	Tropfenbildung beim Abbrand	Qualmbildung beim Abbrand
Fassadenverkleidung	nicht brennbar	-	-
Dämmstoff tragender Bauteile	nicht brennbar	-	-
Unterkonstruktion	nicht brennbar	-	-
Abschluss der Hohlräume hinter der Fassadenverkleidung	nicht brennbar	-	-

A 3.4.6 TRVB 135 „Veranstaltungsstätten für maximal 300 Besucher, Teil 1 Bauliche Maßnahmen, Ausgabe 1979“

Der Zweck der TRVB 135 ist es, einheitliche Mindestanforderungen hinsichtlich des vorbeugenden Brandschutzes für Veranstaltungsstätten mit maximal 300 Besuchern festzulegen. Diese Richtlinie gilt für alle Veranstaltungsstätten mit einer höchstzulässigen Besucherzahl von 300 Personen, wie Tanzgaststätten, Bars, Diskotheken und dergleichen, mit Ausnahme von Veranstaltungsstätten, die im Freien gelegen sind. In der TRVB wird festgelegt:

„4.1.1 In eingeschossigen Gebäuden ist die Brandwiderstandsklasse für tragende und aussteifende Wände, ihre Unterstützungen (Unterzüge) sowie für Pfeiler und Stützen gemäß den Bestimmungen der Technischen Richtlinie TRVB 100 zu ermitteln; mindestens sind diese jedoch nicht brennbar oder brandhemmend (F 30) auszubilden.“

4.1.2 In Gebäuden mit mehr als einem Geschoss sind tragende und aussteifende Wände, ihre Unterstützungen (Unterzüge) sowie Pfeiler und Stützen brandbeständig (F 90) herzustellen. Auslachungen sind mindestens nicht brennbar (A) bzw. brandhemmend (F 30) auszubilden.“

A 3.4.7 TRVB 138 „Verkaufsstätten, Baulicher Brandschutz, Ausgabe 1992 mit Ergänzung aus 1997“

Der Zweck der TRVB 138 ist es, einheitliche Mindestanforderungen hinsichtlich des vorbeugenden Brandschutzes in Verkaufsstätten festzulegen. Diese Richtlinie ist auf alle innerhalb eines Gebäudes liegenden Verkaufsstätten anzuwenden, bei denen die Verkaufsfläche mehr als 600 [m²] oder bei denen die Verkaufsfläche mehr als 300 [m²] beträgt und sich diese über mehr als zwei brandschutztechnisch in offener Verbindung stehende Geschosse erstreckt. Diese TRVB legt fest:

„ 5.1 Tragende Bauteile, Außenwände und Decken müssen in brandbeständiger (F 90) Bauweise hergestellt werden.“

5.1.1 Abweichend vom Punkt 5.1 können bei

5.1.1.1 eingeschossigen freistehenden Verkaufsstätten tragende Bauteile hochbrandhemmend (F 60), nicht tragende Außenwände mindestens brandhemmend (W 30) nichtbrennbar (A), Decken nichtbrennbar (A) hergestellt werden.

5.1.1.2 zweigeschossigen freistehenden Verkaufsstätten tragende Bauteile und die Decke zwischen den Geschossen brandbeständig (F 90), nichttragende Außenwände mindestens brandhemmend (W 30) nichtbrennbar (A) und die Abschlussdecke nichtbrennbar (A) hergestellt werden.

5.1.2 Um freistehende Verkaufsstätten gemäß 5.1.1.1 muss allseits eine Brandschutzzone gemäß TRVB B 108, mindestens jedoch von 10 [m] eingehalten werden.

Kann die Schutzzone an einer oder zwei Seiten nicht eingehalten werden, sind die betreffenden Außenwände brandbeständig (F 90) auszuführen.

5.1.3 Zwischenräume zwischen vorgehängten Fassadenelementen und Decken müssen gegen einen Brandübergriff von Geschoss zu Geschoss brandbeständig (S 90) abgeschottet sein. (Verhinderung eines Brandübergriffes im Bereich zwischen Decke und Fassadenelement).“

A 3.4.8 TRVB 143 „Beherbergungsstätten, Bauliche Maßnahmen“, Ausgabe 1995

Der Zweck dieser Richtlinie ist es, einheitliche Anforderungen hinsichtlich des vorbeugenden Brandschutzes bei der Errichtung von Beherbergungsstätten festzulegen. Diese Richtlinie gilt für Beherbergungsstätten ab 15 Zimmern bzw. 30 Betten. Als Beherbergungsstätten im Sinne dieser Richtlinie gelten auch Gebäude oder Gebäudeteile, die nicht ständig für Beherbergungszwecke genutzt, nur fallweise an Gäste vermietet werden, sowie Appartementshäuser. Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Richtlinie ist die Einhaltung der Verordnung über die Mindestausstattung für Beherbergungsbetriebe, erlassen durch die BMfWA, hinsichtlich der Zimmermindestgrößen. Diese TRVB legt fest:

„5.1.1 Tragende Wände und Stützen sind brandbeständig (F 90) herzustellen, bei Kleinbetrieben in offener Bauweise genügt eine brandhemmende Ausführung (F 30)

5.1.2 Zwischen den Fenstern der einzelnen Geschosse ist bei allen Betriebsarten, ausgenommen Kleinbetrieben in offener Bauweise und allen Betrieben mit einer automatischen Brandmeldeanlage in Vollschutzausführung gemäß TRVB S 123, ein brandbeständiger Außenwandteil W 90 in einer Höhe von mindestens 1,2 [m] (Summe aus der Deckenstärke, der Fensterbrüstung und des Fenstersturzes) herzustellen, sofern jedes dieser Geschosse für sich einen eigenen Brandabschnitt bilden soll (siehe hierzu auch Kapitel 6.3).

5.1.6 Fassadenverkleidung

Bei Gebäuden mit bis zu fünf Geschossen (EG und vier OG) darf auch Holz (nicht hinterlüftet) als Fassadenverkleidung verwendet werden. Desgleichen sind hölzerne Bauteile als Gestaltungselemente von Fassaden zulässig.

Anm: Entgegen den Bestimmungen der TRVB 109 darf bei Holzverkleideten Außenwänden nur nicht brennbare Dämmstoffe verwendet werden.“

A 3.5 Sicherheit von Fassadenverankerungen

Der Inhalt dieses Abschnittes stellt ein für das vorliegende Projekt relevante Zusammenfassung der gleichnamigen Forschungsarbeit von (Gamerith, Maydl, Sternad, 2000), die aus den Mitteln des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten gefördert wurde. Das Thema dieser Studie bezog sich auf die Sicherheit der Fassadenverankerungen von massiven Betonfassadenplatten, die aufgezeigten Konsequenzen insbesondere hinsichtlich des Korrosionsschutzes sind aber auch für die gegenständliche Arbeit von Interesse.

A 3.5.1 Korrosionsverhalten metallischer Werkstoffe für Verankerungen

Durch die Masse der Metallprodukte und der spezifischen Wärme ist bei äußeren Temperaturschwankungen ein Amplitudennachgang der Oberfläche der Metalle im Vergleich zur Lufttemperatur zu beobachten. Dadurch kann es zur Bildung von Tauwasser kommen. Die Verfasser der Studie erwarten durch atmosphärische Verunreinigungen eine Salzanreicherung des Tauwassers, die letztlich bei einem Trocknungsprozess zu gesättigten Salzlösungen mit höchstem Aggressionsgrad führen können.

Besonders anfällig gegen Korrosion sind dabei

- verzinkte Teile
- mit Anstrichen versehene unlegierte Stähle

- Übergangszonen Metall/Karbonatisierungsbereich
- Übergangszonen Metall/Karbonatisierungszonen mit zusätzlichem Einfluss von Produkten nach der Reaktion des Befestigungsmaterials mit Luftschadstoffen
- Bereiche mit Mikroklima
- Situation des Objektes in Gebieten früherer oder heutiger Anhäufung von Luftschadstoffen
- filigrane Befestigungen aus Metall und Beton
- örtliche Einflüsse (Einflussbereich von Abgasfängen)

Metallische Konstruktionen werden hinsichtlich der Lebensdauer als ordnungsgemäß bezeichnet, wenn sie in die Kategorie „dauerkorrosionsbeständig“ einzureihen sind. Als nicht dauerkorrosionsbeständig gelten geschützte Stähle (organische Überzüge, Email), verzinkter Stahl und Mischkonstruktionen unterschiedlicher Werkstoffe, bei denen auch ein Werkstoff dauerkorrosionsbeständig sein kann.

A 3.5.2 Konstruktionsmerkmale

Aus der Entwicklung der Verankerungs- und Befestigungssysteme wurden nachträglich von den Verfassern der Studie folgende Konstruktionsmerkmale als Kennzeichen einer ordnungsgemäßen Verankerung abgeleitet:

Es ist erforderlich, jeden Fertigteil mindestens an zwei voneinander unabhängigen Punkten zu befestigen. Versagt ein Befestigungspunkt, darf dennoch kein Absturz des Fertigteiles erfolgen. Auch jene Befestigungsmittel, welche ein eventuelles Kippen der Fertigteile verhindern, sind aus korrosionsbeständigem Material herzustellen.

Besteht konstruktiv keine Möglichkeit, nachträglich die Zustände der einzelnen Verankerungsmittel z.B. durch Endoskopie zu kontrollieren, sind alle unzugänglichen Befestigungsmittel so zu konzipieren, dass diese auf Bestandsdauer des gesamten Gebäudes (des gesamten Kollektors) wartungsfrei mit der normgemäßen Sicherheit ausgestattet sind. In der Regel sollte so konzipiert werden, dass jede Platte einzeln ohne Beschädigung der Nachbarplatten bzw. der Umgebung zerstörungsfrei abgenommen und wieder angebracht werden kann.

Alle Stahlteile sollen zugänglich oder erreichbar sein, damit der Korrosionsschutz ausgeführt, geprüft und instandgesetzt werden kann. Horizontale Flächen und Nischen, wo sich korrosionsfördernde Stoffe z.B. Staub, Salze, aggressive Lösungen, Wasser usw. ansammeln können, sollen vermieden werden. Für die Verbindung von Fertigteilen ist immer dann ein geeigneter nichtrostender Stahl zu verwenden, wenn an den Verankerungsstellen Korrosion auftreten kann. Aufgrund vorliegender Erfahrungen werden deswegen die austenitischen Chrom - Nickel - Molybdän - Stähle der Werkstoffnummern 1.4401, 1.4571, 1.4580 zur Anwendung empfohlen. Verzinkungen sind nur für temporäre Maßnahmen zulässig.

A 3.6 Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieses Kapitels lassen sich nicht in der Form zusammenfassen, dass Vorgaben für einen Fassadenkollektor gegeben werden können, der jeder Bauordnung der Bundesländer und allen Normen und Richtlinien entspricht. Der Grund liegt vor allem in den Brandschutzbestimmungen, wo einzelne Bundesländer die Einbeziehung von Brandschutzsachverständigen zwingend vorgeschrieben haben. Im weiteren wird eine Zusammenfassung erstellt, in der die wichtigsten Aspekte dargestellt werden.

Wärmeschutz

Der Kollektor sollte so aufgebaut sein, dass er inklusive der Außenwand einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ erreicht. Dieser Wert stellt die strengste Forderung der einzelnen Bauordnungen dar und wird durch die Bundesländer Tirol und Vorarlberg erhoben. Der Vorgabe eines Wärmedurchgangskoeffizienten wird mittelfristig vermutlich eine geringere Bedeutung zukommen und durch die Vorgabe eines maximalen Heizenergiebedarfes abgelöst werden.

Schallschutz

Die Gesamtkonstruktion von Außenwand und Kollektor muss im Normalfall ein bewertetes Schalldämmmaß von 47 dB aufweisen. Dieser Wert wird praktisch in allen Bauordnungen vorgeschrieben. In Gegenden mit sehr hoher Lärmbelastung oder in speziellen Gebäuden wie Krankenhäuser sind in der ÖNORM B 8115 Teil 2 noch höhere Anforderungen gestellt.

Brandschutz

Hinsichtlich der Brandschutzbestimmungen ist es praktisch unmöglich eine allgemeine Vorgabe, die allen Anforderungen gerecht wird, zu formulieren. Generell ist festzustellen, dass die „Technischen Richtlinien Vorbeugender Brandschutz“ i.a. strengere Anforderungen als die Bauordnungen festlegen. Für Hochhäuser, wenngleich die Definition „Hochhaus“ in den Bauordnungen voneinander abweichen, ist die Verwendung von nichtbrennbaren Materialien vorgeschrieben. Da sich im Kollektorbereich die Verwendung von Steinwolle durchgesetzt hat, sind die brandschutztechnischen Anforderungen an den Dämmstoff als erfüllt anzusehen. Bei Gebäuden mit mehr als 3 Geschossen ist die Verwendung von nichtbrennbaren Materialien erforderlich. Abschlüsse zu Außenwandöffnungen sollten mit nichtbrennbaren Materialien abgeschlossen werden, um die Gefährdung der Bewohner im Brandfall zu minimieren. Gemäß TRVB 130 ist insbesondere bei Schulen zwischen den Geschossen eine brandbeständige Abschottung (F 90) erforderlich. An Außenwänden ist zwischen den Geschossen ein Brandüberschlagsweg von 1,20 m sicherzustellen.

Glas

Die umfangreichsten Anforderungen an Glas im Fassadenbau werden durch die Verordnungen des Magistrates Wien gestellt. Diese Anforderungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Es darf nur Einscheibensicherheitsglas verwendet werden. Die Scheiben müssen durch Heißlagerung nach DIN 18 516 Teil 4 mit positivem Ergebnis geprüft worden sein. Ist der direkte Kontakt mit Glas nicht ausgeschlossen, ist zusätzlich noch der Nachweis gegen Beständigkeit gegen „weichen Stoß“ gemäß DIN 52 337 (PW 300) erforderlich. Das Glas muss den statischen Belastungen standhalten.

Verankerungen

Verankerungen und Befestigungen müssen so angeordnet werden, dass die Außenwandverkleidung, der Kollektor oder Teile davon, nicht großflächig abstürzen (z.B. Verstärkung jeder zweiten Verankerung und mehrfache Verankerung jedes Einzelelements). Insbesondere die Verankerungen und die Befestigungen sind aus nichtbrennbaren Materialien herzustellen. Der Korrosion ist bei Wahl der Verankerungsmaterialien ein besonderes Augenmerk zu schenken. Dies ist umso wichtiger, als vielfach die Verankerung ohne Teildemontage der Fassade nicht kontrollierbar ist. Nach derzeitiger Erfahrung sind nichtrostende Metalle einzusetzen. Einen Überblick über Materialien die der Magistrat Wien als korrosionsbeständig einschätzt befindet sich in der Tabelle A 3.4. Vielfach wird in der Literatur darauf hingewiesen, dass verzinkter Stahl bzw. Stähle die mit Schutzschichten (z.B. Email, organische Materialien) überzogen sind, nicht für Fassadenverankerungen geeignet sind.

A 4. Wandaufbauten

Es wurden Wandaufbauten gewählt, wie sie typischerweise in Einfamilienhäusern und im Geschossbau verwendet werden. Die Wandaufbauten wurden so bestimmt, dass sie den Wärmeschutzbestimmungen für Gebäude in österreichischen Bundesländern entsprechen [*Energieverwertungsgesellschaft - E.V.A.*, <http://www.ewa.wsr.ac.at/enz/k-wert.htm>, 1998, Lit 7].

Tabelle A 4.1: U-Wert [$\text{W/m}^2\text{K}$] Obergrenzen laut baugesetzlichen Bestimmungen der Bundesländer

Stand:2/2000	B	K	N	O	S	St	T	V	W
Gültig seit/ab	98	97	96	95	91	97	98	96	93
Außenwand	0,45	0,4	0,4	0,5	0,47-0,56	MFH:0,5 EFH, ZFH:0,4	0,35	0,35	0,5

MFH...Mehrfamilienhaus

EFH... Einfamilienhaus

ZFH... Zweifamilienhaus

A 4.1 Ziegelwand, 38 cm

A 4.1.1 38-er Ziegelwand ohne Kollektor

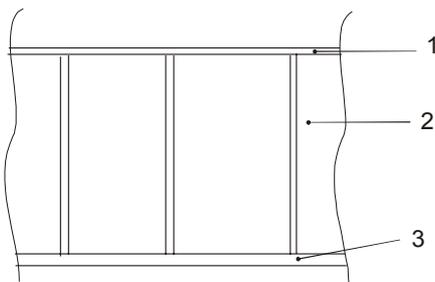


Abbildung A 4.1: Ziegelwand, 38 cm Hochlochziegel

Tabelle A 4.2: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m^3)
1	Innenputz GIPS	15	0,7	940	1400
2	Ziegel POROTHERM 38 S	380.	0,167	920	761
3	Dämmputz	25	0,1	920	500

A 4.1.2 38-er Ziegelwand mit Kollektor

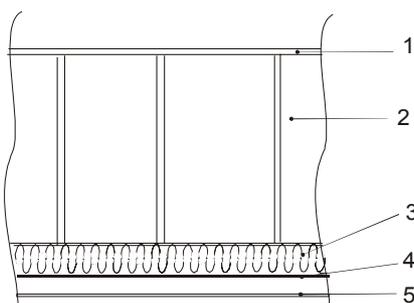


Abbildung A 4.2: Ziegelwand, 38 cm, mit Kollektor

Tabelle A 4.3: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m ³)
1	Innenputz GIPS	15	0,7	940	1400
2	Ziegel POROTHERM 38 S	380	0,167	920	761
3	Stein- od. Mineralwolle	50	0,04	800	100
4	Absorber	-	380	380	8940
5	Glasabdeckung	4	0,8	750	2500

*Die Dicke der Dämmung ergibt sich aus der Wärmestromberechnung.

