

Projektleitung:

Prof. Dr. Peter Heck

Erstellt von:

Diplom Betriebswirt (FH) Thomas Anton

In Zusammenarbeit mit:

Dipl.-Ing. (FH) Torben Kistner

Machbarkeitsstudie:

Prüfung zur technischen Machbarkeit sowie der Wirtschaftlichkeit einer Installation von Solarwasser- und Solarluftkollektoren zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung im Bodelschwingh Zentrum Meisenheim

Mit freundlicher Unterstützung des:



Ministerium für
Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
Rheinland-Pfalz

Birkenfeld, November 2007

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

Inhaltsverzeichnis

I.	Abbildungsverzeichnis	III
II.	Tabellenverzeichnis.....	VI
III.	Abkürzungsverzeichnis	VIII
1	Einführung.....	1
1.1	Ausgangslage	2
1.2	Zielsetzung	2
2	Grundlagen.....	4
2.1	Solarkollektoren	4
2.1.1.1	Flachkollektoren.....	5
2.1.1.2	Solarluftkollektoren	6
3	Machbarkeitsstudie: Bodelschwingh Zentrum	8
3.1	Ist-Analyse der Gebäude	10
3.1.1	Bodelschwingh Zentrum	11
3.1.2	Haus 1, „Haus Schlossblick“	15
3.1.3	Haus 2, „Haus an der Hecke“	17
3.1.4	Haus 4, Wirtschaftshof.....	19
3.1.5	Haus 6, Heizwerk.....	20
3.1.6	Haus 7 „Haus an der Brücke“, Haus 9 „Haus am Zaun“, Haus 11 „Haus an der Tanne“, Haus 17 „Haus am Tunnel“	21
3.1.7	Haus 8, Diakonie-Werkstätten	25
3.1.8	Haus 10, Verwaltung, Metzgerei/Küche, Cafeteria.....	27
3.1.9	Haus 12, Kapelle und Turnhalle	30
3.1.10	Haus 13, „Haus an den Steinen“, Haus 15, „Haus am Turm“	32
3.1.11	Haus 14, Schwimmhalle	35
3.1.12	Haus 16, Schule	37

3.1.13	Haus 18, „Haus an der Schaukel“	39
3.1.14	Haus 20, „Haus am Wald“	41
3.2	Auslegung und Simulation der Solaranlagen.....	43
3.2.1	Anlagenauslegung für Solarluftkollektoren mit Luftkuss	43
3.2.2	Anlagenauslegung für Solarwasserkollektoren mit T*SOL	47
3.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	50
4	Zusammenfassung und Ausblick	67
IV.	Glossar	XI
V.	Quellenverzeichnis	XII
VI.	Anlagenverzeichnis	XV

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - prinzipieller Aufbau eines Flachkollektors	5
Abbildung 2 - Aufbau eines unterströmten Luftkollektors	6
Abbildung 3 - Größenverhältnisse von Luftkanal- und Wasserleitungsquerschnitt bei vergleichbarer Wärmetransportleistung	7
Abbildung 4 - Übersichtskarte des Bodelschwingh Zentrums Meisenheim	8
Abbildung 5 - Satellitenbild des Bodelschwingh Zentrums Meisenheim	9
Abbildung 6 - Kostenverteilung beim Einsatz von RLT-Anlagen über zehn Jahre	13
Abbildung 7 - Satellitenbild Haus 1	16
Abbildung 8 - Südseite Haus 1	16
Abbildung 9 - Technikraum Haus 1	16
Abbildung 10 - Außenwand Haus 1 (mögliche Rohrverlegung)	16
Abbildung 11 - Satellitenbild Haus 2	18
Abbildung 12 - Südseite Haus 2	18
Abbildung 13 - Technikraum Haus 2 (Bild 1)	18
Abbildung 14 - Technikraum Haus 2 (Bild 2)	18
Abbildung 15 - Außenwand Haus 2 (mögliche Rohrverlegung)	19
Abbildung 16 - Satellitenbild Haus 4	20
Abbildung 17 - Außenansicht Haus 4	20
Abbildung 18 - Satellitenbild Haus 6	20
Abbildung 19 - Satellitenbild Haus 7	21
Abbildung 20 - Satellitenbild Haus 9	21
Abbildung 21 - Satellitenbild Haus 11	22
Abbildung 22 - Satellitenbild Haus 17	22
Abbildung 23 - Technikraum Haus 7, 9, 11 und 17 (Bild 1)	22
Abbildung 24 - Technikraum Haus 7, 9, 11 und 17 (Bild 2)	22
Abbildung 25 - Außenwand Haus 7 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)	23
Abbildung 26 - Außenwand Haus 11 (mögliche Rohrverlegung in den Kellerraum)	23

Abbildung 27 - Satellitenbild Haus 8	25
Abbildung 28 - Dachansicht Haus 8.....	25
Abbildung 29 - Technikraum Haus 8.....	26
Abbildung 30 - Technikraum 2 Haus 8.....	26
Abbildung 31 - Außenwand Haus 8 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum 2).....	26
Abbildung 32 - Satellitenbild Haus 10	28
Abbildung 33 - Dach Haus 10 (Verwaltung)	28
Abbildung 34 - Technikraum Haus 10 (Bild 1)	28
Abbildung 35 - Technikraum Haus 10 (Bild 2)	28
Abbildung 36 - Außenwand Cafeteria, Gaststätte	29
Abbildung 37 - Außenwand Cafeteria, Gaststätte und Küche.....	29
Abbildung 38 - Außenwand Haus 10 (Bereich Anlieferung).....	29
Abbildung 39 - Satellitenbild Haus 12	31
Abbildung 40 - Dachansicht Haus 12 (Bild 1)	31
Abbildung 41 - Dachansicht Haus 12 (Bild 2)	31
Abbildung 42 - Außenwand Haus 12 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum).....	31
Abbildung 43 - Satellitenbild Haus 13	32
Abbildung 44 - Satellitenbild Haus 15	32
Abbildung 45 - Technikraum Haus 13 und 15 (Bild 1)	33
Abbildung 46 - Technikraum Haus 13 und 15 (Bild 2)	33
Abbildung 47 - Außenwand Haus 13 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum).....	33
Abbildung 48 - Außenwand Haus 15 (mögliche Rohrverlegung in den Kellerraum)	33
Abbildung 49 - Satellitenbild Haus 14	35
Abbildung 50 - westl. Außenwand Haus 14 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)	35
Abbildung 51 - Technikraum Haus 14 (Bild 1)	36
Abbildung 52 - Technikraum Haus 14 (Bild 2)	36
Abbildung 53 - Satellitenbild Haus 16	37

Abbildung 54 - Dach Haus 16	37
Abbildung 55 - Technikraum Haus 16 (Bild 1)	38
Abbildung 56 - Technikraum Haus 16 (Bild 2)	38
Abbildung 57 - Versorgungsschacht Haus 16 (außen)	38
Abbildung 58 - Versorgungsschacht Haus 16 (innen).....	38
Abbildung 59 - Außenwand Haus 16 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum).....	38
Abbildung 60 - Satellitenbild Haus 18	39
Abbildung 61 - Dach Haus 18	39
Abbildung 62 - Technikraum Haus 18	40
Abbildung 63 - Abstellraum neben Technikraum Haus 18	40
Abbildung 64 - nördl. Außenwand Haus 18 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)	40
Abbildung 65 - Satellitenbild Haus 20	41
Abbildung 66 - Dach Haus 20	41
Abbildung 67 - Technikraum Haus 20	42
Abbildung 68 - südl. Außenwand Haus 20 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)	42
Abbildung 69 - Screenshot LUFTIKUSS - Allgemeine Daten.....	43
Abbildung 70 - Screenshot LUFTIKUSS - Wärmebedarf	45
Abbildung 71 - Screenshot LUFTIKUSS - Auslegungskriterien	46
Abbildung 72 - Auswahldialog T*SOL	48
Abbildung 73 - prognostizierte Wärmekostenentwicklung (Solarluftanlage)	64
Abbildung 74 - prognostizierte Wärmekostenentwicklung (Solarwasseranlage)	65

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Lüftungsdaten Haus 1	17
Tabelle 2 - Lüftungsdaten Haus 2	19
Tabelle 3 - Lüftungsdaten Haus 7	23
Tabelle 4 - Lüftungsdaten Haus 9	24
Tabelle 5 - Lüftungsdaten Haus 11	24
Tabelle 6 - Lüftungsdaten Haus 17	25
Tabelle 7 - Lüftungsdaten Haus 8	27
Tabelle 8 - Lüftungsdaten Haus 10	30
Tabelle 9 - Begriffe der Lüftungstechnik	30
Tabelle 10 - Lüftungsdaten Haus 12	32
Tabelle 11 - Lüftungsdaten Haus 13	34
Tabelle 12 - Lüftungsdaten Haus 15	34
Tabelle 13 - Lüftungsdaten Haus 14	36
Tabelle 14 - Lüftungsdaten Haus 16	39
Tabelle 15 - Lüftungsdaten Haus 18	41
Tabelle 16 - Lüftungsdaten Haus 20	42
Tabelle 17 - Berechnung des U-Wertes der Gebäude des Bodelschwingh Zentrums.....	44
Tabelle 18 - T*SOL Daten	49
Tabelle 19 - Zusammenfassung Angebot Grammer (Solarluft).....	50
Tabelle 20 - Zusammenfassung eigene Kalkulation zur WW-Bereitung (Solarwasser)....	51
Tabelle 21 - Zusammenfassung Angebot WIGA zur Frischwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Solarwasser)	51
Tabelle 22 - Wirtschaftlichkeitsprognose Haus 1 (Grammer und eigene Kalkulation)	53
Tabelle 23 - Strompreisentwicklung für die nächsten 10 Jahre	54
Tabelle 24 - Reihenfolge der wirtschaftlich sinnvollsten Solaranlagen (Angebot Grammer)	56
Tabelle 25 - Reihenfolge der ökologisch sinnvollsten Solaranlagen (Angebot Grammer)	57

Tabelle 26 - Reihenfolge der wirtschaftlich sinnvollsten Solaranlagen (eigene Kostenkalkulation).....	58
Tabelle 27 - statische Amortisationszeit der Solarwasseranlagen (eigene Kostenkalkulation).....	59
Tabelle 28 - Reihenfolge der ökologisch sinnvollsten Solaranlagen (eigene Kostenkalkulation).....	60
Tabelle 29 - Reihenfolge der wirtschaftlich sinnvollsten Solaranlagen (Angebot WIGA) ..	61
Tabelle 30 - statische Amortisationszeit der Solarwasseranlagen (Angebot WIGA).....	62
Tabelle 31 - Reihenfolge der ökologisch sinnvollsten Solaranlagen (Angebot WIGA)	62
Tabelle 32 - Preissteigerungsraten für Energieträger	63

III. Abkürzungsverzeichnis

CO ₂	Kohlendioxid
KfW	KfW Bankengruppe (früher: Kreditanstalt für Wiederaufbau)
OMR	Oil Market Report
RLT-Anlage	Raumluftechnische Anlage
HHS	Holzhackschnitzel
GbR	Gesellschaft bürgerlichen Rechts

1 Einführung

Ein Drittel der gesamten Primärenergie wird in Deutschland für die Raumheizung und Warmwasserbereitung aufgewendet.¹ Die Deckung dieses Bedarfs wird überwiegend (83 %²) durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Erdöl, Erdgas und Kohle realisiert. Dabei werden große Mengen an Kohlendioxid (CO₂) freigesetzt, welche den Treibhauseffekt fördern.

Eine Möglichkeit, diese Emissionen zu senken, ist die Nutzung von Solarthermie. Bei dieser Art der Nutzung von Erneuerbarer Energie wird die Sonnenstrahlung in Wärme umgewandelt. Anschließend dient diese der Warmwasserbereitung und der Raumheizung.

Das Einsparpotenzial soll anhand des folgenden Beispiels verdeutlicht werden:

Eine Standard-Solaranlage zur Wärmeengewinnung mit ca. 6 m² Kollektorfläche, welche eine vollständige Beheizung mit Öl als Rohstoff zum Großteil ersetzt, spart pro Jahr ca. 250 l Öl und verhindert damit den Ausstoß von etwa 650 kg CO₂. Bei der Substitution von Gas würden pro Jahr ca. 190 m³ Erdgas eingespart und damit gut 360 kg CO₂ weniger ausgestoßen.³

Mit Hilfe der Solarthermie lassen sich etwa 60 Prozent der Energie für die Warmwasserbereitung für den häuslichen Bereich decken. Weiterhin kann eine solche Anlage zu rund 25 Prozent zum Gesamtenergiebedarf für die Heizung beitragen. Somit können Rohstoffe eingespart und die Umwelt geschont werden.⁴

Neben den ökologischen Gesichtspunkten, die für einen Umstieg auf eine solarthermische Anlage sprechen, können auch ökonomische Vorteile durch die Installation einer Solaranlage entstehen. Durch die kontinuierliche Preissteigerung von fossilen Energieträgern kann es sich durchaus auch finanziell lohnen, auf Solarenergie umzusteigen. Gerade vor dem Hintergrund der Endlichkeit der fossilen Brennstoffe und der immer größer werden Nachfrage werden sich die Brennstoffpreise vermutlich nicht mehr signifikant senken.⁵ Zwar stellt die Anschaffung einer Solarthermieanlage meist eine größere Investition dar,

¹ www.bundestag.de/mdbhome/WetzeMa0/PM/pco2.htm, 13.03.2007, 11:35 Uhr

² www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/mineraloelversorgung,did=159756.html, 13.03.2007, 11:46 Uhr

³ www.solaranlagen-portal.de/solarthermie/technik/enfuehrung-solarwaerme/solarwaerme-umwelt.htm, 13.03.2007, 12:25 Uhr

⁴ www.ratgeberbox.de/ratgeber/artikel/artikel_800143/sonne-mit-system-solarenergie-entlastet-portemonnaie-und-umwelt, 20.11.2007, 10:03 Uhr

⁵ www.wind-energie.de/de/aktuelles/article/olpreis-in-zukunft-auf-hohem-niveau/498/browser/1172851679/, 13.03.2007, 13:40 Uhr

die mit hohen Anschaffungskosten verbunden ist, aber dafür fallen über die gesamte Laufzeit der Anlage keine weiteren Verbrauchskosten für Energieträger an.

1.1 Ausgangslage

Das Bodelschwingh Zentrum in Meisenheim ist eine heilpädagogische Einrichtung der kirchlichen Stiftung Kreuznacher Diakonie. Es umfasst 17 Gebäude, die ganz unterschiedlich genutzt werden. Untergebracht sind dort u. a. eine Schule sowie eine Werkstatt für Menschen mit geistigen und körperlichen Behinderungen. Darüber hinaus gibt es noch Wohnheime und ein Schwimmbad für die dort Betreuten. In einem weiteren Gebäude ist die Verwaltung untergebracht.

Zurzeit leben etwa 350 Bewohner in dieser Einrichtung und dementsprechend hoch ist der Wärme- und Warmwasserbedarf. Die derzeitige Wärmeversorgung erfolgt über ein im Jahr 2006 errichtetes Holzhackschnitzelkraftwerk und das noch bestehende Öl-Heizwerk. Beide Anlagen werden von einem Contractor betrieben.

Die Beheizung der Gebäude erfolgt auf zwei Arten. Zum einen sind in allen Räumen, die über Fenster verfügen, Heizkörper installiert. Zum anderen werden alle innenliegenden Bereiche (Flure, Toiletten usw.) mittels Lüftungsanlagen mit Wärme versorgt.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Studie ist die Überprüfung der technischen Machbarkeit sowie der Wirtschaftlichkeit einer Installation von Solarwasser- und/oder Solarluftkollektoren zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung im Bodelschwingh Zentrum Meisenheim.