A 4.2 Ziegelwand, 25 cm

A 4.2.1 25-er Ziegelwand ohne Kollektor

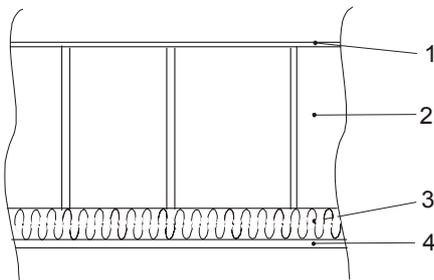


Abbildung A 4.3: Ziegelwand, 25 cm, mit Zusatzdämmung

Tabelle A 4.4: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m ³)
1	Innenputz GIPS	15	0,7	940	1400
2	Ziegel HLZ	250	0,38	920	852
3	Dämmung	80	0,04	800	100
4	Deckschicht (Mittelbett Armierungsschicht mit Deckputz)	7	0,9*	1100*	1300*

*(Rechenwerte Deckschicht: Armiermörtel)

A 4.2.2 25-er Ziegelwand mit Kollektor

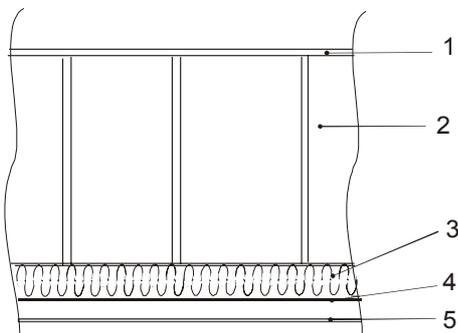


Abbildung A 4.4: Ziegelwand, 25 cm, mit Kollektor

Tabelle A 4.5: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m ³)
1	Innenputz GIPS	15	0,7	940	1400
2	Ziegel HLZ	250	0,167	920	761
3	Stein- od. Mineralwolle	50	0,04	800	100
4	Absorber	-	380	380	8940
5	Glasabdeckung	4	0,8	750	2500

*Die Dicke der Dämmung ergibt sich aus der Wärmestromberechnung.

A 4.3 Betonwand

A 4.3.1 Betonwand ohne Kollektor

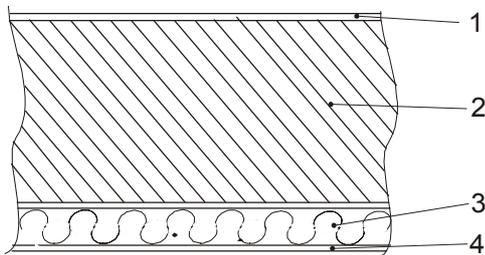


Abbildung A 4.5: Betonwand

Tabelle A 4.6: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m ³)
1	Innenputz GIPS	15	0,7	940	1400
2	Stahlbeton	200	2,3	1000	2500
3	Dämmung	80	0,04	800	100
4	Deckschicht (Mittelbett Armierungsschicht mit Deckputz)	7	0,9	1100	1300

A 4.3.2 Betonwand mit Kollektor

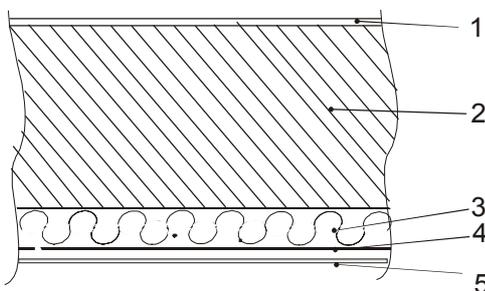


Abbildung A 4.6: Betonwand mit Kollektor

Tabelle A 4.7: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m ³)
1	Innenputz GIPS	15	0,7	940	1400
2	Stahlbeton	200	2,3	1000	2500
3	Stein- od. Mineralwolle	80	0,04	800	100
4	Absorber	-	380	380	8940
5	Glasabdeckung	4	0,8	750	2500

A 4.4 Holzriegelbau

A 4.4.1 Holzriegelbau ohne Kollektor

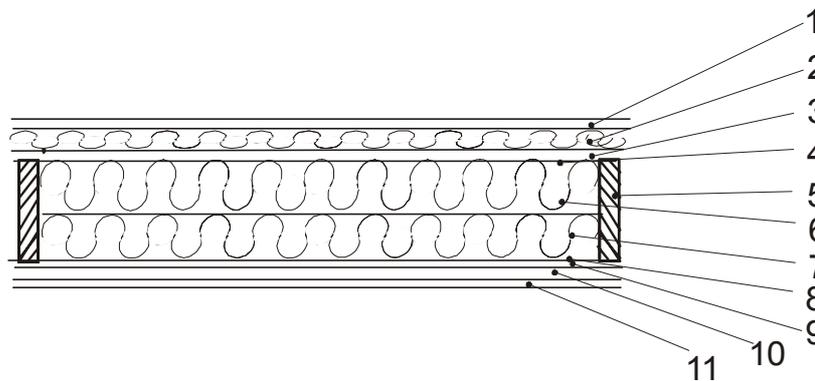


Abbildung A 4.7: Holzriegelbau

Tabelle A 4.8: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m ³)
1	Innenverkleidung HOLZ	20	0,15	1900	500
2	Dämmung, Installationsebene	50	0,04	800	100
3	Vollschalung Holz	25	0,15	1900	500
4	Winddichtung diff.offen	-	-	-	-
5	Holzriegel dazw.	200	0,15	1900	500
6-7	Stein- od. Mineralwolle	2 x 100	0,04	800	100
8	Winddichtung	1			
9	Vollschalung	25	0,15	1900	500
10	Luftspalt	30	-	-	-
11	Holzschalung	25	0,15	1900	500

A 4.4.2 Holzriegelbau mit Kollektor

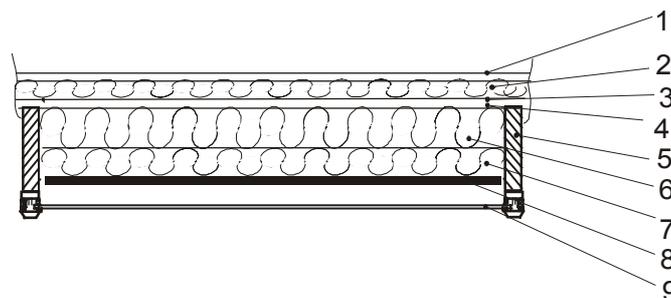


Abbildung A 4.8: Holzriegelbau mit Kollektor

Tabelle A 4.9: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m ³)
1	Innenverkleidung (Holz)	20	0,15	1900	500
2	Dämmung, Installationsebene	50	0,04	800	100
3	Vollschalung Holz	25	0,15	1900	500
4	Winddichtung diff.offen	-	-	-	-
5	Holzriegel dazw.	200	0,15	1900	500
6	Stein- od. Mineralwolle	100	0,04	800	100
7	Stein- od. Mineralwolle	50	0,04	800	100
8	Absorber	-	380	380	8940
9	Glasabdeckung	4	0,8	750	2500

A 4.5 KLH-Holzwand

A 4.5.1 KLH-Holzwand ohne Kollektor

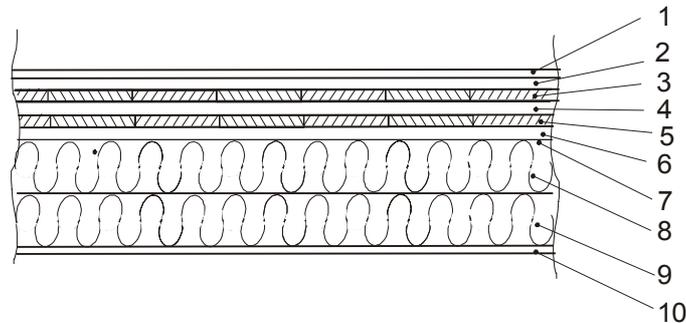


Abbildung A 4.9: Holzbauweise, KLH-Platte

Tabelle A 4.10: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m ³)
1	Innenverkleidung HOLZ	20	0,15	1900	500
2-6	KLH--Massivholzplatte	100	0,15	1900	500
7	Winddichtung diff.offen	-	-	-	-
8-9	Holzfaserdämmplatte	2 x 100	0,045	1800	170
10	Deckschicht (Mittelbett Armierungsschicht mit Deckputz)	7	0,9	1100	1300

A 4.5.2 KLH-Holz wand, mit Kollektor

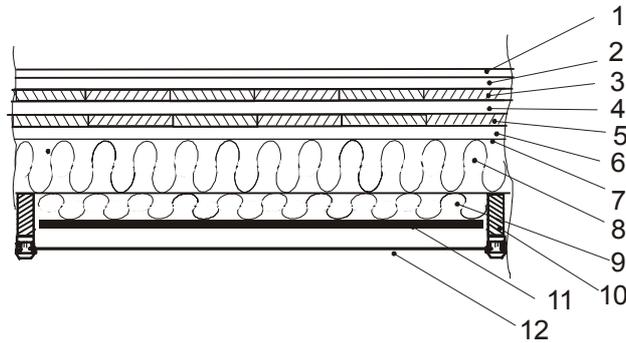


Abbildung A 4.10: Holzbaueinheit: KLH-Platte mit Kollektor

Tabelle A 4.11: Abmessungen der Schichten

	Schichtaufbau	Abmessungen (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m K)	cp (J/kgK)	Dichte (kg/m ³)
1	Innenverkleidung	20	0,15	1900	500
2-6	KLH-Platte	100	0,15	1900	500
7	Winddichtung diff.offen	-	-	-	-
8	Holzfaserdämmplatte	100	0,045	1800	170
9	Stein- od. Mineralwolle	50	0,04	800	100
10	Holzriegel dazw.	-	0,15	1900	500
11	Absorber	-	380	380	8940
12	Glasabdeckung	4	0,8	750	2500

A 5. Ressourceneffizienz und Materialintensitätsanalyse

Das Ziel dieses Arbeitspaketes liegt darin, die Ressourcen Effizienz der Testanlagen anhand einer Materialintensitätsanalyse zu erheben und diese mit der Ressourcen Effizienz von herkömmlichen, dachintegrierten Anlagen zu vergleichen.

Die Materialintensitätsanalyse wird im Sinne des MIPS Konzeptes durchgeführt.

A 5.1 MIPS Konzept

Derzeitige wirtschaftliche Situation in den Industrieländern

Unser derzeitiges Wirtschaftssystem in den Industrieländern ist davon geprägt, dass die Unternehmen zur Erhaltung bzw. zum Ausbau ihrer Wirtschaftskraft fortlaufend Produkte erzeugen, dadurch riesige Ressourcenströme verursachen und diese Produkte am Markt verkaufen. Durch die ehrgeizigen Umsatz- und Gewinnvorgaben der Eigentümervertreter sind neue Produkte in immer kürzeren Zeitabständen auf den Markt zu bringen – die Ressourcenströme weisen daher eine steigende Tendenz auf.

Die wirtschaftliche Entwicklung zeigt bei vielen Unternehmen trotz steigender Umsätze und damit steigender Ressourcenströme sinkende Erträge. Das Prinzip über mehr Umsatz mehr Ertrag zu erzielen ist in vielen Fällen nicht mehr möglich. Die Steigerung des Umsatzes bewirkt in der Regel ein Überangebot am Markt und führt zu fallenden Preisen. Die gesamte Problematik wird durch die Globalisierung und der damit einhergehenden Mobilität des Kapitals zusätzlich verschärft.

Die Unternehmen sind daher aus wirtschaftlichen Gründen gezwungen Alternativen zu ihren derzeitigen Verkaufsstrategien zu suchen. Eine Alternative kann die Erarbeitung von Alleinstellungsmerkmalen für ein Produkt sein und über dieses Alleinstellungsmerkmal einen höheren Ertrag zu lukrieren. Eine andere, darüber hinaus gehende Alternative wurde in /14/ und /15/ aufgezeigt. Die Autoren haben anhand von Beispielen nachgewiesen, wie in der Wirtschaft der Dienstleistungsbereich immer mehr an Bedeutung gewinnt. Dies kann von den Unternehmen dazu genutzt werden ihre Produkte nicht mehr direkt zu verkaufen sondern den Nutzen ihrer Produkte als Dienstleistung zur Verfügung zu stellen und somit die wirtschaftlichen Erträge aus der Dienstleistung „Nutzen bereitstellen“ zu erzielen.

Die Durchsatzwirtschaft oder „Massenwirtschaft“ wurde auch in /1/ einerseits als eine der Schlüsselursachen für die derzeitige schlechte wirtschaftliche Situation der Unternehmen andererseits aber auch für die sich verschlechternde Umweltsituation identifiziert. Die „Massenwirtschaft“ war eine geeignete Antwort auf Situationen wie sie zB. nach dem Ende des 2. Weltkrieges herrschte und führte in diesen Phasen auch zu Wohlstand. Sie ist aber, wie die obigen Ausführungen zeigen, keine geeignete Antwort auf die derzeitige Situation. Ein neuer Ansatz muss nach /1/ darin liegen, eine win win Situation zwischen der Erhöhung des wirtschaftlichen Ertrages eines Unternehmens bei gleichzeitiger Verringerung der Ressourcenströme herzustellen. Ein Ansatz für eine derartige win win situation ist das in /3/ formulierte ökonomische und ökologische Prinzip „Aus einer Einheit Ressource soviel und solange Nutzen wie möglich zu erhalten“.

Dieses Prinzip führt letztlich auch in den Dienstleistungsbereich und wird derzeit schon in mehreren Bereichen zB. bei Kopiergeräten oder Druckern angewendet. Ein Kopiergerät oder ein Drucker (für PC) wird dem Anwender zur Nutzung zur Verfügung gestellt und die Fakturierung erfolgt nach dem „Nutzen“ - der „bedruckten Seite“. Die Lieferfirma ist für die Wartung und Instandhaltung des Gerätes verantwortlich und nun aus wirtschaftlicher Sicht daran interessiert, mit einem Kopiergerät/Drucker (Ressource) soviel Nutzen (bedrucktes Papier) wie möglich zu erzielen. Das dies auch zu einer Verringerung der Ressourcenströme ist evident. Ähnliche Beispiele aus anderen Bereichen (zB. Solarcontracting) sind in /4/ aufgelistet.

Strategien für einer zukunftsfähigen Entwicklung

Meadows et. al. /5/ hat bereits 1972 in seiner klassischen Arbeit „Die Grenzen des Wachstums“ darauf hingewiesen, dass ein Weiterführen der bisherigen wirtschaftlichen Tätigkeiten der Menschen (Stand 1970) ohne signifikante Änderungen zu einer Katastrophe führt. In Abbildung A 5.1 sind seine Berechnungen für diesen Fall dargestellt.

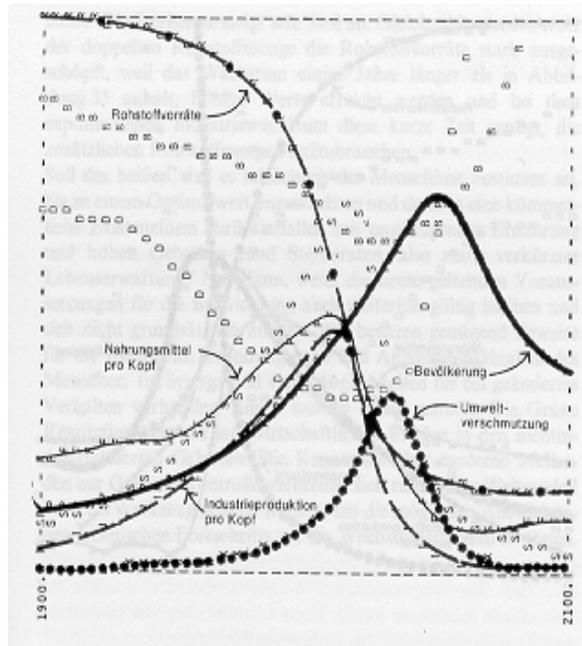


Abbildung A 5.1: „Standard Modell“ des Weltmodells, Quelle /4/

Wie aus der in Abbildung A 5.1 dargestellten Prognose zu erkennen ist, würde die Weltbevölkerung vorerst weiterhin exponentiell wachsen. In weiterer Folge müsste zur Ernährung der Bevölkerung die Nahrungsmittelproduktion ebenfalls exponentiell steigen. Aufgrund der Begrenztheit der Anbauflächen und einer Obergrenze des Flächenertrages würde es durch einen Nährstoffmangel im Boden zu einer drastischen Reduktion des landwirtschaftlichen Ertrages kommen. Die Weltbevölkerung würde zunächst trotz des Nahrungsmittelmangels weiter wachsen und es käme erst mit zeitlicher Verzögerung zu einer raschen und signifikanten Abnahme der Bevölkerung. Parallel dazu würden die Vorräte an nicht nachwachsenden Rohstoffen verbraucht werden.

Als Ursache für diese apokalyptischen Szenarien wurden von Meadows et.al.

- Exponentielles Bevölkerungswachstum und dadurch bedingter
- Nahrungsmittelmangel und
- Mangel an nicht nachwachsenden Rohstoffen

Identifiziert. Die Autoren haben daher in /5/ als Lösungsansatz die Stabilisierung der Weltbevölkerung auf einem definierten Level sowie die Reduktion des Ressourcenverbrauches um den Faktor 4 vorgeschlagen (Basis 1975) und unter dieser Annahme mittels Computersimulation eine bis in 22. Jahrhundert stabile Ökosphäre errechnet.

Nicht zuletzt aufgrund der Auswirkungen dieser Arbeit haben sich in den Jahren seit dem Erscheinen des Buches die Rahmenbedingungen wesentlich geändert, so dass derzeit ein akuter Mangel an nicht nachwachsenden Rohstoffen nicht in Sicht ist. Eine ausführliche Diskussion dieser Problematik ist in /6/ und /7/ durchgeführt worden. In /8/ haben sich Meadows et.al. mit den geänderten Rahmenbedingungen seit dem Erscheinen des 1. Buches auseinandergesetzt. Meadows et. al. sind zu der Erkenntnis gelangt, dass zum Zeitpunkt des Erscheinens dieser Arbeit (1992), vermutlich nicht die Rohstoffquellen das vorrangige Problem – die Grenzen des Wachstums – darstellen, sondern eher die sich erschöpfende Aufnahmekapazität der Schadstoffsenken (Boden, Luft und Wasser) der limitierende Faktor ist. Der Treibhauseffekt und das Ozonloch sind als typische Beispiele der Überforderung der Schadstoffsenken anzusehen. Eine Entlastung der Schadstoffsenken kann am zweckmäßigsten durch die Reduzierung des Ressourcenverbrauches bzw. der Ressourcenströme erreicht werden. Eine Reduzierung des Ressourcenverbrauches entlastet somit unsere Quellen und unsere Senken.

Meadows et. al. hat daraus resultierend in /8/ folgende Strategien für eine zukunftsfähige Entwicklung entworfen.

- Sich regenerierenden Quellen wie Wasser und nachwachsende Rohstoffe darf nicht mehr entnommen werden, als sich gleichzeitig regenerieren können.

- Sich nicht regenerierende Quellen wie fossile Lagerstätten dürfen nicht rascher abgebaut werden, als gleichzeitig sich regenerierende Quellen für die gleiche Art der Nutzung geschaffen werden.
- Die Emission von Schadstoffen darf nur so hoch sein, dass die schädlichen Substanzen in harmlose umgewandelt werden und es zu keiner Akkumulation der Schadstoffe kommt.

A 5.2 Dematerialisierung als Lösungsansatz

Eine Weiterentwicklung der Ideen von Meadows ist mit dem Konzept der Dematerialisierung /3/, /9/ und /10/ erfolgt. Neue Analysen einer Reihe von bekannten Umweltveränderungen insbesondere aus dem Bereich der Klimaforschung lassen es als wahrscheinlich erscheinen, dass zur Stabilisierung der Ökosphäre der derzeitige weltweite Verbrauch an Ressourcen (Rohstoffen) um den Faktor 2 verringert werden muss.

Weiters ist zu berücksichtigen, dass derzeit ca. 20% der Weltbevölkerung (OECD Staaten) ca. 80% der Ressourcen verbrauchen. In naher Zukunft werden aber einige sehr bevölkerungsreiche Schwellenländer (z.B. China, Indien) das Wohlstandsniveau und den Ressourcenverbrauch der Industrieländer erreichen. Die Annahme, dass die gesamte Weltbevölkerung das Wohlstandsniveau und damit den Ressourcenverbrauch der derzeitigen Industriestaaten erreichen, würde global gesehen den Ressourcenverbrauch zusätzlich um den Faktor 5 steigern.

Wie bereits erwähnt liegt die Herausforderung der Zukunft in der Entwicklung eines nachhaltigen und zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bei dem es durch eine Entkoppelung zwischen Wohlstandsniveau und Ressourcenverbrauch zu einer win win Situation zwischen Ökonomie und Ökologie kommt. Diese Entkoppelung muss so weitreichend sein, dass eine stabile Ökosphäre auch dann garantiert wird, wenn weltweit das Wohlstandsniveau der Industriestaaten erreicht wird.

Aus den einleitenden Bemerkungen ist ersichtlich, dass ein nachhaltiges und zukunftsfähiges Wirtschaftssystem einen um den Faktor 10 reduzierten Ressourcenverbrauch, gegenüber dem derzeitigen Stand der Industriestaaten, aufweisen muss. Dieses Ziel kann auch so formuliert werden, dass es zu einer **Dematerialisierung** des Wirtschaftssystems **um den Faktor 10** kommt.

Das MIPS Konzept als Management Tool

Aufbauend auf dem Leitsatz „Nur was man messen kann, kann man auch managen!“ hat Professor Schmidt Bleek (vormalig Wuppertal Institut für Klimaforschung) das MIPS Konzept entwickelt, mit dessen Hilfe man den Materialinput eines Produktes bzw. einer Dienstleistung errechnen kann. Der Materialinput gibt jene Menge an Ressourcen an, die für die „Herstellung“ eines Produktes bzw. einer Dienstleistung erforderlich ist. Dabei ist eine lebenszyklusweite Betrachtung des Produktes bzw. der Dienstleistung erforderlich. Für viele standardisierte Prozesse sind diese Berechnungen bereits durchgeführt worden und als MI Faktoren in der Literatur /2/, /3/ und /11/ publiziert. Dabei sind die MI Faktoren der auf die Masseneinheit bezogene Materialinput eines bestimmten Stoffes/Produktes eines definierten Prozesses. (zB: Gewinnung von Stahl vom Bergbau bis Stahlwerk). Der Materialinput ist in weiterer Folge auf den Nutzen (das Service) zu beziehen. Dieser dadurch gebildete Wert – der MIPS Wert (**M**aterial **I**ntensität **P**er **S**erviceeinheit) – ist der ökologische Parameter des Konzeptes. Das MIPS Konzept ist also jenes Management Tool, mit dessen Hilfe man die Auswirkungen bestimmter Maßnahmen auf die globalen Ressourcenströme quantifizieren kann. Damit ist es überprüfbar, inwieweit die Maßnahmen mit den Ideen von Meadows übereinstimmen.

Der Rechenvorgang, bei dem der Materialinput eines Produktes bzw. einer Dienstleistung errechnet wird, nennt man Materialintensitätsanalyse. Auf Basis einer Materialintensitätsanalyse können somit quantitative Aussagen zur Umweltfreundlichkeit (Ressourcen Effizienz) eines Produktes bzw. einer Dienstleistung gemacht werden. Der Kehrwert der Materialintensität gibt an, wie viel Ressourcen für die Bereitstellung eines Produktes bzw. einer Dienstleistung erforderlich ist und ist somit ein Maß dafür, wie effizient die Ressourcen eingesetzt wurden.

Da bei der Berechnung der Materialintensität eines Stoffes der Weg bis zur Rohstoffgewinnung zurückverfolgt und der gesamte Ressourcenverbrauch aufsummiert werden muss, sind die MI Faktoren grundsätzlich größer als eins. Dies bedeutet, dass für die Erzeugung eines Produktes mehr Ressourcen verbraucht werden, als es dem Eigengewicht entspricht. Der über dem Eigen-

gewicht liegende Ressourcenverbrauch wird als ökologischer Rucksack bezeichnet. Diese Wortwahl dient zur Verdeutlichung, dass der **ökologische Rucksack** jener Teil der Ressourcen ist, der vom Produkt zusätzlich zum Eigengewicht (unsichtbar) „mitgeschleppt“ wird. In /13/, dem Grönbuch „Österreichs Zukunft nachhaltig gestalten“, wird ausdrücklich ein nationales, regionales und betriebliches Ressourcen- und Informationssystem gefordert um einen besseren Informationsstand über den „**ökologischen Rucksack**“ von Produkten, Rohstoffen und Energieträgern zu erhalten.

Folgende Dematerialisierungsstrategien – Strategien zur Verringerung des MIPS Wertes – und damit zur Erhöhung der Ressourcen Effizienz stehen zur Verfügung:

- Verkleinerung des Materialinputs
 - Cleaner Production Maßnahmen
 - Materialsubstitution
- Vergrößerung des Nutzens
 - Erhöhung der Produktlebensdauer
 - Multifunktionalität

Cleaner Production Maßnahmen werden seit geraumer Zeit von den Unternehmen durchgeführt. Zu diesem Thema sind bereits sehr erfolgreiche Programme (zB. Prepare und Ökoprofit) entwickelt worden.

Mit dem MIPS Konzept ist es darüber hinaus möglich quantitative Aussagen über die ökologischen Auswirkungen von Materialsubstitutionen durchzuführen.

Die Vergrößerung des Nutzens, entweder in Form der Erhöhung der Produktlebensdauer oder der Einführung mehrerer zusätzlicher Funktionen (Multifunktionalität), ist ein dem MIPS Konzept inhärente Methode die Ressourcen Effizienz zu steigern und quantitativ zu bewerten.

Dem Unterschied der Materie Rechnung tragend, werden im Rahmen des MIPS Konzeptes 5 Kategorien von Materie unterschieden:

- Nicht Nachwachsende Rohstoffe (abiotische Materie)
- Nachwachsende Rohstoffe (biotische Materie)
- Wasser
- Luft
- Bodenerosion (in Land- und Forstwirtschaft).

Da die Bereitstellung von Energie sich immer auf Ressourcenverbrauch zurückführen lässt, ist im MIPS Konzept die Energie bzw. der Energieverbrauch ebenfalls enthalten. Zum Unterschied z.B. zum Konzept der „Grauen Energie“ wird im Rahmen des MIPS Konzeptes in einem weiteren Schritt die Serviceeinheit“ (der Nutzen) eines Produktes (aus der Sicht des Kundens) betrachtet und davon ausgegangen, dass nicht der Materialinput des Produktes sondern der auf den Nutzen bezogene Materialinput die wesentliche Größe darstellt. Der Materialinput wird daher auf die Serviceeinheit bezogen. Die Serviceeinheit ist im einfachsten Fall die Lebensdauer eines Produktes.

Der auf die Serviceeinheit bezogene Materialinput ist als MIPS Wert (Material Input Per Serviceeinheit) die ökologische Kennzahl des MIPS Konzeptes.

Das MIPS Konzept verfolgt die Strategie, dass der MIPS Wert für jede Kategorie der Materie errechnet und minimiert werden muss. Kann der MIPS Wert für eine Kategorie der Materie nur auf Kosten des MIPS Wertes einer anderen Kategorie der Materie verringert werden, so sollen in diesem Fall die MIPS Werte für abiotische (nachwachsende Materie) erhöht werden.

Der Vorteil des MIPS Konzeptes liegt insbesondere darin, dass eine einfach zu ermittelnde Kennzahl geschaffen wurde, um eine rasche Beurteilung eines Produktes bzw. einer Dienstleistung aus ökologischer Sicht zu ermöglichen.

A 5.3 Bisherige Erkenntnisse

Untersuchungen über die Ressourcen Effizienz von Produkten und Dienstleistungen im Sinne des MIPS Konzeptes sind in großer Zahl bereits durchgeführt worden. Die für das gegenständliche

Thema relevanten Untersuchungen werden im folgenden Kapitel erläutert. Die hier präsentierten Ergebnisse sind in /10/ und insbesondere in /11/ publiziert worden, mussten aus Gründen der Vergleichbarkeit für das vorliegende Projekt nachträglich standardisiert und zum Teil erweitert werden.

Energieträger

Der Ressourcen Aufwand für die „Herstellung“ der Energieträger ist durch Analyse der Prozesskette für die Gewinnung dieser Energieträger zu ermitteln. Der Ressourcen Aufwand für die Energieträger „Steinkohle“, „Heizöl EL“ und „Erdgas“ sind /3/ und /11/ entnommen. Für den Energieträger „Holzpellets“ wurde diese Berechnung auf Basis der Angaben eines Pelletsherstellers über den Herstellungsprozess ermittelt. Der Vergleich des Ressourcen Aufwandes für die „Herstellung“ der Energieträger in Abhängigkeit der einzelnen Kategorien der Materie ist in Tabelle A 5.1 dargestellt.

Tabelle A 5.1: Ressourcen Aufwand für die „Herstellung“ ausgewählter Energieträger

Energieträger	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Steinkohle	0,37 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,30 [kg/kWh]
Heizöl EL	0,21 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	0,79 [kg/kWh]
Erdgas	0,10 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	0,04 [kg/kWh]
Holzpellets	0,01 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	0,16 [kg/kWh]

Der Ressourcen Aufwand ist für den Energieträger „Steinkohle“ bei allen Kategorien der Materie am größten. Für den gegenständlichen Bereich – die Beheizung von Betriebs- und Wohnhausanlagen – spielt dieser Energieträger aber eine untergeordnete Rolle.

Der Energieträger „Heizöl“ weist einen geringeren Ressourcen Verbrauch als „Steinkohle“ auf, liegt aber deutlich über den anderen beiden angeführten Energieträgern. Dieser Energieträger spielt derzeit für die Raumwärmeversorgung in Österreich eine dominierende Rolle.

„Erdgas“ ist bei den Nicht Nachwachsenden Rohstoffen bereits um den Faktor 2,1“ und bei der Materie „Wasser“ um den Faktor 19,75 Ressourcen effizienter als „Heizöl“. Dies bedeutet, dass für die „Herstellung“ von 1 [kWh] Heizöl um den Faktor 19,75 mehr Wasser benötigt wird, als bei der „Herstellung“ von 1 [kWh] Erdgas. Dieser Energieträger spielt für die Raumwärmeversorgung vorrangig im Osten und hier insbesondere im Bundesland Wien eine dominierende Rolle.

Der Energieträger „Holzpellets“ weist bei der Kategorie Nicht Nachwachsende Rohstoffe die höchste Ressourcen Effizienz auf. Der Energieträger „Holzpellets“ ist hinsichtlich des Aufwandes an „Nicht Nachwachsenden Rohstoffen“ bereits um den **Faktor 10** Ressourcen effizienter als „Erdgas“. Der Aufwand an Nachwachsenden Rohstoffen ist beim Energieträger „Holzpellets“ Null, da dieser Energieträger aus Sekundärrohstoffen („Holzabfällen“) hergestellt wird. Sekundärrohstoffe sind bereits im Wirtschaftskreislauf und werden für die Weiterverarbeitung nicht mehr der Natur entnommen. Diese Vorgehensweise entspricht der in /12/ festgelegten Konvention für die Erstellung von Materialintensitätsanalysen. Bei der Materie „Wasser“ ist der Energieträger „Erdgas“ Ressourcen effizienter als der Energieträger „Holzpellets“. In Abbildung A 5.2 erfolgt die bildliche Darstellung des Ressourcen Aufwandes gemäß Tabelle A 5.1 für „Nicht Nachwachsende Rohstoffe“.

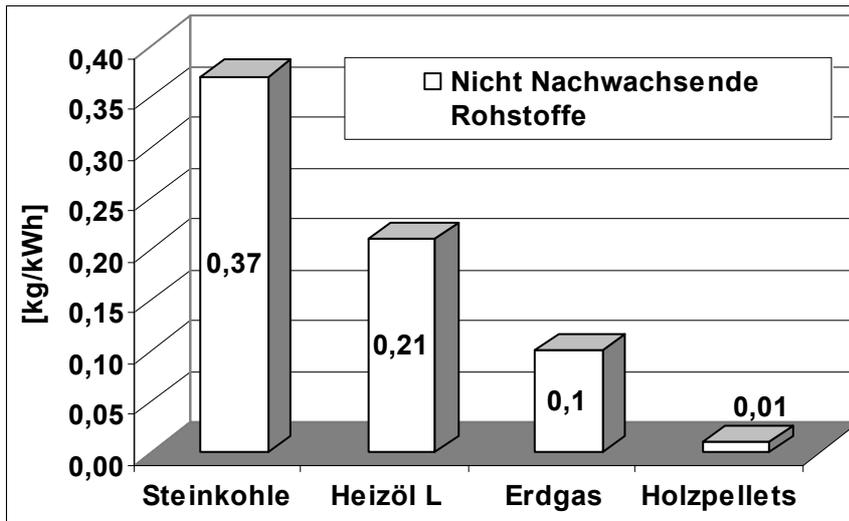


Abbildung A 5.2: Ressourcen Aufwand für die „Herstellung“ ausgewählter Energieträger in [kg/kWh] (Nicht nachwachsende Rohstoffe)

Die Analyse des Ressourcen Aufwandes für die gängigsten Energieträger zeigt, dass der Energieträger „Holzpellets“ ausgenommen bei der Materie „Wasser“ die Ressourcen effizienteste Lösung darstellt und der Ersatz der in Österreich sehr häufig verwendeten Energieträger

„Heizöl EL“ und „Erdgas“ durch „Holzpellets“ eine wesentliche Verbesserung der Ressourcen Effizienz der Heizsysteme erwarten lässt. Um eine Aussage über die Verbesserung der Ressourcen Effizienz eines Heizsystems zu treffen, bedarf es neben der Analyse des Energieträgers auch die Analyse der gesamten Heizanlage. Dies erfolgt für den Bereich Einfamilienhaus im folgenden Abschnitt.

Beheizung eines Einfamilienhauses

Bei der Untersuchung der Ressourcen Effizienz der Beheizung eines Einfamilienhauses wird neben dem Energiebedarf die gesamte Heizanlage inklusive des Wärmeverteilungssystems betrachtet. Die bei dieser Untersuchung erforderliche Massenermittlung der Komponenten basiert auf den in /11/ verwendeten Daten. Die gesamte Berechnung musste aus Gründen der Vergleichbarkeit für das vorliegende Projekt wiederum nachträglich standardisiert und zum Teil erweitert werden. Hinsichtlich des Energieträgers wurden folgende Varianten der Beheizung untersucht:

- Wärmepumpe
- Heizöl EL
- Erdgas Brennwert Technik
- Holzpellets.

Die für die Berechnung wesentlichen Daten des Einfamilienhauses sind in der Tabelle A 5.2 dargestellt.

Tabelle A 5.2: Daten des Einfamilienhauses

Nutzfläche Einfamilienhaus	150 [m ²]
Wärmebedarf	90 [kWh/(m ² *a)]
Lebensdauer der Anlage	20 [a]
Wärmeverteilungssystem	Fußbodenheizung

Als Wärmeverteilungssystem wurde eine Fußbodenheizung verwendet, da dieses System eine geringe Vorlauftemperatur erfordert und deshalb insbesondere für die Erdgas Brennwert Technik und für die Wärmepumpe geeignet ist.

Der Wärmebedarf des Hauses entspricht den Dämmstandards, der durch die (Länder)Bauvorschriften vorgeschrieben wird.

Die Lebensdauer der gesamten Heizanlage wurde mit 20 [a] angesetzt. Nach dem Ende der Lebensdauer wurde der Austausch der gesamten Anlage vorgesehen. Eine Berücksichtigung der Entsorgung ist nicht erfolgt.

Auf Basis dieser Annahmen erfolgte die Berechnung des Ressourcen Aufwandes in Abhängigkeit der einzelnen Energieträger. Der Ressourcen Aufwand für die „Herstellung“ von thermischer Energie unter Berücksichtigung der gesamten Heizanlage ist in Tabelle A 5.3 bezogen auf 1 [kWh] bzw. in Tabelle A 5.4 bezogen auf 1 [m²*a] (Wohnnutzfläche) dargestellt.