Mit der Durchführung gezielter Maßnahmen aus dem Bereich der Solarthermienutzung ist mit Einsparungen von Wärmekosten zu rechnen. Ein möglicher Einsatz von Solarluft- und/oder Solarwasserkollektoren zur Wärmeherzeugung stellt eine Möglichkeit zur nachhaltigen Versorgung der Gebäude mit Wärme dar. Die gebäudetechnischen Voraussetzungen für eine Installation einer Solaranlage sind gegeben. Dies gilt sowohl für Solarwasseranlagen, die mit dem bestehenden Heizungssystem verbunden werden können, als auch für Solarluftanlagen. Letztere können an die in den Gebäuden installierten raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) angeschlossen werden. Die erforderlichen Dachflächen sind ebenfalls vorhanden.

Es ist somit zu prüfen, ob eine Solaranlage mit dem bestehenden Heizungssystem kombiniert werden kann. Dafür müssen die einzelnen Objekte auf ihre Tauglichkeit hin untersucht werden. Dies beinhaltet eine Überprüfung der evtl. nutzbaren Dachflächen, die Bestandsaufnahme des bisherigen Heizungssystems, die Aufnahme des Wärmebedarfs

usw. Weiterhin ist zu untersuchen, welche Arten von Kollektoren am sinnvollsten eingesetzt werden sollten. Mittels zweier Simulationsprogramme werden alle Anlagen sowohl für Solarluft- als auch für Solarwasseranlagen ausgelegt und anschließend bewertet. Neben den technischen Aspekten werden auch die wirtschaftlichen Gesichtspunkte sämtlicher Anlagen in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung untersucht.

Außer dem Einsatz von konventionellen Kollektoren wird auch die Möglichkeit geprüft, ob es machbar ist, die im Rahmen des Projekts „Solar - Sozial“ vom Solarverein Trier angebotenen Kollektoren in der Behindertenwerkstatt selbst zusammenzubauen.

2 Grundlagen

Ohne die Sonne gäbe es kein Leben auf der Erde. Seit etwa viereinhalb Milliarden Jahren strahlt sie bereits und weitere fünf Milliarden Jahre wird sie voraussichtlich als Energiequelle weiterhin zur Verfügung stehen.⁶ Dabei ist die abgestrahlte Energiemenge außerordentlich groß. „In weniger als 2 Wochen empfängt die Erde durch die Sonnenstrahlen eine Energiemenge, die sämtlichen, auf der Erde bekannten Vorräten an fossilen Energien entspricht.“⁷

Diese enorme Menge an Energie wird durch einen Kernfusionsprozess in der Sonne umgesetzt. Bei der Verschmelzung von vier Wasserstoffkernen zu einem Heliumkern entsteht ein Massenverlust von insgesamt 4 Millionen Tonnen pro Sekunde. Die dabei freiwerdende Leistung von 400 Quadrillionen (10^{24}) Watt wird in den Weltraum abgestrahlt.⁸

Den auf der Erde ankommenden Teil der Energie kann man auf drei verschiedene Arten nutzen. Eine Möglichkeit ist die Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen. Weiterhin kann durch photochemische Prozesse Strahlungsenergie in chemische Energie umgewandelt werden. Die dritte Möglichkeit ist die solarthermische Nutzung der Sonnenenergie.

2.1 Solarkollektoren

Die Funktionsweise der Solarwasserkollektoren entspricht der eines schwarzen Gartenschlauchs, der mit Wasser gefüllt ist. Wenn die Sonne darauf scheint, erwärmt sich die schwarze Oberfläche und gibt diese Wärme an das Wasser ab. Bei solarthermischen Anlagen treffen die kurzwelligen Strahlen im Kollektor auf den Absorber, an dessen Oberfläche der Umwandlungsprozess erfolgt. Der Absorber ist meist ein Metallblech, das die Sonnenstrahlung aufnimmt und anschließend die Energie in Form von Wärme an ein Medium, welches den Absorber durch- oder umströmt, abgibt. Meist ist dieses Medium ein Wasser-Glykolgemisch.

Aber es wurden auch Kollektorbauformen entwickelt, in denen Luft die Wärme aufnimmt.⁹ Der Aufbau des Kollektors ähnelt dem von Solarwasserkollektoren (Gehäuse, Absorber, Dämmung und Abdeckung).

⁶ Brockhaus: Band 5: Forschung und Schlüsseltechnologien (2000), S. 211

⁷ vgl. Zentralverband Sanitär Heizung Klima: Fachinformation: Thermische Solaranlagen (1998), S. 4

⁸ Brockhaus: Band 5: Forschung und Schlüsseltechnologien (2000), S. 265

⁹ Ladener: Solaranlagen: Handbuch der thermischen Solarenergienutzung (2001), S. 27 f

Ein wesentlicher Unterschied der beiden Kollektorbauweisen liegt in der Nutzung der gewonnen Wärme. So werden Solarwasseranlagen in erster Linie zur Warmwasserbereitung eingesetzt, da der Bedarf über das Jahr gesehen annähernd gleich hoch ist. Je nach Wasserverbrauch lassen sich jährlich ca. 50 bis 65 Prozent des Warmwasserbedarfs mit Sonnenenergie decken. Oftmals kann im Sommer fast der gesamte Bedarf an Warmwasser über die Solaranlage bereitgestellt werden. Aber es besteht auch die Möglichkeit einer Heizungsunterstützung durch die Solarwasseranlage. Allerdings steht gerade in der kalten Jahreszeit, dem Wärmebedarf nur ein kleines solares Energieangebot gegenüber.¹⁰

Die Solarluftanlagen werden i. d. R. zusammen mit einer raumlufthechnischen Anlage (RLT) zur Heizung von Gebäuden verwendet. Um aber auch die solaren Energiegewinne aus der Solaranlage im Sommer, wenn keine Heizung der Gebäude erfolgt, nutzen zu können, kann mit den Luftkollektoren die Brauchwasserbereitung unterstützt werden. Allerdings ist dazu die Installation von Luft/Wasser-Wärmetauschern zum Übergang der Wärme von einem auf das andere Medium notwendig.

2.1.1.1 Flachkollektoren

Eine der geläufigsten Bauweisen für Solarwasserkollektoren sind Flachkollektoren. Wie in Abbildung 1 dargestellt, ist der Absorber in Flachkollektoren in einem gedämmten Gehäuse mit transparenter Abdeckung untergebracht.

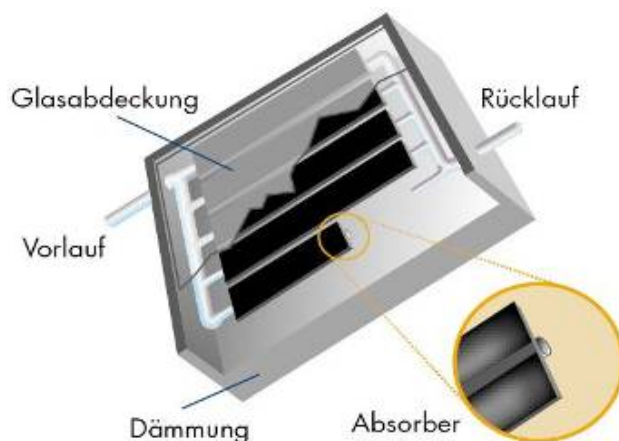


Abbildung 1 - prinzipieller Aufbau eines Flachkollektors¹¹

Das Gehäuse soll den Absorber und die innenliegende Dämmung verlässlich und auf Dauer vor Feuchtigkeits- und Witterungseinflüssen schützen. Weiterhin muss eine sichere und stabile Montage gewährleistet sein. Das Gehäuse besteht meist aus Aluminium. Der

¹⁰ Kasper: Solarthermische Anlagen (2001), Kapitel 9, S. 5

¹¹ BINE Informationsdienst: Thermische Nutzung der Sonnenenergie (2003), S. 3

Vorteil liegt in der Witterungsbeständigkeit, dem geringen Gewicht sowie den relativ niedrigen Materialkosten. Weitere Werkstoffe zur Herstellung des Gehäuses sind z. B. glasfaserverstärkte Kunststoffe, verzinkter Stahl, Edelstahl oder auch wasserfest verleimtes Holz.¹² Wichtig ist, dass der Kollektorkasten dicht und nach außen abgeschlossen ist. Es muss verhindert werden, dass Staub, Feuchtigkeit oder Insekten in den Kollektor gelangen und somit zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades führen. Die Dichtmaterialien müssen bei ihrem Einsatz Temperaturen von bis zu 200 °C standhalten können.¹³

2.1.1.2 Solarluftkollektoren

Solarkollektoren, die anstatt Wasser Luft als Wärmeträgermedium beinhalten, gibt es in verschiedenen Bauformen. Meist ähneln sie vom Aufbau einem Flachkollektor und auch die verwendeten Materialien zum Bau der Kollektoren sind im Wesentlichen die gleichen. Ebenso wie bei herkömmlichen Flachkollektoren sitzt auch hier der Absorber in einem gut gedämmten Gehäuse mit einer transparenten Abdeckung (Abbildung 2).

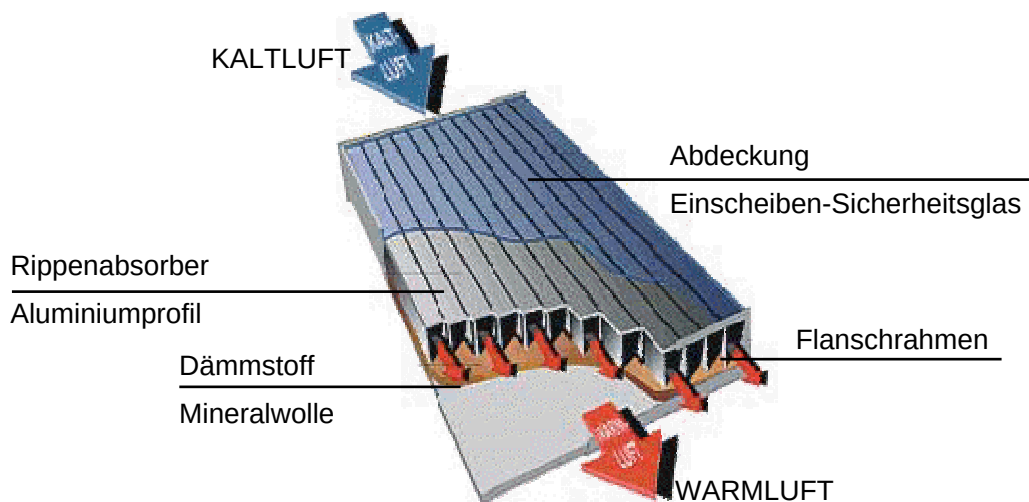


Abbildung 2 - Aufbau eines unterströmten Luftkollektors¹⁴

Nachdem die Luft durch den Absorber erwärmt wurde, wird sie entweder direkt in das Gebäude eingeleitet oder gelangt in einen Feststoffspeicher. Dieser besteht entweder aus extra angelegten Gesteinsschüttungen. Es können aber auch massereiche Teile des Gebäudes (z. B. Wände, Fußböden, Decken) zur Wärmespeicherung verwendet werden.¹⁵ Gegenüber der Nutzung von Wasser als Trägermedium besteht der Vorteil darin, dass

¹² Ladener: Solaranlagen: Handbuch der thermischen Solarenergienutzung (2001), S. 49 ff

¹³ Kasper: Solarthermische Anlagen (2001), Kapitel 3, S. 17

¹⁴ www.grammer-solar.de/solarluft/sls/kollektor.shtml, 05.03.2007, 13:51 Uhr

¹⁵ Kaltschmitt: Erneuerbare Energien (2003), S. 156

keine Korrosionsprobleme entstehen. Auch kann es nicht zum Einfrieren bzw. Überhitzen der Anlage kommen. Weitere Vorteile dieses Systems bestehen darin, dass Luft als Trägermedium schnell reagiert und Steine als Speichermedium günstig zu erwerben sind.¹⁶

Der Nachteil der Luftkollektoren liegt in der geringen Speicherkapazität der Luft. Die spezifische Wärmekapazität ist ca. viermal geringer als die von Wasser. Dies hat zur Folge, dass zum gleichen Wärmetransport viermal so viel Luft wie Wasser gefördert werden muss. Da die Luft nur ein Tausendstel der Dichte von Wasser besitzt, muss also 4.000-mal mehr Volumen transportiert werden. Dies zieht wiederum größere Kanalquerschnitte und somit einen höheren Platzbedarf sowie höhere Materialkosten nach sich. Gegen einen Einsatz der Luftkollektoren in der Brauchwassererwärmung spricht auch die 24-mal geringere Wärmeleitfähigkeit der Luft im Vergleich zum Trägermedium Wasser. Bei der Übertragung von Wärme auf Luft oder von Luft auf ein anderes Medium wie z. B. Wasser müssten die Wärmetauscherflächen entsprechend groß ausgelegt werden.¹⁷

Luftkollektoren werden überwiegend dort eingesetzt, wo Gebäude mit Luftheizungssystemen ausgestattet sind. Beide Anlagen arbeiten somit mit dem gleichen Medium und können daher gut kombiniert werden.¹⁸

Ein großer Unterschied zwischen beiden Systemen, liegt in den Größenverhältnissen der Querschnitte der Wärmetransportleitungen. Diese resultieren aus den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften von Luft und Wasser. Wie oben bereits beschrieben, erfordert der Lufttransport wesentlich größere Leitungsquerschnitte um die gleiche Wärmeleistung transportieren zu können. Der sich ergebende Faktor liegt bei 351. Folgende Abbildung soll dies noch einmal verdeutlichen.

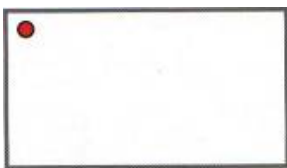


Abbildung 3 - Größenverhältnisse von Luftkanal- und Wasserleitungsquerschnitt bei vergleichbarer Wärmetransportleistung¹⁹

¹⁶ www.solarserver.de/lexikon/luftkollektoren.html, 06.02.2007, 12:25 Uhr

¹⁷ Ladener: Solaranlagen: Handbuch der thermischen Solarenergienutzung (2001), S. 61 f

¹⁸ Kasper: Solarthermische Anlagen (2001), Kapitel 8, S. 3 f

¹⁹ Filleux: Solare Luftheizsysteme (2005), S. 51

3 Machbarkeitsstudie: Bodelschwingh Zentrum

Das 1979 eröffnete Bodelschwingh Zentrum in Meisenheim ist ein Teil der kirchlichen Stiftung des öffentlichen Rechts Kreuznacher Diakonie. Diese Art der Stiftung ist eine Sonderform der rechtsfähigen Stiftungen bürgerlichen Rechts. Zweck der Stiftung sind vornehmlich kirchliche Aufgaben. Die Stiftung ist Träger weiterer Einrichtungen in Rheinland-Pfalz, Hessen und im Saarland.

Auf dem Gelände in Meisenheim befinden sich 17 Gebäude, die unterschiedlich genutzt werden. Neben Wohnungen für etwa 350 Menschen mit den verschiedensten körperlichen und geistigen Behinderungen gibt es eine Schule mit 65 Plätzen für Menschen mit Behinderungen. Weiterhin wurde eine Tagesförderstätte, in der Behinderte tagsüber betreut werden, errichtet. Ebenso besteht die Möglichkeit für die Behinderten in den Werkstätten der Diakonie einer Arbeit nachzugehen. Die betriebseigene Großküche mit zugehöriger Metzgerei versorgt nicht nur die ansässige Gaststätte/Cafeteria sondern auch andere externe diakonische Einrichtungen. Zur Freizeitgestaltung und für therapeutische Zwecke stehen noch eine Schwimmhalle und eine Turnhalle zur Verfügung. Eine Kapelle mit direkter Verbindung zur Turnhalle kann neben kirchlichen Zwecken auch für andere Veranstaltungen genutzt werden. Die Verwaltung des Zentrums sowie der Diakonie-Werkstätten ist ebenfalls auf dem Gelände untergebracht. Zur Wärmeversorgung wurde neben dem bestehenden Öl-Heizwerk eine Holzhackschnitzelheizung installiert. Zum Zentrum gehören auch noch einige Häuser, die zwar in unmittelbarer Nähe, aber außerhalb des Geländes liegen. Diese Gebäude sind zum Großteil vermietet, beherbergen aber auch noch Wohngruppen für Behinderte.