Tabelle A 5.3: Ressourcen Aufwand für die Beheizung eines Einfamilienwohnhauses in Abhängigkeit vom Energieträger bezogen auf 1 [kWh] thermischer Energie

Energieträger	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Wärmepumpe	0,39 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	6,19 [kg/kWh]
Heizöl EL	0,36 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	2,20 [kg/kWh]
Erdgas Brennwert	0,19 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,12 [kg/kWh]
Holzpellets	0,11 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,38 [kg/kWh]

Tabelle A 5.4: Ressourcen Aufwand für die Beheizung eines Einfamilienhauses in Abhängigkeit vom Energieträger bezogen auf 1 [m²*a]

Energieträger	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Wärmepumpe	35,35 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	557,22 [kg/(m ² *a)]
Heizöl EL	31,96 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	197,56 [kg/(m ² *a)]
Erdgas Brennwert	16,78 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	100,69 [kg/(m ² *a)]
Holzpellets	9,70 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	123,84 [kg/(m ² *a)]

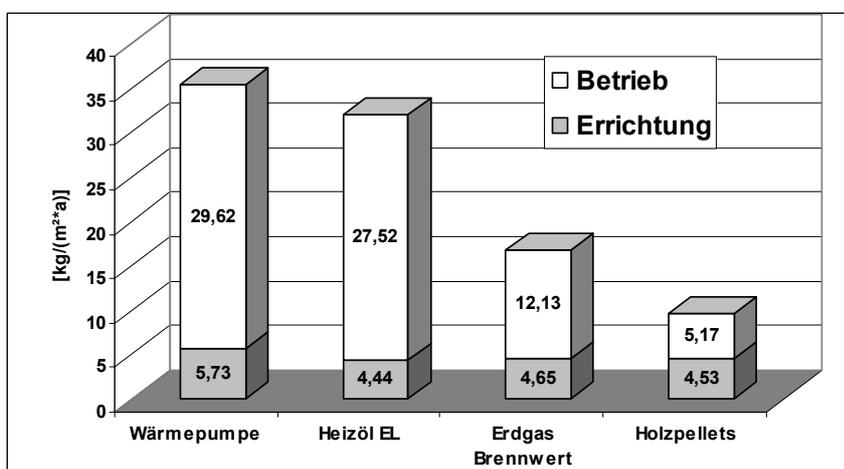
Die beiden Tabellen zeigen, dass das Heizsystem „Wärmepumpe“ die geringste Ressourcen Effizienz aufweist. Berücksichtigt wurden bei der Berechnung die Wärmepumpe, das Wärmeverteilungssystem, der Erdkollector und der Betrieb – elektrische Energie für den Betrieb der Wärmepumpe und für die Umwälzung des Wärmeträgermediums im Wärmeverteilungssystem. Die geringe Ressourcen Effizienz beruht auf dem hohen Ressourcen Aufwand für die Bereitstellung der elektrischen Energie.

Beim Heizsystem Heizöl EL wurden der Ölkessel, die Öltanks (3.000 Liter), das Wärmeverteilungssystem, der Kamin und der Betrieb – elektrische Energie für den Betrieb des Brenners und die Umwälzung des Wärmeträgermediums im Wärmeverteilungssystem sowie der Verbrauch an Heizöl – berücksichtigt.

Beim Heizsystem Erdgas Brennwert wurde die Gastherme, das Wärmeverteilungssystem, der Kamin und der Betrieb – elektrische Energie für die Umwälzung des Wärmeträgermediums im Wärmeverteilungssystem sowie der Verbrauch an Erdgas - berücksichtigt.

Beim Heizsystem Pellets wurde der Pelletsofen samt Austragsvorrichtung, das Wärmeverteilungssystem, der Kamin und der Betrieb – elektrische Energie für die Umwälzung des Wärmeträgermediums und die Zuführung des Brennstoffes berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Berechnungen weisen dieselbe Tendenz wie die Ergebnisse der Berechnungen der Energieträger auf. Dies bedeutet, dass unter den festgelegten Bedingungen der Aufwand für die „Herstellung“ der Energieträger gegenüber dem Aufwand für die Errichtung der Heizanlage offensichtlich dominiert.



Die Ergebnisse der Berechnungen weisen dieselbe Tendenz wie die Ergebnisse der Berechnungen der Energieträger auf. Dies bedeutet, dass unter den festgelegten Bedingungen der Aufwand für die „Herstellung“ der Energieträger gegenüber dem Aufwand für die Errichtung der Heizanlage offensichtlich dominiert.

Abbildung A 5.3: Ressourcen Aufwand (Nicht Nachwachsende Rohstoffe) für die Errichtung und Betrieb der Heizanlage in Abhängigkeit vom Energieträger in [kg/(m²*a)]

In weiterer Folge ist der Ressourcen Aufwand für die Errichtung der gesamten Anlage dem Ressourcen Aufwand für den Betrieb der Heizanlage gegenübergestellt und in Abbildung A 5.3 für die betrachteten Fälle graphisch dargestellt.

Wie aus Abbildung A 5.3 hervorgeht weisen die einzelnen Heizungsanlagen hinsichtlich der Errichtung relativ geringe Unterschiede auf, wobei die Heizungsanlage „Wärmepumpe“ den höchsten Ressourcen Aufwand benötigt. Bemerkenswert ist der Umstand, dass die Errichtung der Anlage „Heizöl EL“ den geringsten Ressourcen Aufwand verursacht.

Auffallend ist der Unterschied der sich durch den Betrieb und hier vor allem durch den Energieträger ergibt. Die Wärmepumpe (Leistungsziffer 3) bedingt einen sehr großen Ressourcen Aufwand, der auf die Verwendung der elektrischen Energie zurückzuführen ist. Einen geringfügig niedrigeren Ressourcen Aufwand benötigt dabei der Betrieb der Heizung mit dem Energieträger Heizöl EL. Erst durch die Verwendung von Erdgas erfolgt eine merkliche Reduzierung, wobei der niedrigste Wert wiederum durch den Energieträger „Holzpellets“ verursacht wird. Bei allen Energieträgern wurde ein Ressourcen Aufwand für die Umwälzung des Wärmeträgermediums im Wärmeverteilungssystem von 2,96 [kg/(m²*a)] berücksichtigt.

Die bisherigen Berechnungen basierten auf einem Haus, mit einem Energiebedarf von 90 [kWh/(m²*a)]. Da im Bereich des Einfamilienhauses vielfach von den Bauherrn Gebäude mit Niederenergiestandard errichtet werden, erfolgt zusätzlich eine Abschätzung der Auswirkungen dieses Dämmstandards, wobei ein Energiebedarf von 45 [kWh/(m²*a)] angenommen wurde.

Hinsichtlich der Errichtung der Heizanlage wurden folgende Annahmen getroffen:

Das Gerät zur Wärmeerzeugung wird für alle Energieträger in einem weiten Bereich mit modulierendem Betrieb eingesetzt, wobei Zentralgeräte meist den Bereich zwischen 3 und 15 [kW] abdecken. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass sich bei einem Haus mit Niederenergiestandard beim Gerät für die Wärmeerzeugung keine Änderungen ergeben.

Hinsichtlich des Wärmeverteilersystems wurden keine Änderung vorgenommen, da insbesondere die Zuleitungen zu den Wärmeabgabegeräten unverändert bleiben.

Beim Betrieb der Anlage ergibt sich eine Änderung, die die Menge des Energieträgers betrifft. Der Aufwand für die Umwälzung des Wärmeträgermediums wurde wieder unverändert gelassen.

Extrapoliert man die Werte für den Betrieb der Heizungsanlage von Abbildung A 5.3 für ein Haus mit einem Energiebedarf von 45 [kWh/(m²*a)] so ergeben sich für den Betrieb der Anlage die in Abbildung A 5.4 dargestellte Situation. In der Abbildung A 5.4 ist zur Verdeutlichung der Ressourcen Aufwand für die Umwälzung des Wärmeträgermediums, der für alle 4 Varianten gleich groß ist, getrennt vom Ressourcen Aufwand der auf den Verbrauch der Energieträger zurückzuführen ist ausgewiesen.

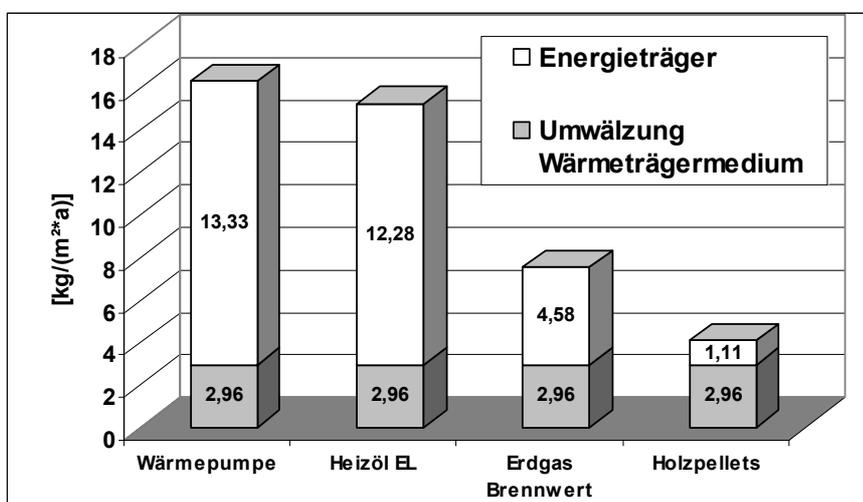


Abbildung A 5.4: Ressourcen Aufwand (Nicht Nachwachsende Rohstoffe) für den Betrieb der Heizanlage in Abhängigkeit vom Energieträger in [kg/(m²*a)], für ein Niedrigenergiehaus mit einem Energiebedarf von 45 [kWh/(m²*a)]

Aus Abbildung A 5.4 ist zu erkennen, dass die Unterschiede zwischen den Heizsystemen durch die Erhöhung des Dämmstandards geringer werden, diese Unterschiede

aber trotzdem noch so groß sind, dass die Wahl des Energieträgers auch im Niederenergiehaus die Ressourcen Effizienz des Heizsystems wesentlich beeinflusst. Die obigen Aussagen für das betrachtete Haus mit einem Energiebedarf von 90 [kWh/(m²*a)] gelten somit qualitativ auch für den Bereich der Niederenergiehäuser.

Wärmeverteilungssysteme

Wie bereits erwähnt wurde aus den oben erläuterten Gründen beim oa. Einfamilienhaus als Wärmeverteilungssystem eine Fußbodenheizung gewählt. Um aber die Unterschiede der einzelnen Wärmeverteilungssysteme darzustellen, wurde in weiterer Folge der Ressourcen Aufwand für die Errichtung der Wärmeverteilungssysteme

- Heizkörper
- Fußbodenheizung
- Sockelleisten Heizkörper

untersucht. Die Massenermittlung für die Berechnung wurde /11/ entnommen und basiert wieder auf dem in Tabelle 1 definierten Standardhaus. Bei allen Systemen wurden neben den „Heizkörpern“ die gesamte Verteilungsanlage inklusive der Verteilungsleitungen berücksichtigt.

Der Ressourcen Aufwand für die Errichtung des Wärmeverteilungssystems ist in Tabelle A 5.5 in absoluten Zahlen und in Tabelle A 5.6 bezogen auf 1 [m²*a] dargestellt. Als Lebensdauer der Wärmeverteilungssysteme wurden wieder 20 [a] angesetzt.

Tabelle A 5.5: Ressourcen Aufwand für die Errichtung verschiedener Wärmeverteilungssysteme in absoluten Zahlen

Wärmeverteilung	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Heizkörper	7.011 [kg]	0 [kg]	34.395 [kg]
Fußbodenheizung	7.673 [kg]	0 [kg]	81.146 [kg]
Sockelleisten	10.436 [kg]	0 [kg]	38.794 [kg]

Tabelle A 5.6: Ressourcen Aufwand für die Errichtung verschiedener Wärmeverteilungssysteme bezogen auf 1 [m²*a] (Wohnnutzfläche)

Wärmeverteilung	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Heizkörper	2,34 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	11,46 [kg/(m ² *a)]
Fußbodenheizung	2,56 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	27,05 [kg/(m ² *a)]
Sockelleisten	3,48 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	12,93 [kg/(m ² *a)]

Bei den Nicht Nachwachsenden Rohstoffen ergibt das Wärmeverteilungssystem „Heizkörper“ den geringsten Ressourcen Aufwand und stellt somit die Ressourcen effizienteste Lösung dar. Hier ist aber hinzuzufügen, dass der Unterschied der einzelnen Varianten untereinander nicht unbedeutend sind, diese Unterschiede bezogen auf das Gesamtsystem Heizung aber keine signifikanten Änderungen bewirken.

Bei der Materie „Wasser“ ergibt die Variante Fußbodenheizung einen sehr hohen Aufwand. Dieser Aufwand wird durch die Verteilungsleitungen aus Verbundwerkstoff verursacht.

Kontrollierte Wohnraumlüftung mit integrierter Wärmerückgewinnung

In weiterer Folge wurde die Ressourcen Effizienz der kontrollierten Wohnraumlüftung mit integrierter Wärmerückgewinnung (KWL) untersucht. Ergebnisse zu diesen Berechnungen wurden in /11/ bereits publiziert, die Berechnungen mussten für das gegenständliche Projekt modifiziert werden, da ua. in /11/ lediglich die Nicht Nachwachsenden Rohstoffe berücksichtigt wurden.

Der Nutzen einer kontrollierten Wohnraumlüftung liegt vorrangig darin einen definierten und aus hygienischer Sicht ausreichenden Luftwechsel zu erreichen, da durch neue Bauweisen die Luftdichtheit der Gebäudehülle so groß ist, dass die über die Fensterfugen erfolgende Lüftung den hygienischen Standards nicht genügt. Dazu wird die Luft aus den Innenräumen abgesaugt und ins

Freie transportiert, während Frischluft von Außen in die Wohnräume eingeblasen wird. Während der Heizperiode ist die Frischluft vor dem Einblasen in die Wohnräume zusätzlich noch zu erwärmen, um negative Folgen wie Zugerscheinung zu vermeiden. Um die Lüftungsbedingten Energieverluste während der Heizperiode zu minimieren, wird ein Wärmetauscher zwischen Fortluft und Frischluft vorgesehen und die thermische Energie der Fortluft auf die Frischluft übertragen. Mit diesem System gelingt die Sicherstellung einer ausreichenden Frischluftzufuhr. Da ein erheblicher Anteil der Energie über einen Wärmetauscher zurückgewonnen wird, werden damit auch die Lüftungsverluste während der Heizperiode deutlich gesenkt.

Als erster Schritt wird daher der Aufwand für die Errichtung und den Betrieb der kontrollierten Wohnraumlüftung ermittelt. Zu diesem Zweck wird für das Einfamilienhaus ein Luftwechsel von 0,5 [1/h] vorausgesetzt. Der Jahreswirkungsgrad der Wärmetauscher wurde mit 65 [%] angenommen. Der Mehrfachnutzen des Systems einerseits Luftwechsel zu garantieren und andererseits in der Heizperiode neben dem Luftwechsel Raumwärme sicherzustellen wurde insofern berücksichtigt, als der Anteil für die Errichtung der Anlage nur mit (7/12) - Anteil Heizperiode am Gesamtjahr – des Gesamtaufwandes festgelegt wurde. Beim Betrieb wurde der gesamte Aufwand während der Heizperiode berücksichtigt.

Hinsichtlich der Energiequelle zur Nachheizung wurde noch zusätzlich zwischen folgenden Varianten unterschieden:

- Integrierte Wärmepumpe
- Nachheizung mittels Elektroregister
- Nachheizung mittels Heizöl EL
- Nachheizung mittels Erdgas
- Nachheizung mittels Holzpellets

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle A 5.7 bezogen auf 1 [kWh] thermische Energie und in Tabelle A 5.8 bezogen auf 1 [m²*a] (Wohnnutzfläche) dargestellt. Für die Anlage wurde eine Lebensdauer von 20 [a] angesetzt.

Tabelle A 5.7: Ressourcen Aufwand für die kontrollierte Wohnraumlüftung in Abhängigkeit vom Energieträger der Nachheizung bezogen auf 1 [kWh] thermischer Energie

Energieträger	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Integr. Wärmepumpe	0,25 [kgWh]	0,00 [kgWh]	4,05 [kgWh]
Elektroregister	0,38 [kgWh]	0,00 [kgWh]	6,66 [kgWh]
Heizöl El	0,27 [kgWh]	0,00 [kgWh]	3,12 [kgWh]
Erdgas Brennwert	0,21 [kgWh]	0,00 [kgWh]	2,75 [kgWh]
Holzpellets	0,18 [kgWh]	0,00 [kgWh]	2,84 [kgWh]

Tabelle A 5.8: Ressourcen Aufwand für die kontrollierte Wohnraumlüftung in Abhängigkeit vom Energieträger der Nachheizung bezogen auf 1 [m²*a] (Wohnnutzfläche)

Energieträger	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Elektroregister	14,34 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	249,68 [kg/(m ² *a)]
Heizöl El	10,01 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	117,13 [kg/(m ² *a)]
Erdgas Brennwert	7,79 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	103,01 [kg/(m ² *a)]
Holzpellets	6,76 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	106,38 [kg/(m ² *a)]

In Tabelle A 5.8 wurde der Wert für die Variante mit integrierter Wärmepumpe nicht angegeben, da durch die integrierte Wärmepumpe mehr thermische Energie zur Verfügung gestellt wird als es den Lüftungsbedingten Wärmeverlusten entspricht. Durch diesen Umstand würde eine Angabe des Ressourcen Aufwandes bezogen auf 1 [kg/(m²*a)] zu verfälschten Ergebnissen führen.

Aus der Tabelle A 5.7 ist zu erkennen, dass die Variante Nachheizung mit Elektroregister den größten Ressourcen Aufwand erfordert. Günstiger sind die Werte, wenn die Nachheizung durch eine integrierte Wärmepumpe erfolgt. Diese beiden Systeme können unabhängig von der Wärmeversorgung des Gebäudes installiert werden, während die unteren 3 Systeme der Tabelle A 5.7 darauf basieren, dass die Nachheizung mit dem Energieträger der Gebäudeheizung erfolgt.

Die Nachheizung mit den Energieträgern „Erdgas“ und „Holzpellets“ ergeben auch bei der kontrollierten Wohnraumlüftung die Ressourcen effizientesten Varianten.

Nachdem der Ressourcen Aufwand für die Errichtung und den Betrieb der KWL in Abhängigkeit vom Energieträger des Nachheizsystems ermittelt wurde, sind diese Ergebnisse jenem Ressourcen Aufwand gegenüber zustellen, der durch herkömmliche Lüftung (Öffnen der Fenster) entsteht. Dieser Aufwand ist in Tabelle A 5.9 auf 1 [m²*a] (Wohnnutzfläche) und in Tabelle A 5.10 auf 1 [kWh] thermischer Energie bezogen.

Tabelle A 5.9: Ressourcen Aufwand für die Abdeckung der lüftungsbedingten Wärmeverluste (Fensterlüftung) in Abhängigkeit vom Energieträger bezogen auf 1 [m²*a]

Energieträger	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Heizöl EL	13,31 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	82,28 [kg/(m ² *a)]
Erdgas Brennwert	6,99 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	41,94 [kg/(m ² *a)]
Holzpellets	4,04 [kg/(m ² *a)]	0,00 [kg/(m ² *a)]	51,58 [kg/(m ² *a)]

Tabelle A 5.10: Ressourcen Aufwand für die Abdeckung der lüftungsbedingten Wärmeverluste (Fensterlüftung) in Abhängigkeit vom Energieträger bezogen auf 1 [kWh]

Energieträger	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Heizöl EL	0,36 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	2,20 [kg/kWh]
Erdgas Brennwert	0,19 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,12 [kg/(m ² *a)]
Holzpellets	0,11 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,38 [kg/(m ² *a)]

Anm: Die Werte der Tabelle A 5.10 entsprechen den Werten der Tabelle A 5.3 .