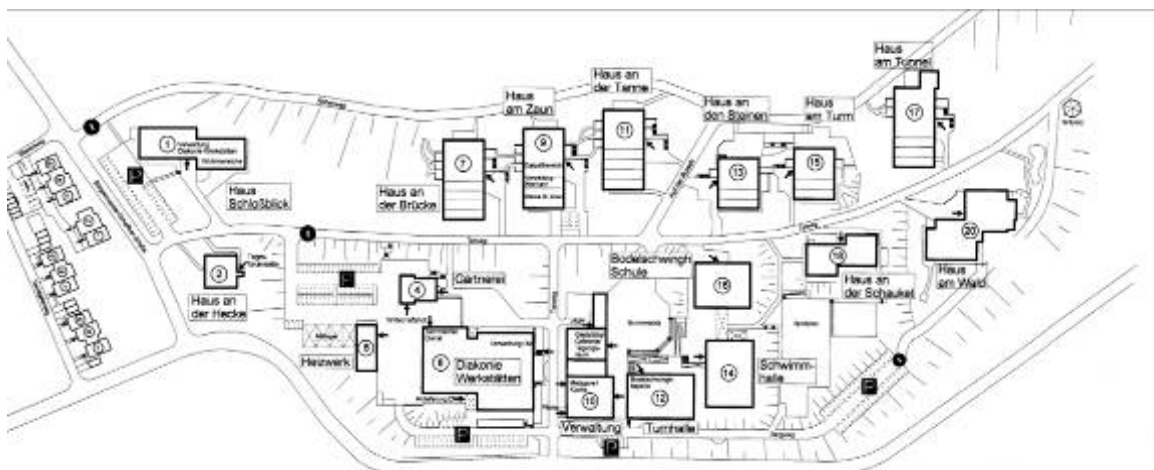


Abbildung 4 - Übersichtskarte des Bodelschwingh Zentrums Meisenheim

Eine größere Darstellung der Übersichtskarte befindet sich in Anlage 1.

Das folgende Satellitenbild zeigt nochmals die Anordnung der Gebäude des Bodelschwingh Zentrums.



Abbildung 5 - Satellitenbild des Bodelschwingh Zentrums Meisenheim²⁰

²⁰ Google Earth

3.1 Ist-Analyse der Gebäude

Um eine Entscheidung über eine Solaranlageninstallation treffen zu können, musste zu erst eine umfangreiche Daten- und Informationssammlung durchgeführt werden. Dies erfolgte anhand einer Checkliste für jedes der zu prüfenden Gebäude. Dabei wurden Informationen zum Haus (Baujahr, Geschosszahl, Wohneinheiten, Wohnfläche, Bauweise, Fenster, Dämmung, Dach), der Heizungsanlage (Art der Wärmeübertragung, Temperaturniveau) und der Warmwasser-Bereitung (Größe des WW-Speichers, Rohrnetz, Warmwasserbedarf) erfasst. Die gesammelten Daten wurden tabellarisch pro Haus erfasst und können auf der beigefügten CD eingesehen werden.

In einem weiteren Schritt wurden die vorhandenen Lüftungspläne ausgewertet. Die gewonnenen Daten bezüglich der Lüftungsanlagen sind bei der Beschreibung der einzelnen Häuser eingefügt.

Da die benötigte Wärmeenergie nicht für jedes Gebäude einzeln mittels Wärmemengenzählern erfasst wird, musste der Gesamtwärmeverbrauch anhand der beheizten Fläche pro Haus umgelegt werden. Die Ergebnisse wurden bei den Häuserbeschreibungen eingefügt, die Berechnung befindet sich in Anlage 6.

Anhand der Baupläne konnten die Maße aller Gebäude bestimmt werden. Diese dienen als Grundlage für die Berechnung der solarthermiegeeigneten Dachflächen, des beheizten Volumens, der Umschließungsfläche, der beheizten Nutzfläche und der Bodenfläche der 17 betrachteten Gebäude. Die Berechnungen befinden sich auf der beigefügten CD.

All diese gewonnenen Daten wurden anschließend zu Simulation der Solarluft- und Solarwasseranlagen für die einzelnen Häuser verwendet. Die Durchführung der Simulation mit den Programmen Luftkuss (Solarluft) und T*SOL (Solarwasser) ist in Abschnitt 3.2 näher erläutert. Die Simulationsergebnisse, die sich auf der angehängten CD befinden, dienen wiederum als Grundlage der Wirtschaftlichkeitsprognose.

Diese Prognose beruht weiterhin auf zwei eingeholten Angeboten: zum einen für Solarluftanlagen von der Grammer Solar GmbH und zum anderen von der WIGA Energietechnik e.K. für Solarwasseranlagen. Eine selbst durchgeführte Kostenkalkulation für eine Solarwasseranlage wurde ebenfalls in die Prognose mit aufgenommen. Die Durchführung, Beschreibung und Auswertung der Wirtschaftlichkeitsprognose erfolgt in Abschnitt 3.3. Die ausführlichen Berechnungen und die Angebote befinden sich auf der angehängten CD.

Die darüber hinaus bei mehreren Begehungen gewonnenen Daten, wurden in der unten folgenden Beschreibung der einzelnen Gebäude festgehalten. Dabei wurde versucht möglichst viele Informationen zu folgenden Punkten zu sammeln:

- das Gebäude allgemein (Nutzung, Anzahl Bewohner/Mitarbeiter)
- Dach (Beschaffenheit, Verschattung)
- Ort für die Aufstellung der Speicher
- mögliche Varianten für die Rohr- bzw. Kanalverlegung vom Kollektor bis zum Speicherstandort

Die Hauswände wurden auch auf eine mögliche Anbringung von Solarkollektoren geprüft, aber die weitere Betrachtung beschränkt sich auf die Dachmontage der Kollektoren. Weiterhin wurden von den für die Anlageninstallation relevanten Bereichen Bilder gemacht und auch teilweise in diese Arbeit eingebunden. Weitere Fotos sind auf der CD zu finden.

3.1.1 Bodelschwingh Zentrum

Alle Gebäude des Zentrums wurden in den Jahren 1978 und 1979 nach dem Skelettbauverfahren errichtet. Bei dieser Bauweise wird „die tragende Konstruktion, bestehend aus Stützen, Unterzügen und Deckenträgern in Holz, Stahl oder Stahlbeton errichtet [...]. Die nichttragenden Wände werden später mit Mauerwerk oder Sandwichplatten ausgefacht.“²¹ Die Dämmung der Bauwerke erfolgte zum einen durch den zur Errichtung der Außenwände verwendeten Porenbeton und zum anderen durch die an den Wänden angebrachten Gipskarton- und Styroporplatten. Bei einigen der Gebäude erfolgte die Dämmung der Außenwand zusätzlich noch mittels einer Vorhangfassade.

Sämtliche Gebäude wurden anfänglich mit einem Flachdach, welches nach dem Umkehrdachprinzip aufgebaut ist, ausgestattet, d. h. die Schichten der Dachabdichtung und der Isolierung liegen in umgekehrter Reihenfolge als bei einem konventionellen Flachdach. Da die Dachabdichtung und -dämmung schon 28 Jahre alt sind und Mängel aufweisen, stehen Sanierungsmaßnahmen an bzw. wurden zum Teil auch schon durchgeführt. Dabei wurde das Dämmmaterial bei den Häusern 8 und 14, welches sich mit Wasser vollgesogen hatte und somit für eine Verschlechterung der Wärmedämmung sorgte, ausgetauscht und unter die Dachabdichtung verlegt. Eine Installation einer Solaranlage auf dem Dach ist nur nach einer abgeschlossenen Sanierung sinnvoll. Da die Anlagen mindestens 20 Jahre auf dem Dach stehen bleiben werden, sollte daher die Sanie-

²¹ vgl. www.architektur-lexikon.de/lexikon/skelettbau.htm, 29.03.2007, 12:37 Uhr

rung vorher erfolgen. Da die Kosten für die Dacherneuerung sowieso anfallen würden, werden sie bei der Wirtschaftlichkeitsprognose der Solaranlagen nicht mit betrachtet.

Weiterhin sind alle Häuser noch mit Doppelglasfenstern mit Alurahmen aus dem Jahr 1979 ausgestattet. Dabei resultiert i. d. R. etwa ein Drittel aller Heizwärme-Verluste durch veraltete Verglasung. Das Glas und die Rahmen sind zwar oft selbst noch intakt und dicht, aber die Art der Doppelverglasung („Thermopane-Glas“) entspricht nicht mehr dem Stand der Technik und somit dem aktuellen Standard der Wärmedämmung.²²

„Der heutige Standard sind Isoliergläser mit rund dreimal besserer Wärmedämmung – das heißt: Durch das geschlossene Fenster geht dreimal weniger Wärme verloren als bei „Thermopane“. Entsprechend weniger muss geheizt werden, um auf die gleiche Innentemperatur zu kommen. So entsteht weniger CO₂, und die Umwelt wird geschont.“²³

Auch die ursprünglich in einigen Gebäuden installierte Lüftungstechnik ist größtenteils noch auf dem technischen Stand von damals. Das Herz der Anlage – die Ventilatoren zum Antrieb der erforderlichen Volumenströme – ist somit fast 30 Jahre alt. Die durch die Luftförderung anfallenden Betriebskosten belaufen sich dabei auf ca. 30 bis 50 % der gesamten Betriebskosten der RLT-Anlage. Betrachtet man die Verteilung der Gesamtkosten eines Ventilators über einen längeren Zeitraum, so kann man feststellen, dass sowohl die Investitionskosten als auch die Instandhaltungskosten kaum ins Gewicht fallen im Vergleich zu den Energiekosten.²⁴

„Bei Altanlagen und auch bei schlecht ausgeführten Neuanlagen könnte der Energieverbrauch und damit der Energiekostenanteil durch Optimierungsmaßnahmen um ca. 25 % gesenkt werden.“²⁵

²² www.energiesparen-mit-glas.de/emg.html?Umweltschutz_durch_Wohlfuehl.html, 02.04.2007, 10:12 Uhr

²³ vgl. www.energiesparen-mit-glas.de/emg.html?Umweltschutz_durch_Wohlfuehl.html, 02.04.2007, 10:12 Uhr

²⁴ Wieland: Ventilatoren in RLT-Anlagen (2002), S. 40 f

²⁵ vgl. Wieland: Ventilatoren in RLT-Anlagen (2002), S. 40

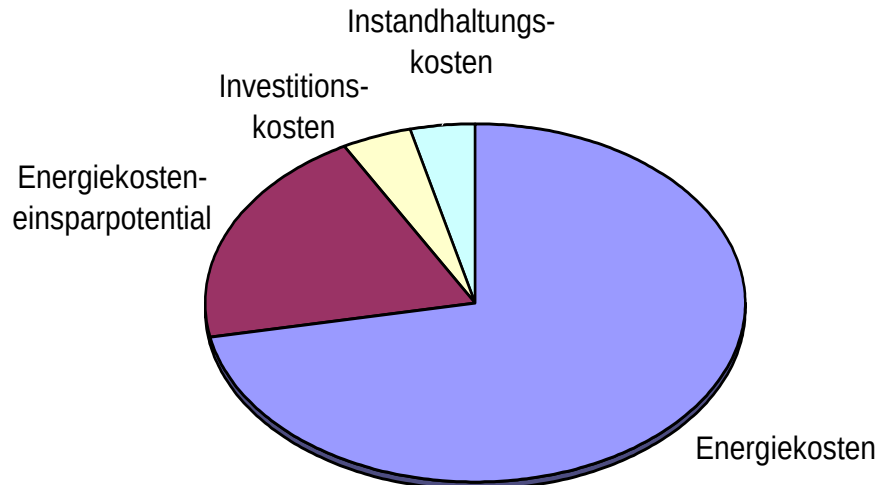


Abbildung 6 - Kostenverteilung beim Einsatz von RLT-Anlagen über zehn Jahre²⁶

Die Wärmeversorgung der Gebäude erfolgt bisher über ein Nahwärmenetz. Als Brennstoff für die Wärmeerzeugung wurde bis Ende des letzten Jahres Heizöl benutzt. Seit Dezember 2006 ist nun ein Holzhackschnitzelkraftwerk in Betrieb, welches mit Hackschnitzel aus der Region betrieben wird. Die eigentlich geplante Heizleistung des Holzkessels von 900 kW wurde mittlerweile auf 1.400 kW ausgebaut. Während die Holzfeuerung somit die Grund- und Mittellastwärmeerzeugung bereitstellt, werden die vorhandenen Ölkessel (Kessel 1: 4,66 MW, Kessel 2: 2,33 MW) weiterhin zur Absicherung der Wärmeerzeugung und zur Abdeckung der winterlichen Spitzenlast benötigt.

Die Heizungsanlage wird von dem Contractor FAVORIT Unternehmens-Verwaltungs-GmbH, einer Tochtergesellschaft der ESSO Deutschland GmbH, betrieben. Trotz des Vertrages mit dem Energiedienstleister können weitere Quellen der Energieversorgung, wie z. B. die Solarenergie, genutzt werden.

Die Versorgung der Gebäude mit Wärme erfolgt über zwei Heizungsleitungen. Ein Strang versorgt die Gebäude rechts des Talwegs und ein anderer die linke Seite. Die Vorlauftemperatur ist somit, abgesehen von den Transportverlusten, für alle Gebäude nahezu gleich und liegt bei ca. 110 °C. Die Rücklauftemperatur liegt bei 70 bis 80 °C. Auf diesem Temperaturniveau muss eine weniger aufwendige Wiederaufheizung des Wassers durchgeführt werden, was einen wirtschaftlichen Betrieb sicherstellt.

In den Gebäuden erfolgt die Wärmeübergabe an die Raumluft nach verschiedenen Methoden: zum einen über wasserdurchflossene Heizflächen ohne Hausübergabestation, die

²⁶ Wieland: Ventilatoren in RLT-Anlagen (2002), S. 41

direkt am Heizwerk angeschlossen sind (getrennte Systeme) und zum anderen ist zusätzlich oft noch eine Lüftungsanlage installiert, um die Luft in den Gebäuden vorzuwärmen. So sind dann nur kleinere Heizflächen nötig. Dies gilt speziell für die im Inneren liegenden Räume.

Bisher waren in allen Gebäuden Temperaturfühler installiert, um die Raumtemperatur zu messen und somit die Temperatur auf den verschiedenen Etagen zu regeln. Mit den Renovierungsmaßnahmen im Haus am Wald (Haus 20) wurden erstmals die Heizungen auf Ventilregelung umgestellt.

Zur Warmwasserversorgung sind in allen Gebäuden Warmwasserboiler installiert, um erwärmtes Wasser vorzuhalten. Diese Boiler haben je nach Gebäudetyp und -größe verschiedene Volumina. Da diese Behälter beim Neubau der Gebäude installiert wurden und somit auch auf dem technischen Stand von 1979 sind, können diese nicht zur Zwischenspeicherung der solaren Wärme (als Pufferspeicher) genutzt werden. Eine Nutzung als Bevorratungsspeicher des Wassers zur anschließenden Erwärmung mittels eines Wärmetauschers könnte evtl. erfolgen. Ein Austausch ist aber wahrscheinlich sinnvoller.