Aus dem Vergleich der Tabelle A 5.7 und Tabelle A 5.10 lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Die Variante der KWL mit Nachheizung über ein Elektroregister benötigt mehr Ressourcen Aufwand als andere Systeme. Sie verursacht auch einen größeren Ressourcen Aufwand als die herkömmliche Fensterlüftung.
- Wird das Haus mit dem Energieträger „Heizöl EL“ beheizt, so kann durch eine Installation einer KWL mit integrierter Wärmepumpe eine Verbesserung des Gesamtsystems erreicht werden, da der Aufwand für eine KWL mit integrierter Wärmepumpe mit 0,25 [kg/kWh] für die KWL deutlich unter dem Wert von 0,36 [kg/kWh] für Heizöl EL liegt. Rechnet man diese Differenz hoch auf die gesamte Lebensdauer der Anlage, so ergibt sich eine Ressourcen Einsparung an Nicht Nachwachsenden Rohstoffen von 11.245 [kg]. Dies entspricht einer Ressourcen Einsparung die äquivalent einer Menge von 4.462 [kg] Heizöl EL ist.
- Wird das Haus mit dem Energieträger „Heizöl EL“ beheizt, so kann durch Installation einer KWL mit Nachheizung über die Heizanlage ebenfalls eine Verbesserung des Gesamtsystems erreicht werden, da der Aufwand einer KWL mit Nachheizung über Heizöl EL mit 0,27 [kg/kWh] deutlich unter dem Wert von 0,36 [kg/kWh] für Heizöl EL liegt. Rechnet man die Differenz hoch auf die gesamte Lebensdauer der Anlage, so ergibt sich eine Ressourcen Einsparung an Nicht Nachwachsenden Rohstoffen von 10.120 [kg]. Dies entspricht einer Ressourcen Einsparung die äquivalent einer Menge von 4.016 [kg] Heizöl EL ist.
- Wird das Haus mit dem Energieträger „Erdgas Brennwert“ beheizt, so kommt es durch die Installation einer KWL mit Nachheizung über die Heizanlage zu einer Verschlechterung des Gesamtsystems, da der Aufwand einer KWL mit Nachheizung über Erdgas Brennwert mit 0,21 [kg/kWh] über dem Wert von 0,19 [kg/kWh] für Erdgas Brennwert liegt. Rechnet man die Differenz hoch auf die gesamte Lebensdauer der Anlage, so ergibt sich ein zusätzlicher Ressourcen Aufwand an Nicht Nachwachsenden Rohstoffen von 2.249 [kg]. Dies entspricht einem Ressourcen Aufwand der äquivalent einer Menge von 2.367 [m³] Erdgas ist.
- Wird das Haus mit dem Energieträger „Holzpellets“ beheizt, so kommt es durch die Installation einer KWL mit Nachheizung über die Heizanlage ebenfalls zu einer Verschlechterung des Ge-

samtsystems, da der Aufwand einer KWL mit Nachheizung über Holzpellets mit 0,18 [kg/kWh] über dem Wert von 0,11 [kg/kWh] für Holzpellets liegt.

Es ist aber darauf hinzuweisen, dass die Sicherstellung des hygienisch erforderlichen Luftwechsels ohne Einsatz einer KWL also rein auf Fensterlüftung basierend praktisch nicht möglich ist und aus hygienischen Gründen der Einsatz der einer kontrollierten Wohnraumlüftung empfehlenswert ist.

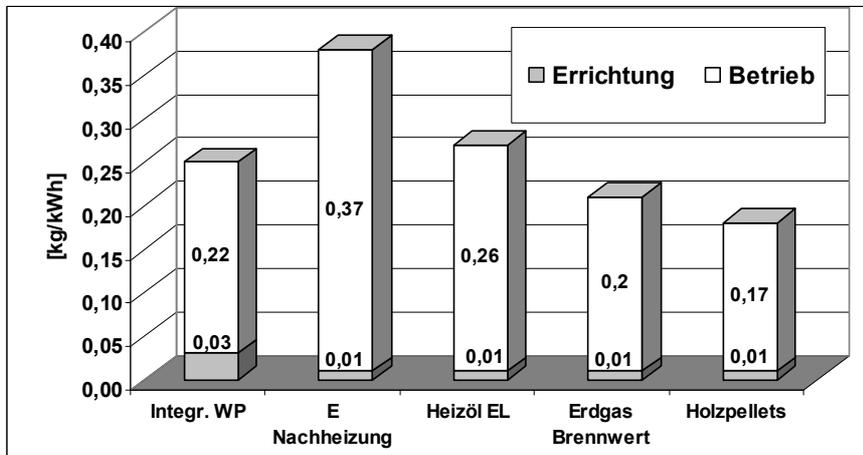


Abbildung A 5.5: Ressourcen Aufwand (Nicht Nachwachsende Rohstoffe) für die Errichtung und Betrieb einer KWL in Abhängigkeit vom Energieträger der Nachheizung in [kg/kWh]

In weiterer Folge wird der Ressourcen Aufwand für eine KWL hinsichtlich der Errichtung und der Nutzungsphase getrennt aufgelistet. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind im Abbildung A 5.5 dargestellt. Wie aus Abbildung A 5.5 zu erkennen ist, ist der Beitrag der Errichtung der Anlage relativ gering und liegt zwischen 2%, bei Nachheizung mittels E Register und 14% bei integrierter Wärmepumpe. Es dominiert der Beitrag der Betriebsphase.

Warmwasserbereitung mittels thermischer Sonnenkollektoren

In weiterer Folge wurde die Ressourcen Effizienz der Warmwasserbereitung mittels thermischer Sonnenkollektoren untersucht. Ergebnisse zu diesen Berechnungen wurden in /11/ bereits publiziert, die Berechnungen mussten für das gegenständliche Projekt modifiziert werden, da ua. in /11/ lediglich die Nicht Nachwachsenden Rohstoffe berücksichtigt wurden. In der Tabelle A 5.11 sind die wesentlichen Daten für die Dimensionierung der Solaranlage aufgelistet.

Tabelle A 5.11: Daten für die Dimensionierung der Solaranlage

Standort	Klagenfurt
Kollektorfläche (Netto)	5,5 [m ²]
Azimut	0 [°]
Warmwasserbedarf	50 [l/(Pers*d)]
Anzahl der Personen	4 [Pers]
Temperatur Warmwasser	45 [°C]
Warmwasserspeicher	550 [l]
Vom Solarsystem erbrachte Energie	2.140 [kWh/a]
Nutzenergie	2.979 [kWh/a]
Deckungsanteil	60 [%]
Lebensdauer der Anlage	20 [a]

Auf Basis der Daten in Tabelle A 5.11 erfolgte die Berechnung des Ressourcen Aufwandes für die thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung in Abhängigkeit des Energieträgers für die Nachheizung.

Der Absorber des Kollektors wurde aus Kupferblech angenommen. Weiters wurde die Verrohrung der Solaranlage entsprechend der ausgeführten Anlagen ebenfalls aus Kupfer festgelegt, da dies derzeit die üblichste Variante der Ausführung ist. Da Kupfer ein Metall ist, welches sehr Ressourcen intensiv ist, wurde als Alternative die Berechnung mit einer Edelstahlverrohrung durchgeführt

und die Auswirkungen auf das Gesamtsystem untersucht. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Abhängigkeit vom Energieträger des Nachheizsystems in Tabelle A 5.12 dargestellt.

Tabelle A 5.12: Ressourcen Aufwand für die Gewinnung von thermischer Energie für thermische Solaranlagen in Abhängigkeit vom Energieträger - Nachheizung bezogen auf 1 [kWh]

Energieträger	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Elektr. Energie	0,62 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	7,38 [kg/kWh]
Heizöl EL	0,41 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,73 [kg/kWh]
Erdgas	0,33 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,22 [kg/kWh]
Holzpellets	0,30 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,34 [kg/kWh]

Aus Tabelle A 5.12 ist zu erkennen, dass der Ressourcen Aufwand für die „Herstellung“ der thermischen Energie umso größer ist je geringer die Ressourcen Effizienz des Nachheizsystems ist. Demzufolge weist eine Solaranlage mit einer Nachheizung mit elektrischer Energie die schlechteste Ressourcen Effizienz auf. Erfolgt die Nachheizung mittels Heizöl EL so ergibt sich eine deutliche Verbesserung. Diese Werte der Tabelle A 5.12 sind mit jenem Ressourcen Aufwand zu vergleichen, den die Heizsysteme zur „Herstellung“ von thermischer Energie (Tabelle A 5.3) benötigen. Zur Verdeutlichung werden diese Werte für Nicht Nachwachsende Rohstoffe in der Tabelle A 5.13 gegenübergestellt.

Tabelle A 5.13: Gegenüberstellung des Ressourcen Aufwandes für Nicht Nachwachsende Rohstoffe für die Gewinnung von thermischer Energie zwischen Thermische Solaranlagen und Heizsystemen in Abhängigkeit vom Energieträger bezogen auf 1 [kWh]

Energieträger	Solaranlagen	Heizsystem
Elektr. Energie	0,62 [kg/kWh]	> 0,80 [kg/kWh]
Heizöl EL	0,41 [kg/kWh]	0,36 [kg/kWh]
Erdgas	0,33 [kg/kWh]	0,19 [kg/kWh]
Holzpellets	0,30 [kg/kWh]	0,11 [kg/kWh]

Aus Tabelle A 5.13 ist ersichtlich, dass thermische Solaranlagen unter den gegebenen Bedingungen grundsätzlich einen größeren Ressourcen Aufwand für die „Herstellung“ von thermischer Energie verursachen als dies das Heizsystem des Hauses verursachen würde. Eine Ausnahme bildet die Elektro Direktheizung. Hier ist die „Herstellung“ der thermischen Energie jedenfalls mit einem größeren Ressourcen Aufwand verbunden als bei einer Solaranlage mit einem Elektroheizstab als Nachheizquelle.

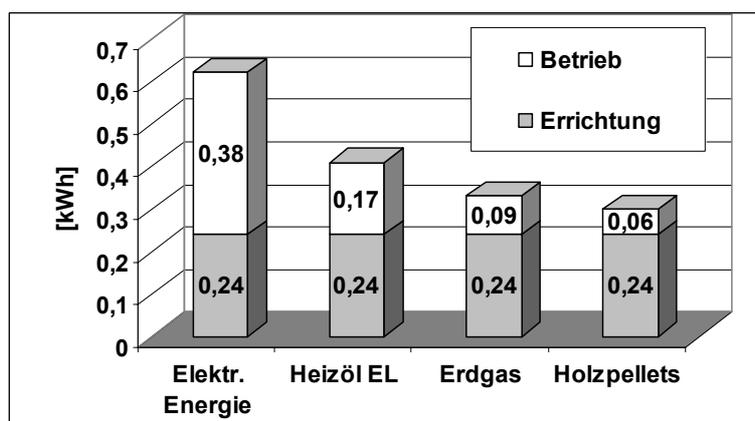


Abbildung A 5.6: Ressourcen Aufwand (Nicht Nachwachsende Rohstoffe) für die „Herstellung“ von thermischer Energie mittels Solaranlagen in Abhängigkeit vom Energieträger der Nachheizung bezogen auf 1 [kWh] unterschieden nach Errichtung und Betrieb

Um diese Situation näher zu durchleuchten, ist in weiterer Folge zu untersuchen, welchen Anteil die Errichtung im Vergleich zum Betrieb der

Solaranlage hat. Die graphische Darstellung der Errichtungs- und Betriebsphase ist in Abbildung A 5.6 dargestellt.

Aus der Abbildung A 5.6 ist zu erkennen, dass der Anteil der Errichtung sehr groß ist und mit Ausnahme bei Nachheizung mittels elektrischer Energie den dominanten Anteil verursacht. Aus dieser Abbildung ist zu erkennen, dass eine wesentliche Verbesserung der Situation durch eine Verringerung des Ressourcen Aufwandes bei der Herstellung der Solaranlage erforderlich ist.

Der Ressourcen Aufwand für die Herstellung ist in Abhängigkeit der Komponenten für Nicht Nachwachsende Rohstoffe in Abbildung A 5.7 dargestellt. Aus Abbildung A 5.7 ist zu erkennen, dass der größte Beitrag von der Komponente „Kollektor“ kommt. Hier ist vor allem das sehr Ressourcen aufwändige Kupfer für den Beitrag verantwortlich. In /11/ ist eine Berechnung durchgeführt worden, wie durch die Verwendung alternativer Materialien beim Kollektor die Ressourcen Effizienz der gesamten Anlage erheblich gesteigert werden kann. Da bei diesem alternativen Kollektor Materialien bzw. Bauweisen verwendet wurden, deren Langzeitbeständigkeit noch ungeklärt ist, wird dieser Aspekt nicht weiter betrachtet.

Bei den Komponenten Speicher, Register und Umwälzpumpe kann mit Ausnahme der Größe, die sich wiederum auf die Auslegung auswirkt, keine Veränderung erzielt werden.

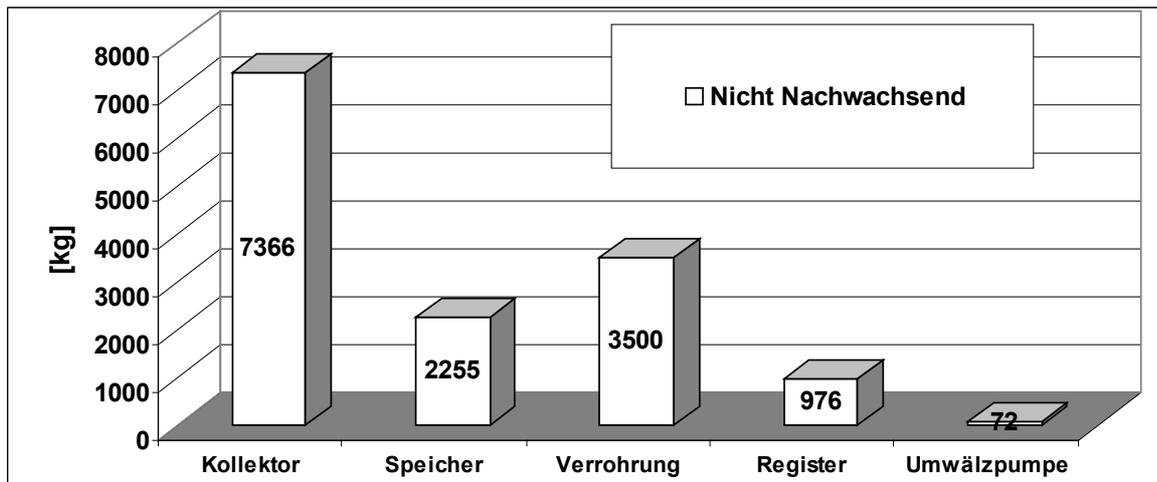


Abbildung A 5.7: Ressourcen Aufwand (Nicht Nachwachsende Rohstoffe) für die Errichtung einer Solaranlagen in Abhängigkeit der Komponenten in [kg]

Eine relativ einfache Variante zur Verringerung des Ressourcen Aufwandes stellt die Verwendung von Edelstahl anstatt Kupfer bei der Verrohrung dar. Edelstahl hat gegenüber Kupfer den Vorteil, dass es mit wesentlich geringerem Ressourcen Aufwand gewonnen werden kann. Die Auswirkung dieser Maßnahme ist in Tabelle A 5.14 dargestellt:

Tabelle A 5.14: Gegenüberstellung des Ressourcen Aufwandes für Nicht Nachwachsende Rohstoffe für die Gewinnung von thermischer Energie zwischen Thermische Solaranlagen mit Verrohrung aus Edelstahl und Heizsystem in Abhängigkeit vom Energieträger bezogen auf 1 [kWh]

Energieträger	Solaranlagen	Heizsystem
Elektr. Energie	0,57 [kg/kWh]	> 0,80 [kg/kWh]
Heizöl El	0,36 [kg/kWh]	0,36 [kg/kWh]
Erdgas	0,28 [kg/kWh]	0,19 [kg/kWh]
Holzpellets	0,24 [kg/kWh]	0,11 [kg/kWh]

Aus Tabelle A 5.14 ist zu erkennen, dass sich die Ressourcen Effizienz durch die Verwendung von Edelstahlrohre wesentlich verbessert hat. Bei Heizöl konnte bereits ein Gleichstand zur Erwärmung mit dem Heizsystem erreicht werden.

Eine weitere Möglichkeit die Ressourcen Effizienz der Anlage zu verbessern ist die Erhöhung der Lebensdauer, da mit der Erhöhung der Lebensdauer mehr (länger) thermische Energie gewonnen werden kann und damit der Anteil der Errichtung in Abbildung A 5.6 gesenkt wird. In weiterer Folge wird daher jene Grenzlebensdauer ermittelt, bei deren Überschreitung die Solaranlage eine höhere Ressourcen Effizienz aufweist als das Heizsystem. Die Berechnung wird für eine Solaranlage mit Edelstahlverrohrung durchgeführt und ist in Abbildung A 5.8 dargestellt.

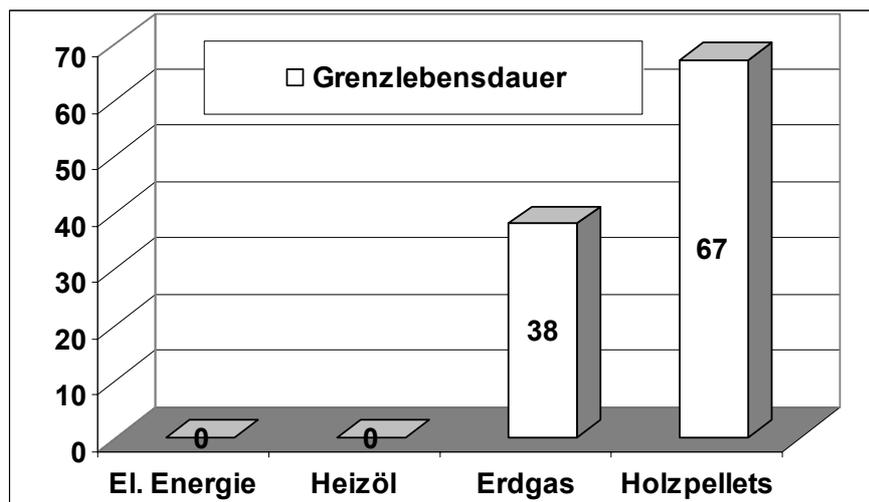


Abbildung A 5.8: Grenzlebensdauer, ab der die Ressourcen Effizienz der Solaranlage größer ist als die der Heizanlage

Wie aus der Abbildung A 5.8 zu erkennen ist, ist eine Solaranlage zur Warmwasserbereitung immer Ressourcen effizienter als eine Warmwasserbereitung mit elektrischer Energie. Erfolgt die Nachheizung mit dem Energieträger „Heizöl“, so ist die Ressourcen Effizienz

gleich hoch wie bei einer Warmwasserbereitung mit dem Heizsystem „Heizöl EL“.