In den Häusern werden insgesamt 63 Waschmaschinen, 46 Haushalts-Geschirrspülmaschinen sowie 3 Industriespülmaschinen betrieben (siehe Anlage 2). Diese Geräte eignen sich i. d. R. für den Anschluss an eine Solaranlage. Der direkte Anschluss führt zu einem energetischen Vorteil, denn der Stromverbrauch zur Wassererwärmung kann um 50 bis 80 Prozent gesenkt²⁷ und der solare Anlagennutzungsgrad erhöht werden²⁸. Der direkte Anschluss eines Geschirrspülers ist dabei meist problemlos durchführbar. Bei vielen Waschmaschinen dagegen sind bestimmte Maßnahmen vor dem Anschluss zu treffen. Da diese Geräte nicht immer mit einem Warmwasseranschluss ausgestattet sind, muss meist ein Vorschaltgerät zur Regelung der Kalt- bzw. Warmwasserzufuhr montiert werden.²⁸

Im Bodelschwingh Zentrum sind dabei die Laufzeiten der Maschinen nicht mit denen von herkömmlichen Geräten zu vergleichen. Obwohl ca. 60 bis 70 % der Schmutzwäsche, wie Bettwäsche, Handtücher usw. außer Haus in einer Zentralwäscherei gewaschen werden, laufen die Geräte im Zentrum trotzdem oftmals den ganzen Tag lang. So kommt es, dass die dortigen Waschmaschinen innerhalb von vier Jahren die gleiche Laufleistung erbringen wie Geräte in „normalen“ Haushalten in 20 bis 22 Jahren.

²⁷ www.energieverbraucher.de/de/Zuhause/Hausgeraete/Waschmaschinen/Waschmaschinen_Vorschaltgeraete/site__1350/26.04.2007, 11:49 Uhr

²⁸ Kasper: Solarthermische Anlagen (2001), Kapitel 3, S. 55

Im Folgenden werden nun die einzelnen Gebäude des Bodelschwingh Zentrums näher betrachtet und auf eine Installation einer solarthermischen Anlage hin überprüft. Zur besseren Übersicht wurden von jedem Gebäude Satellitenbilder aus dem Geoportal des Landes Rheinland-Pfalz hinzugefügt. Am unteren Bildrand der Abbildungen befindet sich immer Süden.

In den Wohnheimen liegt das Temperaturniveau i. d. R. bei ca. 28 °C und somit weit über dem sonst üblichen von 20 °C. Diese relativ hohen Temperaturen sind in den Häusern nötig um das Wohlbefinden der behinderten Menschen sicherzustellen.

Eine Verlegung der Leitungen vom Dach bis in den entsprechenden Technikraum kann oftmals nur über die Außenwände erfolgen. Montageschächte sind nicht vorhanden. Eine Unterbringung der Pufferspeicher in den Technikräumen selbst ist oft problematisch, da diese mit der vorhandenen Heiztechnik ausgefüllt sind. Somit müsste in einigen Fällen auf Nachbarräume ausgewichen werden. Im Extremfall müsste die Speicheraufstellung außerhalb des Gebäudes erfolgen und würde somit die Anlage erheblich verteuern.

3.1.2 Haus 1, „Haus Schlossblick“

In diesem vierstöckigen Gebäude sind in den unteren drei Etagen Wohnungen für Behinderte und im obersten Stockwerk die Verwaltung der Diakonie-Werkstätten untergebracht. Im Keller befinden sich Räume, die zur Unterbringung der Haustechnik dienen oder als Lager genutzt werden. Diese Räume sind meist unbeheizt.

Die Dachflächen dieses Gebäudes eignen sich teilweise zur Installation einer Solaranlage. Wie auf Abbildung 7 zu erkennen ist, befindet sich auf dem Flachdach des oberen Gebäudeteils noch ein Aufbau. Durch diese Erhöhung wird der dahinterliegende Dachbereich zumindest in den Wintermonaten großflächig verschattet und kann somit nicht effektiv genutzt werden. Ebenso eignet sich der schmale Bereich links neben dem Aufbau nicht für die Errichtung einer Solaranlage, da das komplette Dach dieses Bereiches mit einer Brüstung aus Beton, die als Geländer dient, umgeben ist. Somit müsste ein Abstand zum Dachrand eingehalten werden, um auch hier eine Verschattung zu vermeiden. Die Dachflächen des Aufbaus könnten mit Kollektoren versehen werden. Ein Luftschacht (kleine helle Fläche am rechten Rand des Gebäudes) und eine Satellitenschüssel, die sich auf dem Dach befinden, könnten möglicherweise zu einer Verschattung führen. Das Flachdach des unteren Gebäudeteils lässt sich problemlos für eine solare Nutzung verwenden. Lediglich kleine Lüftungsrohre befinden sich auf dem Flachdach, die aber unter der aufgeständerten Solaranlage nicht stören würden. Weiterhin gibt es auf diesem Gebäudeteil keine Brüstung, die zur Verschattung führen könnte.

An der nach Südwesten ausgerichteten Hauswand könnten ebenfalls Solarkollektoren befestigt werden. Lediglich durch ein paar Bäume und Sträucher könnte es zur Verschattung kommen (siehe Abbildung 8).



Abbildung 7 - Satellitenbild Haus 1²⁹



Abbildung 8 - Südseite Haus 1

Die Aufstellung des Pufferspeichers könnte in einem der Technikräume im Keller erfolgen.



Abbildung 9 - Technikraum Haus 1



Abbildung 10 - Außenwand Haus 1 (mögliche Rohrverlegung)

²⁹ www.geoportal.rlp.de/portal/karten.html, 17.04.2007, 16:30 Uhr

Die Rohre bzw. Kanäle müssten an der Außenseite des Gebäudes verlegt werden, da keine entsprechenden Installationsschächte vorhanden sind. Eine mögliche Variante der Rohrverlegung wäre die Nutzung der Außenwand zum Berg hin. Dort könnten die Leitungen an der Außenwand des Treppenhauses befestigt und anschließend in den Keller verlegt werden.

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung:

Heizenergiebedarf: 763.283 kWh

WW-Jahresverbrauch: 3.797 m³

Größe WW-Speicher: 2 * 1500 l

Von der vorhandenen Lüftungsanlage konnten folgende Daten ermittelt werden:

Tabelle 1 - Lüftungsdaten Haus 1

	Zuluft-Gerät		Abluft-Gerät	
Luftmenge	m ³ /h	12.300	6.150	13.950
stat. Pressung	mm WS	85		85
Motorleistung	kW	10	3	10
Motordrehzahl	Upm	1.500	750	1.500
				750

	Lufterhitzer		Außenlufterhitzer	
Luftmenge	m ³ /h	kA		5.000
Lufterwärmung		+12 °C auf +26 °C		-15 °C auf +5 °C
Heizleistung	kcal/h	52.000		30.000
Heizleistung	kW	60		35
Heizmedium		PWW 90/70 °C		PWW 90/70 °C

	Wärmerückgewinnung	
Luftmenge	m ³ /h	kA
Außenlufttemp.	°C	kA
Austrittstemp.	°C	kA
max. Druckverlust	mm WS	kA
Energie-Rückgew.	kcal/h	kA
Energie-Rückgew.	kW	kA

3.1.3 Haus 2, „Haus an der Hecke“

Tagsüber wird dieses Haus als Tagesförderstätte für etwa 30 Menschen genutzt. Die Menschen werden dort wegen ihrer besonderen körperlichen Schädigung, geistiger und psychischer Beeinträchtigungen und/oder wegen ihres eingeschränkten Sozialverhaltens intensiv pädagogisch betreut.

Auf dem Flachdach des Gebäudes befinden sich drei Lichtkuppeln sowie ein Lüftungsauslass. Ein paar Bäume, die direkt neben dem Gebäude stehen, könnten zur Verschattung der Anlage führen. Wie auch bei Haus 1 könnte die südwestliche Hauswand mit Kollektoren versehen werden.

Allerdings ist in diesem Gebäude nur ein Abluftsystem installiert. Somit müsste für eine Installation einer Solarluftanlage ein komplett neues Lüftungskanalsystem eingebaut werden. Dies führt wiederum zu zusätzlichen Kosten welche nicht näher betrachtet werden. Aufgrund dieser extra Aufwendungen wird eine Solarluftanlage wohl für dieses Gebäude nicht in Frage kommen.



Abbildung 11 - Satellitenbild Haus 2



Abbildung 12 - Südseite Haus 2

Die Aufstellung des Pufferspeichers kann aus Platzgründen wohl nicht im Technikraum erfolgen. Der Lagerraum neben dem Technikraum (Raum-Nr. 02.012) könnte möglicherweise genutzt werden.



Abbildung 13 - Technikraum Haus 2 (Bild 1)



Abbildung 14 - Technikraum Haus 2 (Bild 2)

Eine mögliche Verlegung der Leitungen ist in folgender Abbildung dargestellt.



Abbildung 15 - Außenwand Haus 2 (mögliche Rohrverlegung)

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung:

Heizenergiebedarf: 134.000 kWh

WW-Jahresverbrauch: 398 m³

Größe WW-Speicher: 1 * 550 l

Das im Haus 2 installierte Abluftgerät hat die folgenden technischen Daten:

Tabelle 2 - Lüftungsdaten Haus 2

	Abluft-Gerät	
Luftmenge	m³/h	3.500 1.750
stat. Pressung	mm WS	kA
Motorleistung	kW	0,16 0,07
Motordrehzahl	Upm	900 660

3.1.4 Haus 4, Wirtschaftshof

Hier sind die Fahrzeuge des Fuhrparks des Bodelschwingh Zentrums untergebracht. Die Dachflächen des südlicheren Gebäudeteils eignen sich für den Aufbau einer Solaranlage. Lediglich ein kleiner Schornstein sowie Lüftungsausgänge befinden sich auf dem Flachdach. Das nördlichere Bauteil eignet sich nicht für eine Solaranlage, da seine Dachfläche niedriger liegt als die des südlicheren Teils und somit verschattet wird. Die südliche Hauswand ist flächenmäßig nicht sehr groß und zudem befindet sich dort noch der Eingangsbereich in das obere Geschoss des Gebäudes. Somit ist dieser Bereich uninteressant für eine Anlageninstallation. Weiterhin würden einige Hecken und Sträucher die Anlage verschatten.

Schon aufgrund der geringen Fläche ist von einer Solaranlage abzusehen. Auf eine weitere Betrachtung dieses Gebäudes wird deshalb verzichtet.



Abbildung 16 - Satellitenbild Haus 4



Abbildung 17 - Außenansicht Haus 4

3.1.5 Haus 6, Heizwerk

Vom Heizwerk aus erfolgt die Wärmeversorgung aller Gebäude des Zentrums. Seine Dachfläche eignet sich zum Aufstellen einer Solaranlage. Mit einer Verschattung ist nicht zu rechnen und es sind auch keine größeren Aufbauten auf dem Dach vorhanden. Das folgende Satellitenbild ist nicht mehr auf dem aktuellen Stand, da das Heizwerk umgebaut wurde. Es wurde ein Holzhackschnitzelheizkraftwerk mit Wärmespeicher errichtet, dem der abgebildete Baum weichen musste.

Aufgrund der Tatsache, dass ein Contractor in diesem Gebäude ein Öl-Heizkraftwerk betreibt, wurde auf eine weitere Betrachtung des Gebäudes auf eine mögliche solarthermische Nutzung verzichtet.

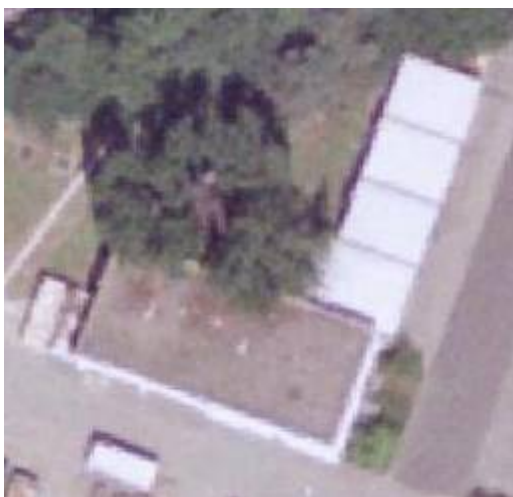


Abbildung 18 - Satellitenbild Haus 6

3.1.6 Haus 7 „Haus an der Brücke“, Haus 9 „Haus am Zaun“, Haus 11 „Haus an der Tanne“, Haus 17 „Haus am Tunnel“

Alle diese Gebäude sind nach dem gleichen Bauplan errichtet und gleichen sich demnach. Hauptsächlich werden die Häuser als Wohnungen für Behinderte genutzt. Im Untergeschoss sind Büros, Abstellräume usw. untergebracht. In jeder der darüberliegenden Etagen leben elf, manchmal auch zwölf, Personen. Die Häuser wurden in Stufenbauweise in den Hang gebaut, so dass sich die Stockwerke nur zum Teil überschneiden. Für eine solare Nutzung sind die Flachdächer grundsätzlich geeignet. Lediglich der Aufzugs-Maschinenraum sowie umstehende Bäume könnten zu einer Verschattung der Solaranlage führen. Die Hauswände in südwestlicher Richtung könnten zur Installation einer Solaranlage genutzt werden, allerdings wird dieser Bereich größtenteils erheblich durch Bäume und Sträucher verschattet.

Zu beachten ist bei diesen Gebäuden, dass es oft in kürzester Zeit zu einem hohen Warmwasserbedarf kommt, da viele Bewohner im gleichen Zeitraum (innerhalb von ca. eineinhalb Stunden) gebadet werden.

Bei der Berechnung des Warmwasserverbrauchs der Häuser diesen Typs wurde der Durchschnittswert aller Gebäude zugrunde gelegt. Durch die derzeitige Belegung der Häuser mit Bewohnern, die unterschiedlich schwere Behinderungen haben, kommt es zu verschiedenartig hohen Verbräuchen in den einzelnen Häusern. Da aber in Zukunft die Belegung jedes Hauses für Behinderte aller Kategorien möglich sein soll, wird der durchschnittliche Verbrauch aller Häuser zugrunde gelegt.



Abbildung 19 - Satellitenbild Haus 7



Abbildung 20 - Satellitenbild Haus 9



Abbildung 21 - Satellitenbild Haus 11



Abbildung 22 - Satellitenbild Haus 17

Der Technikraum, in dem die Pufferspeicher untergebracht werden müssten, liegt im zweiten Obergeschoss. Hier sind bisher auch die Lüftungstechnik sowie die Warmwasserboiler untergebracht.



Abbildung 23 - Technikraum Haus 7, 9, 11 und 17 (Bild 1)



Abbildung 24 - Technikraum Haus 7, 9, 11 und 17 (Bild 2)

Zur Aufstellung des Pufferspeichers käme ebenso ein Kellerraum in Frage, der immer direkt neben dem Technikraum liegt und als Lager oder Waschraum genutzt wird. Da der Technikraum durch die Heizungs- und Lüftungsanlagen schon gut gefüllt ist, und so auch nur noch an den Seitenwänden Mauerdurchbrüche zur Verlegung der Rohre möglich wären, wäre der benachbarte Raum eine gute Aufstellungsalternative.



Abbildung 25 - Außenwand Haus 7 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)



Abbildung 26 - Außenwand Haus 11 (mögliche Rohrverlegung in den Kellerraum)

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung je Haus:

Heizenergiebedarf: 459.118 kWh

WW-Jahresverbrauch: 1.314 m³

Größe WW-Speicher: 1 * 2000 l

Die Daten der Lüftungsanlagen der vier Gebäude sind in den folgenden Tabellen aufgeführt.