Erfolgt die Nachheizung mit dem Energieträger „Erdgas“, so ergibt sich eine Grenzlebensdauer, also jene Lebensdauer ab der die Solaranlage Ressourcen effizienter arbeitet als das Heizsystem, von 38 [a], während die Grenzlebensdauer bei einer Nachheizung mit dem Energieträger „Holzpellets“ bei 67 [a] liegt.

Aus diesen Werten lässt sich ableiten, dass einerseits noch vermehrte Anstrengungen unternommen werden müssen, um eine Warmwasserbereitung mit Sonnenkollektoren so Ressourcen Effizient wie ein Heizsystem mit Gas Brennwert Technik zu gestalten. Weiters lässt sich ableiten, dass mittelfristig die Ressourcen Effizienz des Heizsystems „Holzpellets“, welches ein ausgesprochen Ressourcen Effizientes Heizsystem ist, mit Sonnenkollektoren nicht zu erreichen ist.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Strategie mittels Sonnenkollektoren Sonnenenergie zu verwerten grundsätzlich sinnvoll ist und weiterverfolgt werden muss, aber noch Maßnahmen zur Erhöhung der Ressourcen Effizienz im Bereich der Warmwasserbereitung erforderlich sind.

A 5.4 Testanlagen

In diesem Kapitel wird die Ressourcen Effizienz von fassadenintegrierten Sonnenkollektoren anhand zweier Testanlagen untersucht und mit der Ressourcen Effizienz von herkömmlichen Sonnenkollektoren zur Warmwasserbereitung verglichen.

Testanlage 1 ist ein fassadenintegrierter Kollektor ohne Hinterlüftung bei einem Zweifamilienhaus in Graz zur solaren Warmwasserbereitung und teilsolaren Raumheizung.

Testanlage 2 ist ein fassadenintegrierter Kollektor ohne Hinterlüftung bei einem Verwaltungsgebäude in St. Veit an der Glan zur solaren Warmwasserbereitung und teilsolaren Raumheizung.

A 5.4.1 Testanlage 1

Bei der Testanlage 1 ist der Kollektor an der Südfassade des Gebäudes auf einer Wandkonstruktion in Leichtbauweise montiert, weist eine Solarlackbeschichtung auf und wird im Low Flow Betrieb mit drehzahl geregelter Pumpe im Kollektorkreis betrieben. In Tabelle A 5.15 sind die technischen Daten der Anlage dargestellt.

Tabelle A 5.15: Technische Daten der Testanlage 1

Kollektorfläche (Brutto)	55 [m ²]
Kollektorfläche (Netto)	50 [m ²]
Kollektorneigung	90 [°]
Azimut	10 [°] Südwest
Schichtspeicher	3.750 [l]
Ertrag der Solaranlage	225,5 [kWh/(m ² *a)]

Der ausgewiesene Ertrag der Solaranlage beruht auf einer Simulation mit einem Simulationsprogramm und wurde von der Arge Erneuerbaren Energie bekannt gegeben.

Das Ziel dieser Arbeit ist es festzustellen, welcher Ressourcen Aufwand für die Gewinnung von thermischer Energie mittels Sonnenkollektoren erforderlich ist. Aus diesem Grunde ist die Systemgrenze beim solarspezifische Teil der Anlage zu ziehen. Es werden also alle Anlagenteile der Anlage vom Kollektor bis zum Pufferspeicher (Schichtspeicher) in der Berechnung berücksichtigt.

Wandaufbauten

Bei der Errichtung von fassadenintegrierten Kollektoren wird ein Teil der äußeren Bauteilschichten des Wandaufbaues durch den Kollektor ersetzt. Dies bedeutet, dass jene Ressourcen, die für die Errichtung dieser ersetzten Schichten erforderlich sind eingespart werden können und dieser Umstand rechnerisch zu berücksichtigen ist. Tabelle A 5.16 zeigt den konventionellen Wandaufbau (Nordfassade) wie er beim Zweifamilienhaus ausgeführt wurde

Tabelle A 5.16: Wandaufbau (Nordfassade)

Nr.	Bauteilschicht	Abmessungen
1	Gipsfaserplatte	15 [mm]
2	Streuschalung	24 [mm]
3	Holzfaserdämmung	50 [mm]
4	Dampfbremse	- [mm]
5	Steinwolle	160 [mm]
6	OSB Platte	15 [mm]
7	Lattung (Hinterlüftung)	50 [mm]
8	Sichtschalung außen	24 [mm]

Der Wandaufbau mit dem fassadenintegrierten Kollektor (Südfassade) ist von der Bauteilschicht 1 bis 5 identisch mit der Nordfassade. Die Bauteilschichten 6 bis 8 werden durch den Kollektor ersetzt, wobei die Bauteilschicht 6 in der Südfassade die Kollektorrückwand darstellt und daher dem Kollektor und nicht der Wand zugerechnet wird.

In der Tabelle A 5.17 ist der Ressourcen Aufwand für die Errichtung der Nordfassade, der Errichtung der Südfassade (ohne Kollektor) und die Differenz zwischen beiden Wandaufbauten dargestellt.

Tabelle A 5.17: Spezifischer Ressourcen Aufwand für die Errichtung der Fassaden

Fassade	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Nordfassade	82,33 [kg/m ²]	74,10 [kg/m ²]	931,90 [kg/m ²]
Südfassade o. Kollektor	50,64 [kg/m ²]	5,66 [kg/m ²]	427,05 [kg/m ²]
Differenz	31,69 [kg/m²]	68,44 [kg/m²]	504,85 [kg/m²]

Es ist zu erkennen, dass ein Ersetzen der konventionellen Fassade (Nordfassade) durch die Fassade mit Kollektorwand eine Einsparung an Nicht Nachwachsenden Rohstoffen von 31,69 [kg/m²], bei Nachwachsenden Rohstoffen eine Einsparung von 68,44 [kg/m²] und bei Wasser zu einer Einsparung von 504,85 [kg/m²] bewirkt. Bei der Tabelle A 5.17 sind bei der Südfassade die Bauteilschichten 1 bis 6 gemäß Tabelle A 5.16 berücksichtigt worden, der Kollektor selbst wird getrennt berechnet und berücksichtigt.

Reduzierung der Wärmeverluste

Durch die solare Einstrahlung kommt es im Absorber des Kollektors zu einem Anstieg der Temperatur. Die betrachteten Kollektoren sind ohne Hinterlüftung ausgeführt, dadurch kann der Temperaturanstieg im Absorber für eine Verminderung der Wärmeverluste genutzt werden wodurch es in weiterer Folge zu einer Einsparung an Heizenergie kommt. Diese solaren Gewinne sind bei der Ermittlung der Ressourcen Effizienz der Anlage zu berücksichtigen. Die Einsparung an Heizenergie wurde aufgrund der von der Arge Erneuerbare Energie zur Verfügung gestellten Daten ermittelt

und ist in der Tabelle A 5.18 dargestellt. Wie zu ersehen ist, kommt es bei der Testanlage 1 zu einer Reduzierung der Transmissions Wärmeverluste von 30 [%].

Tabelle A 5.18: Reduzierung der Wärmeverluste bei der Südfassade des Gebäudes

Wärmeverlust ohne Berücksichtigung der thermischen Gewinne durch Kollektoren	12,60 [kWh/(m ² *a)]
Einsparung durch Kollektor	3,73 [kWh/(m ² *a)]
Wärmeverlust mit Berücksichtigung der Einsparung durch Kollektor	8,87 [kWh/(m ² *a)]

Kollektor

Der Kollektor besteht aus einem Holzrahmen mit einer OSB Platte als Rückwand. An die zwischenliegende Dämmung schließt der Absorber an, der aus Aluminiumprofilen hergestellt ist. In die Aluminiumprofile sind Kupferrohre eingepresst. Die Sammelrohre im Kollektor sind ebenfalls aus Kupfer hergestellt. Nach Außen wird der Kollektor von einer 4 mm dicken Glasplatte abgeschlossen, die mit einer Glasabdeckleiste am Holzrahmen befestigt ist. Hinsichtlich der Ressourcen Effizienz der Materialien ist festzuhalten, dass insbesondere (primäres) Kupfer sehr Ressourcen intensiv ist. Sekundäres Kupfer, dh. aus einem Recyclingprozess gewonnenes Kupfer, ist hingegen wesentlich Ressourcen effizienter. Für die Berechnung wurde eine Recyclingrate von 50 [%] angenommen. Bei Aluminium verhält es sich grundsätzlich ähnlich, hier wurde eine Recyclingrate von 30 [%] angenommen. In der Tabelle A 5.19 ist der Ressourcen Aufwand für die Herstellung des Kollektors dargestellt.

Tabelle A 5.19: Ressourcen Aufwand für die Herstellung des Kollektors bezogen auf 1 [m²] Bruttokollektorfläche

Bauteil	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Absorber	154,76 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	2.502,95 [kg/m ²]
Absorberrohre	399,68 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	287,77 [kg/m ²]
Sammelrohre	73,17 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	52,68 [kg/m ²]
Glasabdeckleiste	56,64 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	884,79 [kg/m ²]
Glasabdeckung	30,40 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	170,60 [kg/m ²]
Holzrahmen	1,20 [kg/m ²]	8,34 [kg/m ²]	16,61 [kg/m ²]
Rückwand	11,64 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	196,56 [kg/m ²]
Dämmung	4,36 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	43,33 [kg/m ²]
Summe	731,85 [kg/m²]	8,34 [kg/m²]	4.155,29 [kg/m²]

Es ist ersichtlich, dass der spezifische Ressourcen Aufwand - Herstellung des Kollektors für die Nicht Nachwachsenden Rohstoffe 731,85 [kg/m²], für die Nachwachsenden Rohstoffe 8,34 [kg/m²] und für Wasser 4.155,29 [kg/m²] beträgt. Die Werte sind jeweils auf die Bruttokollektorfläche bezogen. Betrachtet man die Nicht Nachwachsenden Rohstoffe, so dominiert hier der Beitrag der Absorberrohre, gefolgt vom Absorber. Diese beiden Komponenten verursachen ca. 75 [%] des Ressourcen Aufwandes.

Herstellung der Gesamtanlage

In weiterer Folge wird der Ressourcen Aufwand für die Herstellung der Gesamtanlage ermittelt. Die Werte sind in Tabelle A 5.20 dargestellt.

Tabelle A 5.20: Ressourcen Aufwand für die Herstellung der gesamten Anlage

Bauteil	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Differenz NF zu SF	- 1.743 [kg]	- 3.764 [kg]	- 27.767 [kg]
Kollektor	40.252 [kg]	459 [kg]	228.541 [kg]
Rohrleitungen	12.355 [kg]	0 [kg]	18.192 [kg]
Schichtspeicher	4.732 [kg]	0 [kg]	31.851 [kg]
Ausdehnungsgefäß	474 [kg]	0 [kg]	3.033 [kg]
Armaturen	7.698 [kg]	0 [kg]	5.311 [kg]
Flüssigkeit	20 [kg]	0 [kg]	131 [kg]
Summe	63.789 [kg]	- 3.305 [kg]	259.292 [kg]

In der Tabelle A 5.20 wurde neben den einzelnen Komponenten der gesamten Anlage die Ersparnis an Ressourcen bei der Ausführung der Wandkonstruktionen gemäß Tabelle A 5.17 berücksichtigt. Da es sich hier um eine Einsparung an Ressourcen handelt, ist der Wert in der Tabelle mit negativem Vorzeichen zu berücksichtigen. Wie aus der Tabelle A 5.20 ersichtlich ist, trägt bei den nachwachsenden Rohstoffen der Kollektor dominant zum Ressourcen Aufwand bei.

Betrieb der Anlage

Beim Betrieb der Anlage wurde der Ressourcen Aufwand für die Elektrische Energie der Umwälzpumpe sowie die Einsparung an Ressourcen durch die Verminderung der Wärmeverluste über die Kollektorverluste berücksichtigt. Als Energieträger für die Raumwärme wurde Heizöl EL genommen, da dieser Energieträger den größten Marktanteil an der Raumwärmeversorgung hat. Die Ergebnisse der Berechnung sind in der Tabelle A 5.21 zusammen gefasst. Wie aus der Tabelle A 5.21 hervorgeht, kommt es durch die Reduzierung der Wärmeverluste zu einer erheblichen Reduzierung der des Ressourcen Aufwandes der Betriebsphase.

Tabelle A 5.21: Ressourcen Aufwand für den Betrieb der Solaranlage in [kg/a]

	Nicht nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Betrieb Umwälzpumpe	213 [kg/a]	0 [kg/a]	0 [kg/a]
Einsparung Wärmeverluste	63 [kg/a]	0 [kg/a]	236 [kg/a]
Differenz	150 [kg/a]	0 [kg/a]	- 236 [kg/a]

Zusammenfassung Testanlage 1

Zur Beurteilung der Ressourcen Effizienz der gesamten Anlage ist diese auf den Nutzen – der gelieferten thermischen Energie - zu beziehen. Für die Ermittlung des Ressourcen Aufwandes zur „Herstellung“ von 1 [kWh] thermischer Energie wurde die Lebensdauer der Solaranlage mit 20 [a] angesetzt. Darüber hinaus wurde die Lebensdauer der Wandkonstruktion mit 60 [a] angesetzt. Das Ergebnis der Ermittlung ist in Tabelle A 5.22 dargestellt.

Tabelle A 5.22: Ressourcen Aufwand zur „Herstellung“ von thermischer Energie mit der Testanlage 1 bezogen auf 1 [kWh] thermischer Energie

	Nicht nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Errichtung	0,29 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,23 [kg/kWh]
Nutzung	0,01 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	-0,02 [kg/kWh]
Summe	0,30 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,21 [kg/kWh]

Wie aus der Tabelle A 5.22 zu erkennen ist, wird nahezu der gesamten Ressourcen Aufwand durch die Errichtung der Anlage verursacht. Die Nutzung der Anlage verursacht nahezu einen verschwindenden Ressourcen Aufwand. Daraus ist zu erkennen, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourcen Effizienz bei der Errichtung der Anlage ansetzen müssen.

Der Ressourcen Aufwand für die Bereitstellung der thermischen Energie mit fassadenintegrierten Sonnenkollektoren ist in weiterer Folge mit dem Ressourcen Aufwand von herkömmlichen Solaranlagen zur Warmwasserbereitung zu vergleichen. Dieser Vergleich ist in Tabelle A 5.23 durchgeführt.

Tabelle A 5.23: Vergleich Ressourcen Aufwand herkömmlicher Solaranlagen und Testanlage 1 in [kg/kWh]

	Nicht nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Herkömmliche Anlage	0,62 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	7,38 [kg/kWh]
Testanlage 1	0,30 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	1,21 [kg/kWh]
Effizienz Faktor	2,06	1	6,09

Wie aus der Tabelle A 5.23 ersichtlich ist, ergibt die Testanlage 1 eine erheblich bessere Ressourcen Effizienz als herkömmliche Solaranlagen zur Warmwasserbereitung. Hinsichtlich der Nicht Nachwachsenden Rohstoffe ist die Testanlage 1 um den Faktor 2,06 Ressourcen effizienter und hinsichtlich der Materie Wasser sogar um den Faktor 6,09.

A 5.4.2 Testanlage 2

Bei der Testanlage 2 ist der Kollektor an der Südfassade des Gebäudes auf eine Ziegelwand montiert. In Tabelle A 5.24 sind die technischen Daten der Anlage dargestellt.

Tabelle A 5.24: Technische Daten der Testanlage 2

Kollektorfläche (Brutto)	25 [m ²]
Kollektorfläche (Netto)	24 [m ²]
Kollektorneigung	90 [°]
Azimut	0 [°] Südwest
Speicher	750 [l]
Ertrag der Solaranlage	194,3 [kWh/(m ² *a)]

Der in Tabelle A 5.24 ausgewiesene Ertrag der Solaranlage beruht auf einer Simulation mit einem Simulationsprogramm und wurde von der Arge Erneuerbaren Energie bekannt gegeben. Der Vergleich mit der Tabelle A 5.15 zeigt, dass der thermische Ertrag bei der Testanlage 2 um ca. 14 [%] geringer ist als bei Testanlage 1.

Das Ziel dieser Arbeit ist es festzustellen, welcher Ressourcen Aufwand für die Gewinnung von thermischer Energie mittels Sonnenkollektoren erforderlich ist. Aus diesem Grunde ist die Systemgrenze beim solarspezifische Teil der Anlage zu ziehen. Es werden also alle Anlagenteile der Anlage vom Kollektor bis zum Speicher in der Berechnung berücksichtigt.

Wandaufbauten

Bei der Errichtung von fassadenintegrierten Kollektoren wird ein Teil der äußeren Bauteilschichten des Wandaufbaues durch den Kollektor ersetzt. Dies bedeutet, dass jene Ressourcen, die für die Errichtung dieser ersetzten Schichten erforderlich sind eingespart werden können und dieser Umstand rechnerisch zu berücksichtigen ist. Tabelle A 5.25 zeigt den konventionellen Wandaufbau wie er beim Verwaltungsgebäude ausgeführt wurde

Tabelle A 5.25: Wandaufbau Verwaltungsgebäude

Nr.	Bauteilschicht	Abmessungen
1	Innenputz	15 [mm]
2	Stahlbeton	250 [mm]
3	Steinwolle	80 [mm]
4	Eternit	8 [mm]

Der Wandaufbau mit dem fassadenintegrierten Kollektor unterscheidet sich von dem Wandaufbau in Tabelle A 5.25 insofern, als anstatt Stahlbeton Hochlochziegel (250 mm) verwendet wurde. Auf die Ziegelwand wird der Kollektor direkt montiert. In der Tabelle A 5.26 ist der Ressourcen Aufwand für die Errichtung der Nordfassade, der Errichtung der Südfassade (ohne Kollektor) und die Differenz zwischen beiden Wandaufbauten dargestellt.

Tabelle A 5.26: Spezifischer Ressourcen Aufwand für die Errichtung der Fassaden

Fassade	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Wandaufbau	867,51 [kg/m ²]	18,88 [kg/m ²]	2.331,99 [kg/m ²]
Wandaufbau bei Kollektor	479,16 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	1.311,84 [kg/m ²]
Differenz	388,35 [kg/m²]	18,88 [kg/m²]	1.020,15 [kg/m²]

Aus der Tabelle A 5.26 ist zu erkennen, dass ein Ersetzen der konventionellen Fassade durch die Fassade mit Kollektorwand eine Einsparung an Nicht Nachwachsenden Rohstoffen von 388,35 [kg/m²], bei Nachwachsenden Rohstoffen eine Einsparung von 18,88 [kg/m²] und bei Wasser zu einer Einsparung von 1.020,15 [kg/m²] bewirkt. Diese Einsparung ist erheblich größer als bei der Testanlage 1, da mit der Stahlbetonwand ein sehr Ressourcen intensiver Bauteil durch eine Ziegelwand ersetzt wurde. Der Kollektor selbst ist bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt worden, dies erfolgt in einem getrennten Schritt.

Reduzierung der Wärmeverluste

Durch die solare Einstrahlung kommt es im Absorber des Kollektors zu einem Anstieg der Temperatur. Die betrachteten Kollektoren sind ohne Hinterlüftung ausgeführt, dadurch kann der Temperaturanstieg im Absorber für eine Verminderung der Wärmeverluste genutzt werden wodurch es in weiterer Folge zu einer Einsparung an Heizenergie kommt. Diese solaren Gewinne sind bei der Ermittlung der Ressourcen Effizienz der Anlage zu berücksichtigen. Die Einsparung an Heizenergie wurde aufgrund der von der Arge Erneuerbare Energie zur Verfügung gestellten Daten ermittelt und ist in der Tabelle A 5.27 dargestellt.

Tabelle A 5.27: Reduzierung der Wärmeverluste bei der Südfassade des Gebäudes

Wärmeverlust ohne Berücksichtigung der thermischen Gewinne durch Kollektoren	34,05 [kWh/(m ² *a)]
Einsparung durch Kollektor	15,02 [kWh/(m ² *a)]
Wärmeverlust mit Berücksichtigung der Einsparung durch Kollektor	19,03 [kWh/(m ² *a)]

Wie aus der Tabelle A 5.27 zu ersehen ist, kommt es bei der Testanlage 2 zu einer Reduzierung der Transmissions Wärmeverluste von 44 [%]. Ein Vergleich mit der Testanlage 1 zeigt, dass prozentuell gesehen bei der Testanlage 2 mehr Energie eingespart werden kann, durch den schlechteren k Wert der Testanlage jedoch absolut gesehen größere Wärmeverluste auftreten.

Kollektor

Der Kollektor besteht aus einem Holzrahmen mit einer Pressspanplatte als Rückwand. An die zwischenliegende Dämmung schließt der Absorber an, der aus einem Kupferblech hergestellt ist. Auf den Kupferabsorber sind Kupferrohre aufgeschweißt. Die Sammelrohre im Kollektor sind ebenfalls aus Kupfer hergestellt. Nach Außen wird der Kollektor von einer 4 mm dicken Glasplatte abgeschlossen, die mit einer Glasabdeckleiste am Holzrahmen befestigt ist. Hinsichtlich der Ressourcen Effizienz der Materialien ist festzuhalten, dass insbesondere (primäres) Kupfer sehr Ressourcen intensiv ist. Sekundäres Kupfer, dh. aus einem Recyclingprozess gewonnenes Kupfer, ist hingegen wesentlich Ressourcen effizienter. Für die Berechnung wurde eine Recyclingrate von 50 [%] angenommen. Bei Aluminium verhält es sich grundsätzlich ähnlich, hier wurde eine Recyclingrate von 30 [%] angenommen. In der Tabelle A 5.28 ist der Ressourcen Aufwand für die Herstellung des Kollektors dargestellt.

Tabelle A 5.28: Ressourcen Aufwand für die Herstellung des Kollektors bezogen auf 1 [m²] Bruttokollektorfläche

Bauteil	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Absorber	540,49 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	389,15 [kg/m ²]
Absorberrohre	214,97 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	154,78 [kg/m ²]
Sammelrohre	45,26 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	32,58 [kg/m ²]
Glasabdeckleiste	8,52 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	757,98 [kg/m ²]
Glasabdeckung	30,40 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	170,60 [kg/m ²]
Holzrahmen	2,23 [kg/m ²]	15,48 [kg/m ²]	30,83 [kg/m ²]
Rückwand	11,64 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	196,56 [kg/m ²]
Dämmung	7,20 [kg/m ²]	0,00 [kg/m ²]	71,50 [kg/m ²]
Summe	900,70 [kg/m²]	15,48 [kg/m²]	1.803,97 [kg/m²]

Wie aus der Tabelle A 5.28 hervorgeht, beträgt der spezifische Ressourcen Aufwand - Herstellung des Kollektors für die Nicht Nachwachsenden Rohstoffe 900,70 [kg/m²], für die Nachwachsenden Rohstoffe 15,48 [kg/m²] und für Wasser 1.803,97 [kg/m²]. Die Werte sind jeweils auf die Bruttokollektorfläche bezogen.

Betrachtet man die Nicht Nachwachsenden Rohstoffe, so dominiert hier der Beitrag des Absorbers und der Absorberrohre. Diese beiden Komponenten verursachen ca. 83 [%] des Ressourcen Aufwandes. Ein Vergleich mit dem Kollektor von der Testanlage 1 zeigt, dass die Errichtung des Kollektors der Testanlage 1 um ca. 20 [%] Ressourcen effizienter ist. Dies ist auf die Verwendung von Aluminium als Absorbermaterial zurückzuführen.

Herstellung der Gesamtanlage

In weiterer Folge wird der Ressourcen Aufwand für die Herstellung der Gesamtanlage ermittelt. Die Werte sind in Tabelle A 5.29 dargestellt.

Tabelle A 5.29: Ressourcen Aufwand für die Herstellung der gesamten Anlage

Bauteil	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Differenz NF zu SF	- 9.594 [kg]	- 466 [kg]	- 25.202 [kg]
Kollektor	22.247 [kg]	382 [kg]	44.558 [kg]
Rohrleitungen	14.415 [kg]	0 [kg]	21.224 [kg]
Schichtspeicher	2.574 [kg]	0 [kg]	17.513 [kg]
Ausdehnungsgefäß	209 [kg]	0 [kg]	1.338 [kg]
Armaturen	7.397 [kg]	0 [kg]	4.305 [kg]
Flüssigkeit	26 [kg]	0 [kg]	171 [kg]
Summe	37.274 [kg]	- 84 [kg]	63.907 [kg]

In der Tabelle A 5.29 wurde neben den einzelnen Komponenten der gesamten Anlage die Ersparnis an Ressourcen bei der Ausführung der Wandkonstruktionen gemäß Tabelle A 5.26 berücksichtigt. Da es sich hier um eine Einsparung an Ressourcen handelt, ist der Wert in der Tabelle mit negativem Vorzeichen zu berücksichtigen. Wie aus der Tabelle A 5.29 ersichtlich ist, trägt bei den Nachwachsenden Rohstoffen der Kollektor dominant zum Ressourcen Aufwand bei.

Betrieb der Anlage

Beim Betrieb der Anlage wurde der Ressourcen Aufwand für die Elektrische Energie der Umwälzpumpe sowie die Einsparung an Ressourcen durch die Verminderung der Wärmeverluste über die Kollektorverluste berücksichtigt. Als Energieträger für die Raumwärme wurde Heizöl EL genommen, da dieser Energieträger den größten Marktanteil an der Raumwärmeversorgung hat. Die Ergebnisse der Berechnung sind in der Tabelle A 5.30 zusammen gefasst. Wie aus der Tabelle A 5.30 hervorgeht, kommt es durch die Reduzierung der Wärmeverluste zu einer erheblichen Reduzierung der des Ressourcen Aufwandes für den Betrieb der Anlage.

Tabelle A 5.30: Ressourcen Aufwand für den Betrieb der Solaranlage in [kg/a]

	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Betrieb Umwälzpumpe	126 [kg/a]	0 [kg/a]	0 [kg/a]
Einsparung Wärmeverluste	78 [kg/a]	0 [kg/a]	296 [kg/a]
Differenz	48 [kg/a]	0 [kg/a]	- 296 [kg/a]

Zusammenfassung Testanlage 2

Zur Beurteilung der Ressourcen Effizienz der gesamten Anlage ist diese auf den Nutzen – der gelieferten thermischen Energie - zu beziehen. Für die Ermittlung des Ressourcen Aufwandes zur „Herstellung“ von 1 [kWh] thermischer Energie wurde die Lebensdauer der Solaranlage mit 20 [a] angesetzt. Darüber hinaus wurde die Lebensdauer der Wandkonstruktion mit 60 [a] angesetzt. Das Ergebnis der Ermittlung ist in Tabelle A 5.31 dargestellt.

Tabelle A 5.31: Ressourcen Aufwand zur „Herstellung“ von thermischer Energie mit der Testanlage 1 bezogen auf 1 [kWh] thermischer Energie

	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Errichtung	0,47 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	0,87 [kg/kWh]
Nutzung	0,01 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	-0,06 [kg/kWh]
Summe	0,48 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	0,81 [kg/kWh]

Wie aus der Tabelle A 5.31 zu erkennen ist, wird nahezu der gesamte Ressourcen Aufwand durch die Errichtung der Anlage verursacht. Die Nutzung der Anlage verursacht nahezu einen verschwindenden Ressourcen Aufwand. Daraus ist sofort zu erkennen, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourcen Effizienz bei der Errichtung der Anlage ansetzen müssen. Zur besseren Beurteilung der Ressourcen Effizienz der Anlage wird der Wert für die Testanlage 2 mit der Ressourcen Effizienz einer herkömmlichen Solaranlage zur Warmwasserbereitung verglichen.

Tabelle A 5.32: Ressourcen Aufwand von Heizanlage für Einfamilienhäuser und der Testanlage 1 in [kg/kWh]

	Nicht Nachwachsend	Nachwachsend	Wasser
Herkömmliche Anlage	0,62 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	7,38 [kg/kWh]
Testanlage 1	0,47 [kg/kWh]	0,00 [kg/kWh]	0,81 [kg/kWh]
Effizienz Faktor	1,32	1	9,11

Wie aus der Tabelle A 5.32 ersichtlich ist, ergibt die Testanlage 2 eine erheblich bessere Ressourcen Effizienz als herkömmliche Solaranlagen zur Warmwasserbereitung. Hinsichtlich der Nicht Nachwachsenden Rohstoffe ist die Testanlage 2 um den Faktor 1,32 Ressourcen effizienter und hinsichtlich der Materie Wasser sogar um den Faktor 9,11.

Literaturliste

- /1/ „Die Wachstumsmaschine Der ökonomische Charme der Ökologie“; Lehner, Schmidt – Bleek, Droemer Verlag ,1999
- /2/ „Produktentwicklung Nutzen gestalten – Natur schonen“; Schmidt –Bleek, Tischner, WIFI Broschüre 270
- /3/ „Das MIPS Konzept Weniger Naturverbrauch – mehr Lebensqualität durch Faktor 10“, Schmidt – Bleek, Droemer Verlag 1998
- /4/ www.ecodesogn-beispiele.at
- /5/ „Die Grenzen des Wachstums - Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit“; Meadows et. al., Deutsche Verlagsanstalt, 2000
- /6/ „Wachstum ohne Grenzen – Globaler Wohlstand durch nachhaltiges Wirtschaften“; Boost, Fiala, Springer Verlag 2001
- /7/ „Energievorräte und mineralische Rohstoffe: Wie lange noch?“; Zeman, Hrsg, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Band 12, Verlag der ÖAW, 1998
- /8/ „Die neuen Grenzen des Wachstums“; Meadows et.al., Rowohlt Sachbuch, 1998
- /9/ „Wieviel Umwelt braucht der Mensch“
- /10/ „Faktor 4 – Doppelter Wohlstand halber Naturverbrauch“; E.U.von Weizsäcker, Lovins, Lovins, Droemer Verlag 1996
- /11/ „Klagenfurt Innovation – Neue Wege einer umweltgerechten Produktgestaltung“, Schmidt Bleek, Manstein, Alekto Verlag, 1999
- /12/ „MAIA Einführung in die Material Intensitäts Analyse nach dem MIPS Konzept“, Schmidt – Bleek et.al., Birkhäuser Verlag 1998
- /13/ „Österreichs Zukunft nachhaltig gestalten“, Hrsg. Österreichische Bundesregierung, 2001
- /14/ „Die Performance Gesellschaft: Chancen und Risiken beim Übergang zur Service Economy“; Girarini, Stahel, Metropolis Verlag, 2000
- /15/ „Access Das Verschwinden des Eigentums“; Rifkin, Droemer Verlag 2001

A 6. Tätigkeitsbericht

A 6.1 Kick-Off-Meeting

Das Kick-off Meeting des Projekts wurde am 1. Februar 2000 im Bürogebäude der AEE INTEC mit allen Projektpartnern in Gleisdorf abgehalten.



Haus der Zukunft

FASSKO



Tagesordnung

Kick-off Meeting: Projekt Fassadenkollektor

Datum: 1. Februar 2000, 10:00 bis 17:00 Uhr

Ort: AEE, Gleisdorf

Teilnehmer:

Gebhard Bertsch / GB, DOMA

Herr Roland Grubelnig / GR, GOT

Dipl.-Ing. Walter Leiler / WL, TB-Leiler

Dipl.-Ing. Gottfried Purkarthofer / GP, AEE – Gleisdorf

Ing. Werner Weiß / WW, AEE - Gleisdorf

10:00 h	<p>Vertrag mit dem Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr</p> <ul style="list-style-type: none"> - Übersicht: Inhalte, Zuständigkeiten, Termine und Änderungen gegenüber dem Erstantrag - Forschungsschilling der Unternehmen - Know-how Transfer Veranstaltungen - Subvertrag AEE – TB – Leiler <p>Bericht über den Kick-off Workshop „Haus der Zukunft“ in Wien</p>	WW
11:30 h	<p>Inhalte und Ziele der FFF-finanzierten Projekte der Unternehmen</p> <p>Abstimmung der FFF-Projekte mit dem vorliegenden gemeinsamen Projekt</p> <p>Kooperationspunkte, Vorbehalte, Firmen-Know-how</p>	GB, GR
12:00 h	Mittagspause	
13:30 h	<p>Diskussion des Arbeitsprogrammes und des Zeitplanes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detaillierung des Arbeitsprogrammes des 1. Jahres - Festlegung von Zwischenterminen 	WW, GP
17:00 h	Geplantes Ende	

A 6.2 Architektenbefragung und- workshop

Die Architektenbefragung in Form einer Fragebogenerhebung wurde im ersten Halbjahr 2000 durchgeführt. Nach der Auswertung der Erhebung wurde ein Workshop mit Architekten am 25. März 2000 in Salzburg abgehalten, um die Ergebnisse zu diskutieren und zu verifizieren.

Die Zielsetzung und Auswertung der Architektenbefragung sind im Anhang 2 enthalten.



Haus der Zukunft

FASSKO



AEE
Arbeitsgemeinschaft
Erneuerbare Energie

ARCHITEKTEN-WORKSHOP

FASSADENINTEGRATION VON SONNENKOLLEKTOREN



Programm:

- | | |
|---------|--|
| 09:30 h | Anmeldung und Kennenlernen der Teilnehmer bei einer Tasse Kaffee oder Tee |
| 10:00 h | Begrüßung |
| 10:05 h | Ziele und Inhalte des Projektes |
| | Möglichkeiten der Kooperation mit Architekten im Rahmen der Pilotprojekte |
| | <i>Ing. Werner Weiß, AEE, Gleisdorf</i> |
| 10:30 h | Ergebnisse einer Erhebung von bisher realisierten Fassadenkollektoranlagen |
| | <i>Dipl.-Ing. Gottfried Purkarthofer, Ing. Werner Weiß, AEE, Gleisdorf</i> |
| 11:00 h | Bautechnische und baurechtliche Aspekte |
| | Bauvorschriften, Normen sowie Brand- und Schallschutzanforderungen |

	<i>Dipl.-Ing. Walter Leiler, TB-Leiler, Wien</i>
11:30 h	Ergebnisse einer österreichweiten Fragebogenerhebung bei Entscheidungsträgern <i>Dipl.-Ing. Walter Leiler, TB-Leiler, Wien</i>
12:00 h	Mittagspause
13:30 h	Fassadenkollektorsysteme aus der Sicht der Hersteller Normgrößen kontra architektonische Flexibilität <i>Gebhard Bertsch, DOMA Solartechnik GmbH, Satteins</i> <i>Roland Grubelnig, GreenONEtec, Ebental</i>
14:00 h	Diskussion der Vorträge Insbesondere sollen dabei folgende Fragestellungen geklärt werden <ul style="list-style-type: none"> • Ästhetisch-funktionale Anforderungen von Seiten der Architektur • Möglichkeiten der Standardisierung hinsichtlich Abmessungen • Anschluss technik an Fenster, Dach und die konventionelle Gebäudehülle
16:00 h	Ende des Workshop

ARCHITEKTEN-WORKSHOP
FASSADENINTEGRATION VON SONNENKOLLEKTOREN
TEILNEHMERLISTE AM 25. MÄRZ 2000
HOTEL ROSENBERGER, SALZBURG

Gebhard Bertsch, DOMA Solartechnik	Sonnenstraße 1, 6822 Satteins
Doris Holler, Holler KG	Hauptstraße 29, 2304 ORTH
Ing. Walter Leiler, TB Leiler	Brunnengasse 12/15, 1160 WIEN
Arch. Friedrich Öttl, TU Wien	Maria Treugasse 3/15, 1080 WIEN
Gert Pabstmann, Architekturbüro Nussmüller	Zinsendorfgasse 1, 8010 GRAZ
Mag. Arch. Helmut Poppe, Poppe&Prehar	Stahenbergstraße 33, 4020 LINZ
Dipl.-Ing. Gottfried Purkarthofer, AEE	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF
Ing. Reichholf, Bauplanung Ges.m.b.H.	Obere Siedlung 210, 5724 STUHLFELDEN
Dipl.-Ing. Irene Stadler, AEE	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF
Ing. Werner Weiß, AEE	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF

A 6.3 Know-How-Transfer-Seminar

Am 2. Februar 2001 wurde das Know-How-Transfer-Seminar im Hotel Europa in Graz durchgeführt. Den mehr als 40 Teilnehmern wurden am Vormittag die zu diesem Zeitpunkt wichtigsten Erkenntnisse aus dem Projekt präsentiert.