Tabelle 3 - Lüftungsdaten Haus 7

	Zuluft-Gerät			Abluft-Gerät		
Luftmenge	m ³ /h	6.850		7.440		
stat. Pressung	mm WS	100		105		
Motorleistung	kW	6	1,6	6	1,6	
Motordrehzahl	Upm	3.000	1.500	3.000	1.500	

	Lufterhitzer	
Luftmenge	m ³ /h	kA
Lufterwärmung		+4 °C auf +26 °C
Heizleistung	kcal/h	45.000
Heizleistung	kW	52
Heizmedium		PWW 90/70 °C

Außenlufterhitzer	
	3.000
	-15 °C auf +9 °C
	21.600
	25
	PWW 90/70 °C

	Wärmerückgewinnung	
Luftmenge	m ³ /h	6.850
Außenlufttemp.	°C	-15
Austrittstemp.	°C	+14
max. Druckverlust	mm WS	18
Energie-Rückgew.	kcal/h	59.000
Energie-Rückgew.	kW	69

Tabelle 4 - Lüftungsdaten Haus 9

	Zuluft-Gerät		Abluft-Gerät	
Luftmenge	m³/h	7.225	3.615	6.425 3.215
stat. Pressung	mm WS	105		100
Motorleistung	kW	6	1,6	6 1,6
Motordrehzahl	Upm	3.000	1.500	3.000 1.500

	Lufterhitzer		Außenluftherhitzer	
Luftmenge	m³/h	kA		3.000
Lufterwärmung		+4 °C auf +26 °C		-15 °C auf +9 °C
Heizleistung	kcal/h	47.700		21.600
Heizleistung	kW	55		25
Heizmedium		PWW 90/70 °C		PWW 90/70 °C

	Wärmerückgewinnung	
Luftmenge	m³/h	7.225
Außenlufttemp.	°C	-15
Austrittstemp.	°C	+12
max. Druckverlust	mm WS	20
Energie-Rückgew.	kcal/h	kA
Energie-Rückgew.	kW	kA

Tabelle 5 - Lüftungsdaten Haus 11

	Zuluft-Gerät		Abluft-Gerät	
Luftmenge	m³/h	6.850		7.440
stat. Pressung	mm WS	100		105
Motorleistung	kW	6	1,6	6 1,6
Motordrehzahl	Upm	3.000	1.500	3.000 1.500

	Lufterhitzer		Außenluftherhitzer	
Luftmenge	m³/h	kA		3.000
Lufterwärmung		+4 °C auf +26 °C		-15 °C auf +9 °C
Heizleistung	kcal/h	45.000		21.600
Heizleistung	kW	52		25
Heizmedium		PWW 90/70 °C		PWW 90/70 °C

	Wärmerückgewinnung	
Luftmenge	m³/h	6.850
Außenlufttemp.	°C	-15
Austrittstemp.	°C	+14
max. Druckverlust	mm WS	18
Energie-Rückgew.	kcal/h	59.000
Energie-Rückgew.	kW	69

Tabelle 6 - Lüftungsdaten Haus 17

	Zuluft-Gerät		Abluft-Gerät	
Luftmenge	m³/h	5.900	6.540	
stat. Pressung	mm WS	90	98	
Motorleistung	kW	6	1,6	6
Motordrehzahl	Upm	3.000	1.500	3.000

	Lufterhitzer	Aussenlufterhitzer
Luftmenge	m³/h	2.500
Lufterwärmung	+4 °C auf +26 °C	-15 °C auf +9 °C
Heizleistung	kcal/h	18.000
Heizleistung	kW	21
Heizmedium	PWW 90/70 °C	PWW 90/70 °C

		Wärmerückgewinnung
Luftmenge	m³/h	5.900
Außenlufttemp.	°C	-15
Austrittstemp.	°C	+13,5
max. Druckverlust	mm WS	18
Energie-Rückgew.	kcal/h	51.000
Energie-Rückgew.	kW	59

3.1.7 Haus 8, Diakonie-Werkstätten

In den Werkstätten werden Arbeiten unterschiedlichster Art ausgeführt. Je nach persönlicher Fähigkeit der Beschäftigten werden z. B. Fernseher zum Recycling auseinander gebaut oder Kartonagen gefaltet. Etwa 270 Menschen arbeiten täglich in diesem Bereich. Ebenso sind dort im Untergeschoss die Werkstätten zur Instandhaltung des Bodelschwingh Zentrums untergebracht.

Ein Teil des Flachdaches wurde bereits saniert. Dort wurde der Schichtaufbau des Dachs geändert und aus dem Umkehrdach ein Flachdach mit einem herkömmlichen Aufbau erstellt. Die Wandflächen dieses Gebäudes eignen sich nicht zur Unterbringung mittels Solarkollektoren.



Abbildung 27 - Satellitenbild Haus 8



Abbildung 28 - Dachansicht Haus 8

Die Unterbringung der Pufferspeicher könnte im Technikraum (08.012) oder im benachbarten Technikraum 2 (08.051) erfolgen.



Abbildung 29 - Technikraum Haus 8



Abbildung 30 - Technikraum 2 Haus 8

Die Verlegung der vom Dach kommenden Rohrleitungen könnte am einfachsten in den Technikraum 2 durchgeführt werden. Technikraum 1 eignet sich nicht, da er genau unter einem Eingangsbereich liegt.



Abbildung 31 - Außenwand Haus 8 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum 2)

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung:

Heizenergiebedarf: 491.000 kWh

WW-Jahresverbrauch: 219 m³

Größe WW-Speicher: 1 * 750 l

Die in diesem Gebäude eingebaute Lüftungsanlage hat folgende technische Daten:

Tabelle 7 - Lüftungsdaten Haus 8

	Zuluft-Gerät			Abluft-Gerät		
Luftmenge	m³/h	20.100		21.050		
stat. Pressung	mm WS	70		83		
Motorleistung	kW	11	3,7	11	3,7	
Motordrehzahl	Upm	1.465	970	1.465	970	

	Lufterhitzer		Außenlufterhitzer	
Luftmenge	m³/h	kA	7.000	
Lufterwärmung	+11,9 °C auf +24 °C		kA	
Heizleistung	kcal/h	73.000	56.500	
Heizleistung	kW	85	66	
Heizmedium	PWW 90/70 °C		PWW 90/70 °C	

	Wärmerückgewinnung	
Luftmenge	m³/h	21.050
Außenlufttemp.	°C	-15
Austrittstemp.	°C	+11,9
max. Druckverlust	mm WS	28,5
Energie-Rückgew.	kcal/h	kA
Energie-Rückgew.	kW	kA

3.1.8 Haus 10, Verwaltung, Metzgerei/Küche, Cafeteria

Im Untergeschoss dieses Gebäudes befinden sich die technischen Anlagen sowie mehrere Lagerräume. Das darüberliegende Stockwerk wird überwiegend als Küche und Metzgerei genutzt. In der nächsthöheren Etage sind auf der einen Seite des Gebäudes eine Gaststätte sowie ein Kiosk untergebracht. Auf der anderen Seite befinden sich die Büroflächen der Verwaltung. Im Obergeschoss sind eine Cafeteria sowie ein Tagungsraum eingerichtet. Im Dachgeschoss dieses Gebäudeteils befinden sich der Aufzugsmaschinenraum sowie Räumlichkeiten für die Unterbringung der Haustechnik. Früher war hier noch ein Kühlturm installiert, um die nötige Kälte für Küche und vor allem die Metzgerei zu erzeugen. Dieser ist mittlerweile abgebaut. Die Kühlhäuser werden elektrisch betrieben.

Durch die in der Küche eingesetzte Bandspülmaschine sowie die Metzgerei ergibt sich ein hoher Warmwasserverbrauch in diesem Gebäude. Dieser wird noch weiter erhöht durch die vorgeschriebenen Hygienevorschriften in diesen beiden Bereichen. Die Dachflächen eignen sich teilweise für eine Installation einer Solaranlage. Während sich das Dach der Verwaltung (auf Abbildung 32 links) gut dafür eignet, ist der Dachbereich des rechten Gebäudeteils nur bedingt geeignet. So kommt es in einem Teil zur Verschattung durch den dortigen Aufbau. Im Bereich links neben dem Aufbau befindet sich auch der Ausgang zur Dachfläche, der freigehalten werden muss. Es bleibt nur der Bereich südlich des Aufbaus, der solar genutzt werden könnte. Die von ihrer Ausrichtung her nutzbare Wandflächen

eignen sich nicht für eine Anbringung einer Solaranlage. Die Wandfläche des Verwaltungsbereichs wird durch die daneben liegende Kapelle verschattet. Beim rechten Gebäudeteil findet sich auf dieser Gebäudeseite der Eingang zur Gaststätte. Zudem verschatten Bäume und Sträucher diesen Gebäudeteil.



Abbildung 32 - Satellitenbild Haus 10



Abbildung 33 - Dach Haus 10 (Verwaltung)

Der Technikraum samt Heizungs- und Lüftungstechnik befindet sich im Untergeschoss des Gebäudes. Dort könnte man die Pufferspeicher aufstellen.



Abbildung 34 - Technikraum Haus 10 (Bild 1)



Abbildung 35 - Technikraum Haus 10 (Bild 2)

Die Verlegung der Leitungen von der Solaranlage bis in den Technikraum gestaltet sich schwierig. Auf zwei Seiten des Gebäudes befinden sich durchgängige Fensterfronten und an der dritten in Frage kommenden Außenwand liegt der Bereich für Aus- und Rücklieferungen von Küche und Metzgerei. Dort wären Rohre oder Kanäle hinderlich im täglichen Arbeitsablauf.



Abbildung 36 - Außenwand Cafeteria, Gaststätte



Abbildung 37 - Außenwand Cafeteria, Gaststätte und Küche



Abbildung 38 - Außenwand Haus 10 (Bereich Anlieferung)

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung:

Heizenergiebedarf: 694.538 kWh

WW-Jahresverbrauch: 3.212 m³

Größe WW-Speicher: 2 * 2000 l

In der folgenden Tabelle sind die Kennwerte der Lüftungsanlagen der verschiedenen Bereiche des Gebäudes aufgeführt.

Tabelle 8 - Lüftungsdaten Haus 10

Anlage	Abluft	Zuluft	Fortluft	Außenluft	Luftheizung		Luftheizung		Luftkühlung	
	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	kcal	kWh	kcal	kWh	kcal	kWh
Kartoffellager	3.300	3.900		600	0	0	0	0	8.000	9
Metzgerei			6.400	6.100	42.000	49	0	0	32.000	37
Küche			30.150	29.510	192.000	223	0	0	0	0
Lager			8.700	8.715	39.600	46	15.000	17	0	0
Gaststätte			4.075	4.225	28.800	34		0		0
Personal-Speiseraum			6.800	7.000	48.000	56		0	49.500	58
Kühlturm ¹⁾			26.700	26.700					260.000	303

Außenluftaufbereitungskammer

Gesamt					155.000	180
Küche		29.510				
Lager		8.715				
Gaststätte		4.225				
Metzgerei		6.100				
Kartoffellager		600				

¹⁾ Der Kühlturm existiert nicht mehr.

Die Werte wurden nur zur Orientierung für eine mögliche solare Kühlung aufgenommen.

Nach DIN 1946 Teil 1 Raumluftechnik: Terminologie und grafische Symbole ergibt sich für die raumluftechnischen Begriffe folgende Definition:

Tabelle 9 - Begriffe der Lüftungstechnik³⁰

Benennung	Definition
Abluft	Durch eine RLT-Anlage oder ein freies Lüftungssystem aus dem Raum abgezogene Luft.
Außenluft	Die gesamte aus dem Freien angesaugte Luft.
Fortluft	Die ins Freie abgeführte Luft.
Zuluft	Die gesamte dem Raum zuströmende Luft.

3.1.9 Haus 12, Kapelle und Turnhalle

Die Bodelschwinghkapelle und die Turnhalle sind in einem Gebäudekomplex untergebracht. Beide Bereiche sind durch ein flexibles Trennwandsystem miteinander verbunden und lassen sich so problemlos, wenn dies gewünscht wird, zu einem großen Saal umfunktionieren.

Die Beheizung dieses Gebäudes erfolgt in erster Linie über die Lüftungsanlage. Zusätzliche Wärme wird über den Fußboden abgegeben, unter dem unisolierte Rohre verlaufen.

Das in zwei Ebenen verlaufende Flachdach eignet sich nur teilweise für den Aufbau einer Solaranlage. Gegen Nachmittag kommt es durch den höheren linken Bereich des Daches

³⁰ DIN 1946 Teil 1 Raumluftechnik - Teil 1: Terminologie und graphische Symbole, 11.8, Kap. 2, Seiten 2-6 (ersetzt durch die DIN EN 12792 Lüftung von Gebäuden - Symbole, Terminologie und graphische Symbole)

auf der rechten Seite zu einer Verschattung der Anlage. Der tieferliegende Bereich ist zudem noch mit diversen Aufbauten versehen. Zudem ist auf dem linken Bereich über der Kapelle noch ein Metall-Kreuz aufgestellt, welches für einen Schattenwurf sorgt. Darüber hinaus stehen neben dem Gebäude einige Bäume, die zur Verschattung der Dachflächen führen. Die nach Südwesten ausgerichteten Wände können nicht solar genutzt werden, da durch die nahe liegende Schwimmhalle und diverse Bäume und Sträucher dieser Bereich verschattet wird.



Abbildung 39 - Satellitenbild Haus 12



Abbildung 40 - Dachansicht Haus 12 (Bild 1)



Abbildung 41 - Dachansicht Haus 12 (Bild 2)



Abbildung 42 - Außenwand Haus 12 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)

Die Haustechnik ist in einem Kellerraum unter der Kapelle untergebracht. Dort wäre evtl. das Aufstellen eines Pufferspeichers möglich. Falls das Raumangebot nicht ausreichen sollte, kann auch auf den Lagerraum (12.002) ausgewichen werden.

Eine Möglichkeit für die Verlegung der Rohrleitungen vom Dach in den Technikraum ist in Abbildung 42 dargestellt. Falls diese Variante aus optischen Gründen nicht in Frage kommen sollte, bliebe die Verlegung im Inneren des Gebäudes vom Dach durch das Stuhllager (12.118).

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung:

Heizenergiebedarf: 635.753 kWh

WW-Jahresverbrauch: 128 m³

Größe WW-Speicher: 1 * 1000 l

Die in Turnhalle und Gemeinschaftshalle (Kapelle) installierte Lüftungsanlage hat folgende Kennwerte.

Tabelle 10 - Lüftungsdaten Haus 12

		Zuluft-Gerät	Abluft-Gerät
Luftmenge	Turnhalle	m³/h	7.360
	Gemeinschaftshalle	m³/h	3.175
stat. Pressung		mm WS	kA
Motorleistung		kW	kA
Motordrehzahl		Upm	kA

		Lufterhitzer	Außenlufterhitzer
Luftmenge		m³/h	kA
			kA
Lufterwärmung		kcal/h	100.000
Heizleistung		kW	116
Heizmedium		PWW 90/70 °C	PWW 90/70 °C

3.1.10 Haus 13, „Haus an den Steinen“, Haus 15, „Haus am Turm“

Diese beiden Gebäude dienen als Wohnungen. Architektonisch entsprechen sie den Häusern 7, 9, 11 und 17 haben allerdings zwei Etagen weniger. Zwar unterscheiden sich die Grundrisse dieser beiden Gebäude von den anderen stufenförmig angeordneten Häusern, dies hat aber auf die Installation der Solaranlage keine Auswirkungen. Einzig die Tatsache, dass die Platzierung von Technikraum und Kellerraum umgekehrt angeordnet ist, muss berücksichtigt werden.



Abbildung 43 - Satellitenbild Haus 13



Abbildung 44 - Satellitenbild Haus 15

Auch in diesen Häusern ist im Technikraum wenig Platz übrig um die Pufferspeicher aufzustellen. Eventuell müsste auch hier auf den Nebenraum ausgewichen werden. Hier wäre auch die Verlegung der Rohre oder Kanäle, die von der Solaranlage kommen, einfacher, da die Außenwände des Technikraums mit Rohren, Kanälen und sonstigen Installationen fast vollständig bedeckt sind.



Abbildung 45 - Technikraum Haus 13 und 15 (Bild 1)



Abbildung 46 - Technikraum Haus 13 und 15 (Bild 2)



Abbildung 47 - Außenwand Haus 13 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)



Abbildung 48 - Außenwand Haus 15 (mögliche Rohrverlegung in den Kellerraum)

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung je Haus:

Heizenergiebedarf: 365.030 kWh

WW-Jahresverbrauch: 1.314 m³

Größe WW-Speicher: 1 * 2000 l

Die Kennwerte für die in den Gebäude 13 und 15 installierten Lüftungsanlagen werden in den beiden folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 11 - Lüftungsdaten Haus 13

	Zuluft-Gerät		Abluft-Gerät	
Luftmenge	m³/h	3.850	1.900	3.900
stat. Pressung	mm WS	60		65
Motorleistung	kW	1,9	0,45	4,1
Motordrehzahl	Upm	3.000	1.500	3.000

	Lufterhitzer	Aussenlufterhitzer
Luftmenge	m³/h	2.100
Lufterwärmung	+4 °C auf +26 °C	-15 °C auf +9 °C
Heizleistung	kcal/h	15.600
Heizleistung	kW	18
Heizmedium	PWW 90/70 °C	PWW 90/70 °C

	Wärmerückgewinnung
Luftmenge Zuluft	m³/h
Luftmenge Abluft	m³/h
Außenlufttemp.	°C
Austrittstemp.	°C
max. Druckverlust	mm WS
Energie-Rückgew.	kcal/h
Energie-Rückgew.	kW

Tabelle 12 - Lüftungsdaten Haus 15

	Zuluft-Gerät		Abluft-Gerät	
Luftmenge	m³/h	3.800	1.900	3.900
stat. Pressung	mm WS	60		65
Motorleistung	kW	1,9	0,45	4,1
Motordrehzahl	Upm	3.000	1.500	3.000

	Lufterhitzer	Aussenlufterhitzer
Luftmenge	m³/h	2.100
Lufterwärmung	+4 °C auf +26 °C	-15 °C auf +9,5 °C
Heizleistung	kcal/h	15.600
Heizleistung	kW	18
Heizmedium	PWW 90/70 °C	PWW 90/70 °C

	Wärmerückgewinnung
Luftmenge Zuluft	m³/h
Luftmenge Abluft	m³/h
Außenlufttemp.	°C
Austrittstemp.	°C
max. Druckverlust	mm WS
Energie-Rückgew.	kcal/h
Energie-Rückgew.	kW

3.1.11 Haus 14, Schwimmhalle

In der Schwimmhalle befinden sich zwei Becken: ein großes Schwimmbecken mit den Abmaßen 25 m lang, 8 m breit und 1,20 m tief sowie ein kleineres Therapiebecken mit den Abmessungen 8 mal 8 m und einem variablen Boden. Die Temperatur des großen Beckens liegt durchschnittlich bei 27 °C und die des kleineren bei ca. 30 °C. Die Raumlufttemperatur muss höher liegen als die Wasseroberflächentemperatur. Sonst kommt es zur Nebelbildung in der Schwimmhalle. Das Wasser wird i. d. R. zwei bis drei Mal pro Jahr komplett ausgewechselt.

Die Beheizung der Halle erfolgt über eine RLT-Anlage sowie durch eine Art Fußbodenheizung. Dabei sind die Rohre nicht wie sonst üblich im Boden unter dem zu beheizenden Bereich verlegt, sondern verlaufen ungedämmt unter der Kellerdecke.

Bei diesem Gebäude ist das Flachdach in zwei unterschiedliche Ebenen unterteilt. Der höhere der beiden Bereiche lässt sich gut durch eine Solaranlage nutzen. Hier gibt es keine Aufbauten, die zur Verschattung führen könnten. Lediglich umstehende Bäume müssten evtl. gestutzt werden, um einen Schattenwurf zu verhindern. Auf dem tieferliegenden Flachdachbereich sind einige Oberlichter und sonstige kleinere Aufbauten montiert. Eine solare Nutzung scheint hier schwierig, da auch der höhere Hallenbereich zur Verschattung dieses Dachbereiches führen wird.

Das Flachdach nach dem Umkehrdachprinzip wurde auf diesem Gebäude saniert. Der Aufbau entspricht nun dem eines herkömmlichen Flachdaches.

In die nach Südwesten gewandte Außenwand sind große Fensterflächen integriert. Somit kann dieser Bereich nicht durch eine Solaranlage genutzt werden.



Abbildung 49 - Satellitenbild Haus 14



Abbildung 50 - westl. Außenwand Haus 14
(mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)

Erfolgt die Verlegung der Rohre, wie oben dargestellt, an der westlichen Hauswand, so können im Keller die Speicher relativ gut platziert werden.



Abbildung 51 - Technikraum Haus 14 (Bild 1)

Abbildung 52 - Technikraum Haus 14 (Bild 2)

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung:

Heizenergiebedarf: 218.115 kWh

WW-Jahresverbrauch: 584 m³

Größe WW-Speicher: 1 * 1000 l

In folgender Tabelle sind die technischen Daten der Schwimmbadlüftungstechnik aufgeführt.

Tabelle 13 - Lüftungsdaten Haus 14

Anlage Neberäume				Anlage Schwimmhalle		Anlage Bewegungsbecken	
	Zuluft-Gerät			Zuluft-Gerät		Zuluft-Gerät	
Luftmenge	m³/h	3.000	6.000	4.000		3.100	
stat. Pressung	mm WS	101		84		93	
Motorleistung	kW	0,9	3,7	2,4		2,4	
Motordrehzahl	Upm	750	1.500	2.850		2.850	
	Lufterhitzer			Lufterhitzer		Lufterhitzer	
Luftmenge	m³/h	kA		kA		kA	
Lufterwärmung		+10 °C auf +45 °C		-5 °C auf +45 °C		-5 °C auf +55 °C	
Heizleistung	kcal/h	60.000		60.000		57.000	
Heizleistung	kW	70		70		66	
Heizmedium		PWW 90/70 °C		PWW 90/70 °C		PWW 90/70 °C	
	Abluft-Gerät			Abluft-Gerät		Abluft-Gerät	
Luftmenge	m³/h	3.000	6.000	4.200		3.300	
stat. Pressung	mm WS	97		57		56	
Motorleistung	kW	0,8	3,2	1,5		1,1	
Motordrehzahl	Upm	750	1.500	1.500		1.500	
	Aussenlufterhitzer						
Luftmenge	m³/h	2.000					
Lufterwärmung		kA					
Heizleistung	kcal/h	12.000					
Heizleistung	kW	14					
Heizmedium		PWW 90/70 °C					

3.1.12 Haus 16, Schule

Das Schulgebäude bietet genügend Platz, um bis zu 65 Schülerinnen und Schüler mit geistigen und körperlichen Behinderungen zu unterrichten. Im Schulbetrieb ergibt sich eine durchschnittliche Nutzung von 17 Tagen pro Monat. Während den Ferien bleibt das Gebäude ungenutzt.

Bei der Planung einer möglichen solaren Nutzung der Dachfläche sind einige Oberlichter und Lüftungsleitungen auf dem Dach zu beachten. Durch Bäume könnte es zudem zu einer Verschattung der Dachfläche kommen.

An der Außenwandfläche nach Südwesten könnte eine Solaranlage installiert werden. Allerdings müssten dann Bäume und Sträucher entfernt oder zumindest großzügig gestutzt werden, um einer Verschattung der Anlage vorzubeugen.



Abbildung 53 - Satellitenbild Haus 16



Abbildung 54 - Dach Haus 16

Wie die beiden folgenden Abbildungen zeigen, ist im Technikraum kaum Platz für eine Aufstellung der Pufferspeicher. Somit müssten diese wohl aus Platzgründen im Aufzugsmaschinenraum im Untergeschoss oder außerhalb des Gebäudes platziert werden. Bei einer Integration des Speichers in die Böschung zwischen Schule und Haus 18, „Haus an der Schaukel“ könnte dieser Speicher die Wärme für beide Gebäude aufnehmen. Aus Kostengründen wird sich dies aber nicht realisieren lassen.



Abbildung 55 - Technikraum Haus 16 (Bild 1)



Abbildung 56 - Technikraum Haus 16 (Bild 2)

Sollte der Speicher doch im Keller platziert werden, so könnte ein Versorgungsschacht zur Verlegung der Rohre in den Technikraum genutzt werden.



Abbildung 57 - Versorgungsschacht Haus 16 (außen)



Abbildung 58 - Versorgungsschacht Haus 16 (innen)



Abbildung 59 - Außenwand Haus 16 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung:

Heizenergiebedarf: 681.748 kWh

WW-Jahresverbrauch: 245 m³

Größe WW-Speicher: 1 * 500 l (neu im Sommer 2007)

Die Daten der Lüftungsanlage der Schule sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 14 - Lüftungsdaten Haus 16

stat. Pressung	mm WS	55		40	
Motorleistung	kW	1,5	0,37	0,75	0,18
Motordrehzahl	Upm	3.000	1.500	3.000	1.500

	Lufterhitzer	
Luftmenge	m³/h	kA
Lufterwärmung	-15 °C auf +24 °C	
Heizleistung	kcal/h	43.500
Heizleistung	kW	51
Heizmedium	PWW 90/70 °C	

3.1.13 Haus 18, „Haus an der Schaukel“

In diesem Gebäude leben bis zu 14 Personen in intensiv betreuten Wohngruppen. Die Dachfläche des Hauses eignet sich zur Installation einer Solaranlage. Es sind einige Lichtkuppeln und Lüftungsausgänge auf dem Dach vorhanden. Die um das Haus stehenden Bäume könnten allerdings zur Verschattung des Daches führen. Die südwestliche Hauswand ist für eine solare Nutzung nicht geeignet, da das einstöckige Gebäude durch die Hanglage nicht frei steht. Zusätzlich verschatten Bäume und Hecken den in Frage kommenden Bereich.



Abbildung 60 - Satellitenbild Haus 18



Abbildung 61 - Dach Haus 18

Die Unterbringung der Speicher könnte im Keller des Gebäudes erfolgen. Zwar wird wahrscheinlich der Platz im Technikraum nicht ausreichen, aber in dem benachbarten Abstell-

raum wäre genügend Platz für die Aufstellung. Wie schon oben in der Beschreibung des Schulgebäudes angegeben, könnte für dieses Gebäude auch eine gemeinsame Nutzung eines Speichers mit der Schule in Frage kommen. Der Speicher müsste dann im Hang zwischen den beiden Gebäuden errichtet werden.



Abbildung 62 - Technikraum Haus 18



Abbildung 63 - Abstellraum neben Technikraum Haus 18



**Abbildung 64 - nördl. Außenwand Haus 18
(mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)**

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung:

Heizenergiebedarf: 121.848 kWh

WW-Jahresverbrauch: 730 m³

Größe WW-Speicher: 1 * 550 l

Die Daten der Lüftungsanlage von Haus 18 sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 15 - Lüftungsdaten Haus 18

	Zuluft-Gerät		Abluft-Gerät	
Luftmenge	m³/h	2.450		2.900
stat. Pressung	mm WS	kA		kA
Motorleistung	kW	1	0,25	kA
Motordrehzahl	Upm	1.500	750	kA

	Lufterhitzer		Aussenlufterhitzer	
Luftmenge	m³/h	kA		2.400
Lufterwärmung		kA		-15 °C auf +9 °C
Heizleistung	kcal/h	19.000		17.000
Heizleistung	kW	22		20

	Wärmerückgewinnung	
Luftmenge	m³/h	kA
Außenlufttemp.	°C	kA
Austrittstemp.	°C	kA
max. Druckverlust	mm WS	kA
Energie-Rückgew.	kcal/h	kA
Energie-Rückgew.	kW	kA

3.1.14 Haus 20, „Haus am Wald“

Vor dem noch andauernden Umbau bot dieses Gebäude etwa 120 Bewohnern mit schweren und schwersten Behinderungen Platz. Nach der Umwandlung der Vierbettzimmer in Ein- und Zweibettzimmer wird sich die Kapazität dieser Einrichtung verringern. Grundsätzlich eignet sich das Dach des Gebäudes gut zur Installation einer Solaranlage. Lediglich der Aufzugsmaschinenraum als Aufbau auf dem Dach muss beachtet werden. Allerdings stellen die hochgewachsenen Bäume der Umgebung ein Verschattungsproblem dar. Dies betrifft auch die für eine Installation einer Solaranlage in Frage kommenden Außenwände. Eine Wandmontage ist nur realisierbar, wenn Bäume großzügig gefällt werden.



Abbildung 65 - Satellitenbild Haus 20



Abbildung 66 - Dach Haus 20

Die Aufstellung des Speichers müsste außerhalb des Technikraums erfolgen, da dieser vollkommen mit der vorhandenen Technik ausgefüllt ist. Die umliegenden Räume sind zwar zurzeit als Behandlungsräume für verschiedene therapeutische Maßnahmen belegt, aber eine Aufstellung in diesen Räumen sollte einer Aufstellung des Speichers außerhalb des Gebäudes unbedingt vorgezogen werden.



Abbildung 67 - Technikraum Haus 20



Abbildung 68 - süd. Außenwand Haus 20 (mögliche Rohrverlegung in den Technikraum)

Daten zu Heizung und Warmwasserbereitung:

Heizenergiebedarf: 474.127 kWh

WW-Jahresverbrauch: 3.723 m³

Größe WW-Speicher: 1 * 3000 l

Folgende Daten der Lüftungsanlage des Gebäudes konnten ermittelt werden.

Tabelle 16 - Lüftungsdaten Haus 20

	Zuluft-Gerät		Abluft-Gerät	
Luftmenge	m ³ /h	22.500	11.250	23.500
stat. Pressung	mm WS	80		85
Motorleistung	kW	16	4,0	16
Motordrehzahl	Upm	1.500	750	1.500

	Lufterhitzer	
Luftmenge	m ³ /h	kA
Lufterwärmung	+10 °C auf +30 °C	
Heizleistung	kcal/h	138.000
Heizleistung	kW	160
Heizmedium	PWW 90/70 °C	

Aussenlufterhitzer	
8.000	
-15 °C auf +10 °C	
60.000	
70	
PWW 90/70 °C	

	Wärmerückgewinnung	
Luftmenge	m ³ /h	kA
Außenlufttemp.	°C	kA
Austrittstemp.	°C	kA
max. Druckverlust	mm WS	kA
Energie-Rückgew.	kcal/h	80.000
Energie-Rückgew.	kW	93

3.2 Auslegung und Simulation der Solaranlagen

Für die Auslegung und Simulation der beiden Solaranlagentypen werden zwei verschiedene Programme benutzt. Für die Berechnung der Solarluftanlagen wird die Software „Luftikuss“ von der Grammer Solar GmbH verwendet. Die Solarwasseranlagen werden mit dem Programm T*SOL der Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH ausgelegt und simuliert.