Eine Exkursion zur Testanlage in Graz rundete das Programm ab. Der Architekt des Gebäudes und die Solartechnikfirma, welche die Kollektoren lieferte, standen vor Ort zur Beantwortung der Fragen der Seminarteilnehmern zur Verfügung.



AEE Arbeitsgemeinschaft
ERNEUERBARE ENERGIE

KNOW-HOW-TRANSFER-SEMINAR

FASSADENINTEGRATION VON THERMISCHEN SONNENKOLLEKTOREN

Am 2. Februar 2001 im Hotel Europa in Graz (Bahnhofgürtel 89, gegenüber Graz Hauptbahnhof)

Programm:

- 9:45 h **Anmeldung und Kennenlernen der Teilnehmer bei einer Tasse Kaffee oder Tee**
- 10:00 h Begrüßung
- 10:05 h Ziele und Inhalte des Projektes
Ing. Werner Weiß, AEE, Gleisdorf
- 10:20 h Architektonische und bautechnischen Aspekte von Fassadenkollektoranlagen
Ing. Werner Weiß, AEE, Gleisdorf
- 10:45 h Auswirkungen von Fassadenkollektoren auf den Wärmetransport durch Wände
Dipl.-Ing. Irene Stadler, AEE, Gleisdorf
- 11:10 h Dimensionierung von Fassadenkollektoranlagen
Einstrahlungsprofil in die Fassade, notwendige Kollektorfläche in der Fassade
Dipl.-Ing. Irene Stadler, AEE, Gleisdorf
- 11:35 h Kollektor- und Anlagenhydraulik
Ing. Werner Weiß, AEE, Gleisdorf
- 12:00 h Diskussion der Vorträge
- 12:30 h Mittagspause**
- 14:00 h Exkursion zur Pilotanlage in Graz,
Besichtigung und Diskussion mit dem Architekten
- 15:30 h Ende des Workshops**

Tabelle A 6.1: Teilnehmerliste des Know-How-Transfer-Seminars am 2. Februar 2001 im Hotel Europa in Graz

TITEL	VORNAME	NAME	FIRMA	STRASSE	PLZ	ORT
	Gebhard	Bertsch	DOMA Solartechnik	Sonnenstraße 1	A-6822	Satteins
	Ernst	Bertsch	DOMA Solartechnik	Sonnenstraße 1	A-6822	Satteins
	Robert	Buchinger	Gattringer GmbH	Groißgraben 7	A-4360	Grein
	Harald	Dehner		Fischergasse 31/5	A-4600	Wels
DI	Christof	Flucher	Ing.Büro Windenergie	Johh.Freumbichler Weg 3	A-5020	Salzburg
	Erwin	Gattringer	Gattringer GmbH	Groißgraben 7	A-4360	Grein
	Robert	Habersack	ÖKO Tech	Asperngasse 16	A-8020	Graz
DI	Helmut	Hafner	the cube	Hauptplatz 9	A-8510	Stainz
	Gottfried	Halbrainer		Vorlacken 6	A-8753	Dietersdorf
	Gerald	Jungreithmayr	SOLUTION	Im Öko-und Gewerbe- parkzentrum	A-4560	Kirchdorf
Komm.Rat	Gerhard	Korkisch		Auhofstraße 120a	A-1130	Wien
Arch.DI	Elisabeth	Lechner	Arch.Büro Lechner	Elisabethstraße 3	A-8010	Graz
	Sebastian	Maierhofer	arsenal research	Faradaygasse 3	A-1030	Wien
DI	Peter	Markart	GREENoneTEC	Welsbachstraße 4	A-9065	Ebental
Ing.	Renate	Meyer	HOLLOMEY & Partner	Richard Wagnergasse 20	A-8010	Graz
Ing.	Manfred	Nestelbacher	MC & D	Stubalpenstraße 22	A-8720	Knittelfeld
	Franz	Niederl	Energie & Bäderwelt Reisinger	Tulwitzviertl 45	A-8163	Fladnitz
	Gert	Pabstmann	Arch.Büro Nussmüller	Zinzendorggasse 1	A-8010	Graz
	Andreas	Pesendorfer		Lindbach Habergstraße 1	A-4663	Laakirchen
DI	Helga	Rally	LandesEnergieVerein Stmk.	Burggasse 8	A-8010	Graz
	Robert	Rosenfelder	RORO Consulting & Engineering	Lessingstraße 85	A-8010	Graz
	Christian	Rubin	DOMA Solartechnik	Röckelbrunnstraße 43	A-5020	Salzburg
	Ferdinand	Rupp	S.O.L.I.D. GesmbH	Herrgottwiesgasse 188	A-8055	Graz
Ing.	Peter	Scheiblhofer	O.Ö.Energiesparverba nd	Landstraße 45	A-4020	Linz
	Guido	Scheucher	SÖB & SUN	Grazer Straße 31	A-8480	Mureck
	Maximilian	Schinnerl	SOLAR GES.M.B.H.	Bach 8	A-4223	Katsdorf
	Erik	Schrott	DOMA Solartechnik	Röckelbrunnstraße 43	A-5020	Salzburg
Ing.	Günther	Schwärzler	ÖAR Regionalberatung GesmbH	Weiglasse 19/26	A-1150	Wien
Ing.	Arthur	Sief	SIKO ENERGIESYS- TEME	Rotholzerweg 14	A-6200	Jenbach
	Hans	Soder	Teufel & Schwarz	Achenweg 3	A-6353	Going
DI	Roland	Sommer	TIG	Grillparzerstraße 7	A-1010	Wien
	Uwe	Sorgmann	Austria Email AG	Austriastraße 6	A-8720	Knittelfeld
DI	Irene	Stadler	AEE	Feldgasse 19	A-8200	Gleisdorf
Ing.	Robert	Stiefmüller	Stiefmüller Hohenauer Partner	Luna 67	A-6250	Kundl
	Isabella	Suppan	SÖB & SUN	Grazer Straße 31	A-8480	Mureck
Dr.	Lyubov	Trifonova	NIMH-Sofia	Tzarigradsko Shousse 66	BG-1784	Sofia
Komm.Rat	Gerhard	Vökl	G.Vökl Gesellschaft mbH	Scheiterbodenstraße 16- 20	A-8700	Leoben
	Harald	Weihtrager	SOLAR GES.M.B.H.	Bach 8	A-4223	Katsdorf
Ing.	Werner	Weiß	AEE	Feldgasse 19	A-8200	Gleisdorf
Ing.	Alexander	Wieser	Teufel & Schwarz	Achenweg 3	A-6353	Going
Ing.	Martin	Winkler	Winkler Solarsysteme GmbH	Runastraße 39	A-6800	Feldkirch
Arch.DI	Manfred	Woisetschläger		Neubaugasse 7/32	A-1070	Wien
	Franz	Wünscher	Energie & Bad Studio	Triester Straße 63	A-8020	Graz
	Walter	Zischka	S.O.L.I.D. GesmbH	Herrgottwiesgasse 188	A-8055	Graz

A 6.4 Schlusseminar

Am 1.März 2002 wurde das Schlusseminar des Projekts im Hotel Europa in Graz abgehalten. Den mehr als 70 Teilnehmern wurden die wesentlichen Inhalte des Projekts, die Vorgangsweisen zur Erreichung der Ziele des Projekts und schließlich der ermittelten Ergebnisse präsentiert.



SEMINAR

FASSADENKOLLEKTOREN – ENERGIE AUS DER FASSADE

Am 1. März 2002 im Hotel Europa in Graz (Bahnhofgürtel 89, gegenüber Graz Hauptbahnhof)

Programm:

- 9:45 h** **Anmeldung und Kennenlernen der Teilnehmer bei einer Tasse Kaffee oder Tee**
- 10:00 h Begrüßung vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
- 10:10 h Ziele und Inhalte des Projektes
Ing. Werner Weiß, AEE INTEC, Gleisdorf
- 10:20 h Architektonische und bautechnischen Aspekte von Fassadenkollektoranlagen;
Kollektor- und Anlagenhydraulik
Ing. Werner Weiß, AEE INTEC, Gleisdorf
- 10:45 h Dimensionierung von Fassadenkollektoranlagen:
Einstrahlung in die Fassade, benötigte Kollektorfläche, Auswirkungen von Fassadenkollektoren auf den Wärmetransport durch Wände
Dipl.-Ing. Irene Bergmann, AEE INTEC, Gleisdorf
- 11:15 h Bauphysikalische Aspekte von Fassadenkollektoranlagen:
Vermeidung von Wärmebrücken bei der Konstruktion von Fassadenkollektoranlagen;
Feuchtigkeit in der Wandkonstruktion mit Fassadenkollektor ohne Hinterlüftung
Dr. Karl Höfer, Technisches Büro für Bauphysik, Gleisdorf
- 12:00 h Diskussion
- 12:30 h** **Mittagspause**
- 14:00 h Messergebnisse der Testanlagen:
Temperatur und Feuchtigkeit im Wandquerschnitt, Einstrahlung in die Fassade, Verbrauchsdaten
Dipl.-Ing. Irene Bergmann, AEE INTEC, Gleisdorf
- 14:30 h Erfahrungen aus dem Projekt; Wirtschaftlicher Aspekt von Fassadenkollektoranlagen
Gebhard Bertsch, AKS DOMA Solartechnik, Bludesch
- 14:50 h Erfahrungen aus dem Projekt
Vertreter der Firma ,GREENoneTEC Solarindustrie GmbH, St. Veit
- 15:10 h Diskussion
- 15:30 h** **Ende des Workshop**

Tabelle A 6.2: Teilnehmerliste des Schlussseminars "Fassadenkollektoren – Energie aus der Fassade" am 1.3.2002 im Hotel Europa, Graz

DI Manuela Alber Arch. Büro Alber	Kierlingerstraße 136/2/6, 3400 KLOSTERNEUBURG
Josef Auer	8224 KAINDORF 98
Christian Bartu Solaranlagen, Gas, Wasse, Heizung	Friedensiedlung 11, 2563 POTTENSTEIN
DI Irene Bergmann AEE INTEC	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF
Gebhard Bertsch AKS DOMA	Sonnenstraße 1, 6822 SATTEINS
DI Alfred Brunnhofer Team "creativ"	Gartenstraße 39, A-9545 RADENTHEIN
DI Harald Dehner ASIC	Durisolstraße 7, 4600 WELS
DI Judith Eder	Franz-Josef-Strasse 25, 2130 MISTELBACH
Susanne Eder Architekturbüro Paul Prinz	Kendlerstraße 34, 1140 WIEN
Martin Ellmer	Peter Rosegger Straße 115/7/31, 8052 GRAZ
Werner Findenig	Hauptstraße 64, 9125 MITTLERN-KÜHNSDORF
Karl Heinz Fladenhofer	Grasbergstraße 39, 8020 GRAZ
Hans Forschner Forschner Haustechnik	2272 RINGELSDORF 17
Jakob Fuchs	Dorfstraße 76, 8430 TILLMITZ
Horst Fuchs	2491 NEUFELD
Ing. Rudolf Großauer Fa. Großauer	8212 PISCHELSDORF 412
Mag. Katharina Guschelbauer AEE NÖ/Wien	Bahngasse 46, 2700 WR. NEUSTADT
Robert Habersack ÖKOTECH	Asperngasse 16, 8020 GRAZ
DI Dr. Karl Höfler	Nitscha 20, 8200 GLEISDORF
DI Wilhelm Hofbauer Bauphysik	Penzinger Straße 58, 1140 WIEN
Bernhard Hofmann Nilats Leitungshavariendienst GmbH	Schindlau 33/34, 4160 AIGEN
Josef Holler Krobath KG	Grazerstraße 35, 8330 FELDBACH
DI Ulrike Horvath-Oroszy	Wetterturmstraße 41 A, 8061 ST. RADEGUND
Dietrich Huck MIKON + Co	Franzendorf 2, 9072 LUDMANNSDORF
Ing. Hermann Juritsch Berufsschule Spittal/Drau	Litzelhofenstraße 17, 9800 SPITTAL/DRAU
Ing. Herbert Karner Planungsbüro f. Haustechnik	Steyrergasse 103, 8010 GRAZ
Dkfm Franz Kinner	Brunnerstraße 22, 2700 WR. NEUSTADT
Harald Kirchlechner	Stiegengasse 9, 8010 GRAZ
DI Gerhard Klöckl	Kernstockweg 9, 8130 FROHNLEITEN
Ing. Hermann Kogler Neue Heimat GmbH	Wastinagasse 7, 8010 GRAZ
DI Elmar Korschitz	Maßwegerstraße 129, 8724 SPIELBERG
Franz Krautsack Fa. Krautsack	Hubertusweg 25, 7531 KEMETEN
Hubert Kuhn Solartechnik	3932 WARNUNGS 4
Max Lauer Joanneum Research	Elisabethstraße 5/I, 8010 GRAZ
Ing. Franz Leitner Leitner GMBH	Dorfnerstraße 7, 3390 MELK
Ing. Günter Leitner	Bahnstraße 85, 7151 WALLERN
Johann Mader	Schrems 26, 8163 FLADNITZ
Josef Makolm	Hinter Zollamtstraße 4, 1033 WIEN
DI Peter Markart GREENoneTEC	Industriepark St. Veit, 9300 ST. VEIT/GLAN
Harald Mitterhammer	Niederschöckelstraße 103, 8044 WEINITZEN
DI Thomas Müller AEE INTEC	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF
Mag. Rudolf Neumayer	Weichselgasse 11, 2111 HARMSDORF
Ing. Gerd Pendl BM Leitner GmbH	Schönaugasse 4, 8010 GRAZ
Ing. Eduard Platzer Amt d. Stmk. LR	Burgggasse 9/I, 8010 GRAZ
Heinz Ploi Krobath KG	Grazerstraße 35, 8330 FELDBACH
Werner Posch BBRZ Stmk.	Paula Wallisch Platz 1, 8605 KAPFENBERG
Thomas Radner Haustechnik OEG	Mitterweg 1, 4694 OHLSDORF

H. Reinisch	SWT GmbH	Steinfeldgasse 69, 8020 GRAZ
Ing. Martin Ringhofer	TB Riebenbauer	Kernstockstraße 8/7, 8243 PINGGAU
Ing. Anton Salzmann	Salzmann Ing.Büro	A.Kaufmannstraße 5, 6900 BREGENZ
Michael Schalk	Haustechnik OEG	Mitterweg 1, 4694 OHLSDORF
Guido Scheucher	SÖB & SUN	Ulzstraße 1, 8480 MURECK
DI Rudolf Schmidt	Bramac Dachsysteme	Bramacstraße 9, 3380 PÖCHLARN
Gerhard Schmidt	Energie-Schmidt	Grazerstraße 59, 8665 LANGENWANG
DI Christoph Schmölzer		Preit Äcker Weg 3/14, 8071 HAUSMANNSTÄTTEN
Karl Schuster	Karl Schuster Immobilien	Schörglergasse 10, 8010 GRAZ
BM.Ing. Paul Schweitzer		Wienerstraße 68, 2340 MÖDLING
Ing. Arthur Sief	SIKO Energiesysteme	Rotholzerweg 14, 6200 JENBACH
Christine Sölkner		Händlerstraße 28, 8010 GRAZ
DI Dr. Reinhard Steindl	Leitner GMBH	Dorfnerstraße 7, 3390 MELK
Thomas Steindl		9932 INNERVILLGRATEN 90C
Rosa-Magdalena Stranzl	AEE INTEC	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF
Ing. E. Strasser	SUNHAUS-Solarenergietechnik	Bösendürbach 38, 3473 MÜHLBACH
Isa Suppan	SÖB & SUN	Ulzstraße 1, 8480 MURECK
DI Ottokar Thurner	Bau Sztriberny	Plescherken 41, 9074 KEUTSCHACH
Rudolf Wallner		St. Dionysendstraße 36, 8600 OBERAICH
Dr. Peter Weiss		Strauchergasse 12a, 8020 GRAZ
Ing. Werner Weiss	AEE INTEC	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF
Johann Wöllinger	SolarpleXX Marketing	Hafenstraße 47-51, 4020 LINZ
DI Manfred Woisetschläger		Neubaugasse 7/32, 1070 WIEN
Ing. Erich Wrentschur		Josefweg 45 H, 8043 GRAZ
Franz Wünscher	Energi & Bad Studio	Triester Straße 63, 8020 GRAZ
DI Karl Ziegerhofer	Herbitschek GmbH	Kirchenviertel 142, 8673 RATTEN
DI Theo Zillner	BMVIT	Rosengasse 4, 1014 WIEN
Werner Zottelhofer		Letermayergasse 4, 1170 WIEN

A 6.6 Veranstaltungen und Vorträge

Tabelle 6.1: Nationale und internationale Veranstaltungen, bei denen über das Projekt FASSKO berichtet wurde

Datum	Veranstaltung	Veranstalter	Ort
30.03.01	Tagung Solare Raumheizung	AEE INTEC	Wirtschaftskammer Graz, Österreich
03.04.01	Industry Workshop und Experts Meeting der Task 26 des Solar Heating and Cooling Program der Internationalen Energieagentur (IEA-SHC)	TNO Building and Construction Research	Delft, Niederlande
08.05.2001	Symposium "Haus der Zukunft" 7.-8. Mai 2001	BMVIT	Wien, Österreich
09.05.2001	11. Symposium Thermische Solarenergie, 9-11. Mai 2001, Staffelstein, OTTI	OTTI Energie Kolleg	Staffelstein, Deutschland
10.10.2001	IEA SHC-TASK 26 Industry Workshop	SPF – Institut für Solartechnik Prüfung Forschung, Hochschule Rapperswil	Rapperswil, Schweiz
11.10.2001	4. Fachtagung „Energie und Architektur“: Optimierte Solarsysteme	SIR - Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen	Salzburg, Österreich
16.02.2002	Internationales Symposium für energieeffiziente Architektur Tri 2002	AKS DOMA Solartechnik, Stromaufwärts Photovoltaik GmbH, Drexel und Weiss GmbH	Bregenz, Österreich