3.2.1 Anlagenauslegung für Solarluftkollektoren mit Luftikuss

Weiterhin kann mit dieser Software der Wärmebedarf der Gebäude abgeschätzt werden. Die Auslegung mit diesem Programm geschieht in folgenden Schritten:

LUFTIKUSS - [Allgemeine Daten - Project1.lft]

Datei Allgemeine Daten Wärmebedarf Auslegungskriterien Ergebnisse Info

Allgemeine Daten

Projekt:

Bearbeitung:

Datum: Klimaregion: Mainz

Gebäudetyp:

Konventioneller Energieträger

☐ Erdgas ☐ Öl ☐ Strom ☒ Fernwärme

Jährlicher Energieverbrauch: kA kWh ☐ Bild ebenfalls ausdrucken ☐ s/w

Wärmerückgewinnung ☒ Ja ☐ Nein **Rückwärmzahl:** 70 %

Solare Warmwasserbereitung ☒ Ja ☐ Nein **tägl. Warmwasserbedarf:** m³/Tag

Gebäudedaten

Gebäudelänge:	m	Gebäudegrundfläche:	m²
Gebäudebreite:	m	verfügbare Dachfläche:	m²
Gebäudehöhe:	m	beheiztes Volumen:	m³
Gebäude k-Wert:	1,2 W/m²K	Umschließungsfläche:	m²

OK

Abbildung 69 - Screenshot LUFTIKUSS - Allgemeine Daten

Zuerst werden die allgemeinen Daten des Gebäudes erfasst. Dafür wurde als Klimaregion aus den 10 vorgegebenen Gebieten die naheliegendste Region (Mainz) ausgewählt. Der Gebäudetyp wurde ebenfalls aus 10 verschiedenen Vorgaben, vom Bürogebäude bis zur Turn- und Sporthalle gewählt. Die Wärmeversorgung des Zentrums erfolgt über ein Heizwerk, welches Fernwärme erzeugt. Leider kann der jährliche Energieverbrauch der einzelnen Gebäude nicht ermittelt werden. Das Programm lässt in solch einem Fall die Eingabe „kA“ für „keine Angaben“ zu. In den Gebäuden sind Wärmerückgewinnungsanlagen installiert. Durch diese Kreuzstromwärmetauscher kann eine Rückwärmzahl von maximal 70 Prozent erreicht werden. Bei der Berechnung wurde davon ausgegangen, dass auch eine solare Brauchwassererwärmung mit der Luftkollektoranlage vorgesehen werden soll. Dafür muss dann auch der tägliche Warmwasserverbrauch erfasst werden. Die Gebäude-

daten wurden anhand der vorliegenden Baupläne ermittelt. Die Gebäudelänge und -breite können dabei aber nicht in allen Fällen originalgetreu eingetragen werden, da die Gebäude oft nicht rechteckig sind und somit die automatische Berechnung der Gebäudegrundfläche nicht möglich ist. Daher wurde die Grundfläche manuell berechnet und, falls nötig, dann die Wurzel der Summe als Länge und Breite des Gebäudes eingegeben. Bei der Gebäudehöhe wurde von einer durchschnittlichen Etagenhöhe von 3,25 m ausgegangen. Der k-Wert (heute U-Wert) der Gebäude wurde anhand von typischen U-Werten der Baualtersklasse zwischen 1969 und 1983 ermittelt. Die Daten basieren auf einer Tabelle aus der Broschüre „Energieeffizienz durch Altbausanierung in Rheinland-Pfalz“³¹ des Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz des Landes Rheinland-Pfalz.

Tabelle 17 - Berechnung des U-Wertes der Gebäude des Bodelschwingh Zentrums

Bauteil	U-Werte [W/m²K]
Außenwände	0,6
Flachdach	0,5
Kellerdecke/Erdreich berührendes Bauteil	0,8
Fenster	2,8
Summe	4,7
Mittelwert	1,175

Die Gebäudegrundfläche wird, wie oben beschrieben, über die Gebäudelänge und -breite automatisch errechnet. Im nächsten Feld muss die zur Verfügung stehende Dachfläche manuell erfasst werden. Diese hängt zum einen mit den Abmessungen des Gebäudes und zum anderen mit den Gegebenheiten auf dem Dach zusammen. Befinden sich dort Objekte wie Kamine, Antennen, Entlüftungen, Ausstiege, Lichtkuppeln oder Sonstiges, was zur Verschattung der Anlage führen kann, so verringert sich die nutzbare Dachfläche. Das beheizte Volumen sowie die Umschließungsfläche der einzelnen Gebäude wurde manuell berechnet. Die Berechnungen befinden sich auf der beiliegenden CD.

³¹ Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz: Energieeffizienz durch Altbausanierung in Rheinland-Pfalz (2006), S. 17

LUFTIKUSS - [Wärmebedarf - Project1.lft]

Datei Allgemeine Daten **Wärmebedarf** Auslegungskriterien Ergebnisse Info

Wärmebedarf

geforderte Raumtemperatur:	28 °C	Luftwechselrate:	1/h
Normauslegungstemperatur:	-12 °C	Außenluftmenge:	m³/h
Transmissionswärme		Lüftungswärme	
Normwärmebedarf QT:	0,0 kW	Normwärmebedarf QL:	0,0 kW
Gesamtnormwärmebedarf QT+ QL:		0 kW	
Parameter der Heizungsanlage			
Jahresnutzungsgrad des konventionellen Heizsystems:		%	
Parameter für Warmwasserspeicher			
Zulauftemperatur:	°C	Speichersolltemperatur:	°C

OK

Abbildung 70 - Screenshot LUFTIKUSS - Wärmebedarf

Im nächsten Schritt werden nun die zur Berechnung des Wärmebedarfs notwendigen Daten erfasst. Da, wie oben schon beschrieben, die geforderte Raumtemperatur für die Behaglichkeit der behinderten Menschen über den sonst üblichen 20 °C liegen muss, wird hier von 28 °C ausgegangen. Die Normauslegungstemperatur wird durch das Programm automatisch festgelegt. Als Standardwerte sind die DIN-Werte vorgegeben. Im nächsten Feld wird die stündliche Luftwechselrate eingestellt. Die benötigte Außenluftmenge ergibt sich durch die Multiplikation des beheizten Volumens mal die stündliche Luftwechselrate. Transmissionswärme (Q_T) und Lüftungswärme (Q_L) werden automatisch vom Programm berechnet. Zwischen 50 und 90 % muss der Wert für den Jahresnutzungsgrad des konventionellen Heizsystems liegen. Als Standardwert sind 75 % vorgegeben. In den nächsten beiden Feldern werden die Zulauftemperatur sowie die Speichersolltemperatur erfasst.

LUFTIKUSS - [Auslegungskriterien - Project1.lft]

Datei Allgemeine Daten Wärmebedarf **Auslegungskriterien** Ergebnisse Info

Betriebsart des Kollektors

- ☒ Frischluftbetrieb
- ☐ Mischluftbetrieb
- ☐ Umluftbetrieb

spez. Volumenstrom : **60** $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$

Ausrichtung

Neigung: **45°**

Azimut: **0°**

Auslegung nach

- ☒ Heizleistung
- ☐ Kollektorfläche
- ☐ Solare Deckungsrate

Prozent der konventionellen Heizleistung: %

Berechnen

Nachtabenkung der Raumtemperatur

von **22** Uhr bis **6** Uhr um **3** °C

Heizgrenztemperatur

Heizgrenztemperatur: **15,0** °C

Laufzeit der Lüftungsanlage

von **6** Uhr bis **22** Uhr

Interne Gewinne

Interne Gewinne : **,91** W/m^3

Abbildung 71 - Screenshot LUFTIKUSS - Auslegungskriterien

In der dritten und letzten Eingabemaske werden nun die Auslegungskriterien der Solarluftanlage erfasst. Bei der Betriebsart kann festgelegt werden, welche Luft zum Betrieb der Anlage genutzt wird. Beim Frischluftbetrieb steigt die Luftwechselrate mit zunehmender Kollektorfläche an. Der Wirkungsgrad der Luftkollektoranlage ist bei dieser Betriebsart am höchsten. Im Umluftbetrieb wird dem Kollektor Raumluft zugeführt. Aufgrund der im Vergleich zur Umgebung höheren Raumtemperatur führt dies zu niedrigeren Kollektorstufigungsgraden. Es können jedoch höhere Temperaturen erreicht werden. Beim Mischluftbetrieb werden dem Kollektor sowohl Frischluft als auch Umluft zugeführt. Dabei nimmt der Frischluftanteil der dem Kollektor zugeführten Luft mit steigender Kollektorfläche ab. Anschließend kann der spezifische Volumenstrom des Kollektors eingestellt werden. Der Standardwert liegt hier bei $60 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Um die Ausrichtung des Kollektors einzugeben, können nun der Neigungswinkel sowie die Abweichung von der Südrichtung (Azimut) eingegeben werden.

Anschließend kann festgelegt werden, nach welchen Kriterien die Auslegung der Anlage durchgeführt werden soll. Bei der ersten Variante kann die gewünschte Spitzenleistung der Solaranlage in Prozent der konventionellen Heizleistung als Kriterium eingegeben werden. Man kann aber auch die gewünschte Kollektorfläche als fixes Merkmal einsetzen. Die dritte Möglichkeit der Auslegung ist die Festlegung der gewünschten, auf den Energieverbrauch für Heizung und Lüftung bezogenen, solaren Deckungsrate in Prozent.

In dem folgenden Bereich werden der Zeitraum für Nachtabensenkung von 22 bis 6 Uhr und die Temperaturreduktion erfasst. Die Heizgrenztemperatur gibt die Außenlufttemperatur an, „ab der ein Gebäude zur Aufrechterhaltung einer Soll-Innentemperatur nicht mehr beheizt werden muss, da die nutzbaren Wärmegewinne im Gebäude mindestens gleich den Wärmeverlusten nach außen sind“³². Ebenfalls erfasst werden die Laufzeit der Lüftungsanlage und die internen Gewinne. Letztere entstehen durch Menschen, Geräte und Beleuchtung, welche durch den Energieumsatz zur Erwärmung der Raumluft und des Gebäudes führen.³³

3.2.2 Anlagenauslegung für Solarwasserkollektoren mit T*SOL

Für die Auslegung der thermischen Solarwasseranlagen wurde das Simulationsprogramm T*SOL der Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH verwendet. Es dient der Auslegung von Solaranlagen systemen für Warmwasserbereitung sowie für solare Heizungsunterstützung. Die Berechnung der Anlage erfolgt anhand von vielen verschiedenen Einstellmöglichkeiten, die über vorgegebene Wahlmöglichkeiten und eigene Eingaben durchgeführt werden.

Da dieses Programm im Vergleich zu Luftikuss wesentlich mehr Eingaben erfordert und auch bedeutend mehr Einstellungen zulässt, wird auf eine detaillierte Beschreibung und Auflistung aller eingegebenen Daten an dieser Stelle verzichtet. Einige relevanten Eingabedaten sowie die errechneten Deckungsanteile und Systemnutzungsgrade sind in Tabelle 18 aufgeführt.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Auslegung der Solarwasseranlagen für das Bodelschwingh Zentrum kurz erläutert.

Neben der Erfassung der allgemeinen Projektdaten müssen auch hier wie bei Luftikuss Standort und Klimaregion ausgewählt werden. Über einen Auswahldialog (siehe Abbildung 72) wird anschließend das gewünschte solare System ausgewählt. Für die Anlagen des Bodelschwingh Zentrums wurde ein Pufferspeichersystem nur zur Warmwasserbereitung eingestellt. Auf eine Heizungsunterstützung wurde wegen des sehr hohen Warmwasserbedarfs verzichtet.

³² vgl. www.bauwerk-verlag.de/baulexikon/index.shtml?HEIZGRENZTEMPERATUR.HTM, 27.04.2007, 11:03 Uhr

³³ www.baunetz.de/sixcms_4/sixcms/detail.php?id=146215, 27.04.2007, 11:12 Uhr

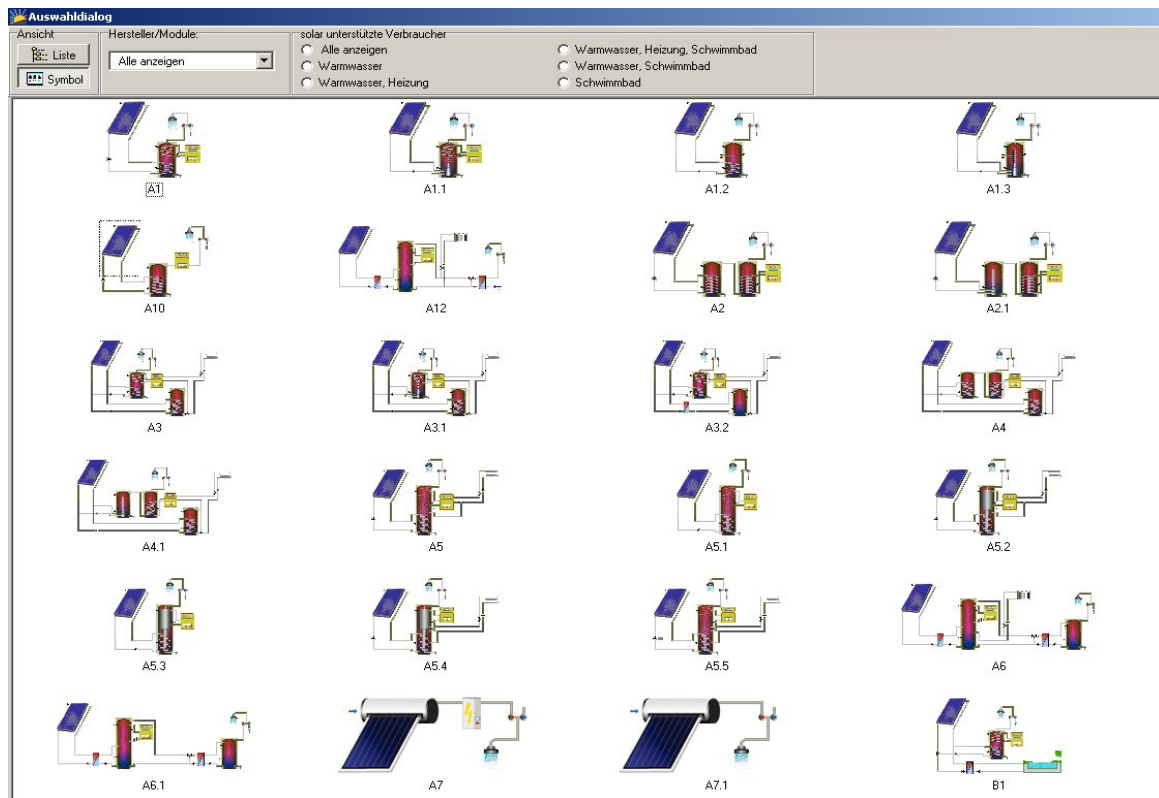


Abbildung 72 - Auswahldialog T*SOL

Nun müssen alle Parameter, die bei der Planung der Anlage von Bedeutung sind, erfasst werden. Dabei wurde nach folgender Vorgehensweise vorgegangen: Die Dachflächen der Häuser wurden auf den Bauplänen vermessen und die Brutto-Dachfläche ermittelt. Im nächsten Schritt wurden die zur solaren Nutzung geeigneten Dachflächen ermittelt. Dafür wurden Aufbauten, Brüstungen, Bäume usw., die zu einer Verschattung führen könnten, berücksichtigt. Für die nutzbare Dachfläche wurde anhand des ausgewählten Kollektors die Gesamtanzahl der zu installierenden Kollektoren ermittelt. Anschließend wurde versucht durch Veränderung verschiedener vorher durchgeführter Einstellungen den Deckungsanteil sowie den Systemnutzungsgrad der Anlage zu optimieren.

Die Eingabe der Daten erfolgte in verschiedenen Komponentenfeldern für Kollektor, Speicher, Verrohrung usw. Durch das Anklicken der einzelnen Komponenten wurde ein Menü zur Parametereingabe geöffnet und die Daten konnten zum jeweiligen Anlagenteil erfasst werden. Der Warmwasserbedarf konnte über ein Tagesprofil erfasst werden. Auch ein wechselnder monatlicher Bedarf konnte eingegeben werden (z. B. für das Schulgebäude: geringer Bedarf in den Ferien). Über die in T*SOL integrierte Kollektordatenbank konnte aus einer Vielzahl von marktgängigen Kollektoren der gewünschte ausgewählt werden. Für diese Simulation wurde der Typ Solar Roof FDK von der Wagner & Co Solartechnik GmbH ausgewählt, der wie alle anderen Kollektoren der Datenbank mit spezifischen Daten hinterlegt war.

Sind alle Daten erfasst, so kann mit einer Simulation die Anlage durchgerechnet werden. Sind noch Änderungen notwendig, so können diese nachträglich in den jeweiligen Programmfenstern noch eingegeben werden. Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt in einer pdf-Datei. Diese Dateien sind auf der CD beigelegt.

Tabelle 18 - T*SOL Daten

Haus		1		2		8		10		11		12
Warmwasser Jahresverbrauch	m³	3.797		398		219		3.212		1.314		128
einfache Länge des Rohrnetzes	m	40		30		50		40		40		40
Anzahl der Kollektoren	St.	13		6		17		30		14		12
Brutto-Kollektorfläche	m²	136		63		178		314		147		126
geeignete Dachfläche	m²	420		200		560		987		450		376
Verrohrung im Haus	m	20		10		20		20		20		20
Verrohrung im Freien	m	20		20		30		20		20		20
Anzahl der 2000 l Pufferspeicher	St.	4		2		5		8		4		3
Volumen/Anzahl WW-Speicher	l & St.	1.500	2	550	1	750	1	2.000	2	2.000	1	1.000
Fernwärme Nennleistung	kW	400		70		250		350		235		325
Deckungsanteil		33%		55%		44%		55%		52%		33%
Systemnutzungsgrad		44%		20%		4%	1)	27%		24%		3%
Verbrauchsprofil		SWH		SWH		PS		Hotel		SWH		SS
Haus		13		14		16		18		20		
Warmwasser Jahresverbrauch	m³	1.314		584		245		730		3.723		
einfache Länge des Rohrnetzes	m	40		40		30		30		50		
Anzahl der Kollektoren	St.	14		16		14		16		26		
Brutto-Kollektorfläche	m²	147		168		147		168		272		
geeignete Dachfläche	m²	450		510		441		515		817,9		
Verrohrung im Haus	m	20		20		10		10		20		
Verrohrung im Freien	m	20		20		20		20		30		
Anzahl der 2000 l Pufferspeicher	St.	4		4		4		4		7		
Volumen/Anzahl WW-Speicher	l & St.	2.000	1	1.000	1	500	1	550	1	3.000	1	
Fernwärme Nennleistung	kW	190		100		350		60		250		
Deckungsanteil		52%		54%		38%		67%		49%		
Systemnutzungsgrad		24%		43%		4%	3)	15%		32%		
Verbrauchsprofil		SWH		Schule		Schule		SWH		SWH		

SWH = Seniorenwohnheim; PS = Produktionsstätte; SS = Sportstätte

Häuser 7, 9 und 17 entsprechen aus 11; Haus 15 entspricht Haus 13

1) Gebäudenutzung nur tagsüber von Mo. bis Fr.

2) Turnhalle wird tagsüber genutzt; Verbrauchsrückgang am Abend, Wochenende und Ferien

3) Schule wird in den Ferien am Wochenende und abends nicht genutzt

3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei der Frage ob sich eine Investition in eine Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung oder der Heizung im Haus lohnt, muss die Wirtschaftlichkeit der Anlage betrachtet werden.

Um mit konkreten Zahlen einer Solaranlageninstallation rechnen zu können, wurde an drei Unternehmen jeweils eine Anfrage über eine Angebotserstellung gerichtet. Aufgrund der in dieser Arbeit erarbeiteten Daten und Informationen sollten diese dann angefertigt werden. Zusätzlich wurde eine Kostenkalkulation für Solarwasseranlagen selbst durchgeführt. Von den drei angeschriebenen Unternehmen gaben zwei ein Angebot ab: zum einen die GRAMMER Solar GmbH für Solarluftanlagen und zum anderen die WIGA Energietechnik e.K. für Solarwasseranlagen. Der Solarverein Trier e.V. war leider nicht bereit, eine Angebotskalkulation durchzuführen.

Bei der eigenen Kalkulation wurden Daten und Preise der WESTFA Vertriebs- und Verwaltungs-GmbH zugrunde gelegt.

Die folgenden Tabellen zeigen die Angebotskosten, die Kollektorfläche sowie den Preis pro Quadratmeter.

Tabelle 19 - Zusammenfassung Angebot Grammer (Solarluft)

Haus	Netto inkl. Montage	Kollektorfläche	Kosten pro m ²	Einsatzgebiet
1	44.200 €	100 m ²	442 €	WW & HÜ
2	20.700 €	50 m ²	414 €	HÜ
7	32.800 €	70 m ²	469 €	WW & HÜ
8	42.100 €	120 m ²	351 €	HÜ
9	32.800 €	70 m ²	469 €	WW & HÜ
10	50.300 €	120 m ²	419 €	WW & HÜ
11	32.800 €	70 m ²	469 €	WW & HÜ
12	35.700 €	90 m ²	397 €	HÜ
13	17.600 €	45 m ²	391 €	HÜ
14	61.800 €	150 m ²	412 €	HÜ
15	17.600 €	45 m ²	391 €	HÜ
16	22.700 €	60 m ²	378 €	HÜ
17	32.800 €	70 m ²	469 €	WW & HÜ
18	20.700 €	40 m ²	518 €	WW & HÜ
20	45.200 €	105 m ²	430 €	WW & HÜ
509.800 €		1.205 m ²	428 €	

WW = Warmwasser-Bereitung; HÜ = Heizungsunterstützung

Tabelle 20 - Zusammenfassung eigene Kalkulation zur WW-Bereitung (Solarwasser)

Haus	Netto inkl. Montage	Kollektorfläche	Kosten pro m ²
1	86.056 €	137 m ²	628 €
2	37.699 €	62 m ²	608 €
7	84.608 €	147 m ²	576 €
8	96.521 €	178 m ²	542 €
9	84.608 €	147 m ²	576 €
10	172.450 €	315 m ²	547 €
11	84.608 €	147 m ²	576 €
12	70.687 €	147 m ²	481 €
13	84.608 €	147 m ²	576 €
14	90.876 €	168 m ²	541 €
15	84.608 €	147 m ²	576 €
16	79.246 €	147 m ²	539 €
17	84.608 €	147 m ²	576 €
18	92.615 €	168 m ²	551 €
20	153.426 €	271 m ²	566 €
	1.387.223 €	2.475 m ²	564 €

Tabelle 21 - Zusammenfassung Angebot WIGA zur Frischwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Solarwasser)

Haus	Netto inkl. Montage	Kollektorfläche	Kosten pro m ²
1	87.630 €	106 m ²	827 €
2	45.305 €	53 m ²	855 €
7	84.118 €	106 m ²	794 €
8	96.635 €	138 m ²	700 €
9	64.201 €	85 m ²	755 €
10	141.395 €	213 m ²	664 €
11	84.118 €	106 m ²	794 €
12	58.651 €	85 m ²	690 €
13	79.495 €	106 m ²	750 €
14	73.945 €	106 m ²	698 €
15	79.495 €	106 m ²	750 €
16	73.945 €	106 m ²	698 €
17	84.118 €	106 m ²	794 €
18	73.945 €	106 m ²	698 €
20	147.660 €	213 m ²	693 €
	1.274.656 €	1.741 m ²	744 €

Die Kosten der Solarluftanlagen sind geringer als die der Solarwasseranlagen. Dies ist begründet in den niedrigeren Kollektorkosten. Der Umgang mit dem Medium Luft lässt sich kostengünstiger umsetzen als der mit Wasser. So müssen in den Kollektoren z. B. keine Kupferleitungen zum Flüssigkeitstransport verbaut werden, was sich positiv auf die Kosten auswirkt. Zum Transport der Luft reicht ein Ventilator anstatt einer Pumpe für die Flüssigkeit.

Beim Vergleich der Kollektorfläche fällt auf, dass die Werte zum Teil sehr unterschiedlich sind. Die Anlagenauslegung der Grammer GmbH erfolgte über das Simulationsprogramm Luftkuss. Dabei wurde mit Hilfe der Häuserdaten und im Programm hinterlegten Szenarien die Größe des Kollektorfeldes bestimmt.

Der selbst erstellten Kalkulation und den darin verwendeten Flächen liegt der Ansatz zugrunde, den hohen Wärmebedarf der Gebäude durch einen hohen Wärmeertrag zu decken. Dieser sollte über eine nahezu maximale Kollektorfläche erwirtschaftet werden.

Ähnlich ging auch die WIGA Energietechnik e.K. bzw. das von diesem Unternehmen beauftragte Planungs- und Projektierungsbüro (varmeco GmbH & Co.KG) vor.

Auf der Grundlage der vorliegenden Angebote konnte eine Prognose der Wirtschaftlichkeit für jede installierte Solaranlage durchgeführt werden.

Beispielhaft wird in Tabelle 22 die Wirtschaftlichkeitsprognose für Gebäude 1 auf Grundlage des Angebots der Grammer GmbH und der selbst erstellten Kostenkalkulation dargestellt. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen aller Solaranlagen sowie sämtliche Ergebnisse können auf der beigefügten CD eingesehen werden. Eine Übersicht befindet sich in Anlage 7. Nach der Tabelle werden die einzelnen Positionen der Prognose erläutert.

Tabelle 22 - Wirtschaftlichkeitsprognose Haus 1 (Grammer und eigene Kalkulation)

	Grammer GmbH (Solar-Luft)		eigene Kalkulation (Solar-Wasser)	
Solaranlage inkl. Montagesystem	100 m² JumboSolar		137 m²	
Paketpreis - netto (inkl. Montage):	44.200 €	44.200 €	86.056 €	86.056 €
abzüglich Sowiesokosten	0 €	0 €	-5.440 €	-5.440 €
abzüglich 30% Tilgungszuschuss aus KfW-Förderprogramm "Erneuerbare Energien"	-13.260 €	-13.260 €	-25.817 €	-25.817 €
abzüglich evtl. zusätzlich benötigter Förderung	0 €	nicht benötigt	0 €	-3.557 €
Netto - Investitionssumme:	30.940 €	30.940 €	54.799 €	51.242 €
Kapitalzins:	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%
Lebensdauer:	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre
Kapitalkosten pro Jahr:	2.277 €/a	2.277 €/a	4.032 €/a	3.770 €/a
Betriebskosten:	378 €/a	378 €/a	356 €/a	356 €/a
Wartungskosten:	420 €/a	420 €/a	968 €/a	968 €/a
prognostizierter Solarertrag pro Jahr:	64.316 kWh/a	64.316 kWh/a	60.650 kWh/a	60.650 kWh/a
Preis kWh - solar:	0,048 €/kWh	0,048 €/kWh	0,088 €/kWh	0,084 €/kWh
Jahresnutzungsgrad des konv. Heizsystems (Annahme):	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%
Brennstoffeinsparung in kWh:	85.755 kWh/a	85.755 kWh/a	71.400 kWh/a	71.400 kWh/a
Brennstoffeinsparung: (Fernwärme)	85.755 kWh/a	85.755 kWh/a	71.400 kWh/a	71.400 kWh/a
Preis kWh - konventionell:	0,084 €/kWh	0,084 €/kWh	0,084 €/kWh	0,084 €/kWh
Kosteneinsparung pro Jahr:	7.203 €/a	7.203 €/a	5.998 €/a	5.998 €/a
statische Amortisationszeit:	4,3 Jahre	4,3 Jahre	9,1 Jahre	8,5 Jahre
CO ₂ -Einsparung pro Jahr:	20,6 t/a	20,6 t/a	14,2 t/a	14,2 t/a
Kosten pro Tonne CO ₂ -Einsparung:	149 €/t	149 €/t	378 €/t	359 €/t

Als Ausgangspunkt dient bei allen Berechnungen der Netto-Paketpreis der Anlage je Haus. Dieser setzt sich zusammen aus dem Preis für die Solaranlage laut dem jeweiligen Angebot sowie den Kosten für die Montage der Anlage.

Von diesem Betrag wurden im ersten Schritt die Sowiesokosten abgezogen. Dies sind Kosten, die zwar im Zusammenhang mit der Errichtung der Solaranlage anfallen aber sowieso entstanden wären, so z. B. für den Austausch der Warmwasserspeicher. Diese sind veraltet und müssten daher ohnehin ausgetauscht werden.

Im Folgenden wird der Tilgungszuschuss aus dem KfW-Förderprogramm „Erneuerbare Energien“ in Höhe von 30 % von den Netto-Anschaffungskosten subtrahiert. Liegt der sich im Laufe der Berechnung ergebende Preis für eine Kilowattstunde Wärme aus Solarenergie über dem Preis der konventionellen Wärmebereitstellung, so wird im nächsten Schritt die zusätzlich benötigte Förderung abgezogen, um den Preis der herkömmlichen Wärmeerzeugung zu erreichen.

Somit gelangt man zur Netto-Investitionssumme, also dem Betrag der für die Errichtung der Anlage aufgebracht werden müsste.

Im Folgenden werden nun die Kosten der Anlage betrachtet. Zuerst werden bei einem Kapitalzinssatz laut KfW von vier Prozent³⁴ und einer Lebensdauer der Anlage von 20 Jahren die Kapitalkosten pro Jahr ermittelt. Diese zu zahlende Annuität ist eine regelmäßige, gleich bleibende Zahlung für einen Kredit, die sich aus der Tilgung und den Zinsen zusammensetzt. Während sich Zins- und Tilgungsanteil ständig verändern, bleibt die Annuität konstant.³⁵

Die Betriebskosten der Anlage entsprechen den Aufwendungen für Strom zum Betrieb von Pumpen usw. Sie werden mit fünf Prozent vom prognostizierten Solarertrag pro Jahr angenommen und mit dem Strompreis multipliziert. Dabei wurde der heutige Strompreis mit Hilfe der Stromteuerungsrate von 5,2 %³⁶ auf die nächsten 10 Jahre hochgerechnet und daraus wiederum der Mittelwert gebildet.

Tabelle 23 - Strompreisentwicklung für die nächsten 10 Jahre

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW
€/kWh	0,0900	0,0947	0,0996	0,1048	0,1102	0,1160	0,1220	0,1283	0,1350	0,1420	0,1494	0,1175

Auch die Wartungskosten der Anlage sind zu berücksichtigen. Dafür werden 1,5 Prozent von den Investitionskosten veranschlagt.

Der prognostizierte Solarertrag pro Jahr wurde für jede Anlage mit Hilfe der Programme LUFTIKUSS (Solarluft) und T*SOL (Solarwasser) ermittelt.

Den Preis einer solar erzeugten Kilowattstunde Wärmeenergie erhält man mittels der Division der jährlichen Kosten für die solare Wärmeerzeugung (Kapital-, Betriebs- und Wartungskosten) durch den prognostizierten Solarertrag pro Jahr.

Der Jahresnutzungsgrad des konventionellen Heizsystems (Öl- und Holzhackschnitzel-Heizung) wird mit 75 Prozent angenommen.

Setzt man nun den prognostizierten Solarertrag pro Jahr gleich dem Jahresnutzungsgrad des konventionellen Heizsystems, so ergibt sich die Brennstoffeinsparung in kWh die durch den Betrieb der Solaranlage erreicht werden kann.

³⁴ www.kfw-formularsammlung.de/Konditionenanzeiger/Net/KonditionenAnzeiger?Bankengruppe=1392435951&Programmgruppe=1881462390, 12.11.2007, 19:38 Uhr

³⁵ Zier: Lehrgang: Datenverarbeitung (2005), S. 2

³⁶ www.energieverbraucher.de:80/de/Energiebezug/Strom/Preise/site__2022, 15.11.2007, 16:25 Uhr

Der Preis pro Kilowattstunde für die konventionell erzeugte Wärmeenergie liegt bei durchschnittlich 0,084 €/kWh für die nächsten zehn Jahre. Die Berechnung dieses Wertes kann in Anlage 5 eingesehen werden. Der mit der FAVORIT Unternehmens-Verwaltungs-GmbH vertraglich vereinbarte Preis für die Wärmelieferung setzte sich im Jahr 2006 wie folgt zusammen: zum einen aus dem Grundpreis für Raumwärme pro kW Wärmeanschlusswert und Jahr von 30,98 €/kW und zum anderen aus dem Arbeitspreis für Raumwärme und Warmwasser von 5,7542 Cent/kWh. Diese Preise gelten für alle Energieträger, d. h. es ist unerheblich, wie die Wärme erzeugt wird. Die Ölkesselanlage wird nur noch zur Deckung des Spitzenbedarfs sowie zur Überbrückung von Störungen des Holzkessels genutzt. Für die im Holzhackschnitzelkraftwerk erzeugte Wärmeenergie erfolgt aber eine Gutschrift aufgrund geringer Einstandspreise für den Wärmelieferanten. Pro Megawattstunde wurde die Vergütung von 3,86 € vereinbart. Dieser Betrag ist an den Oil Market Report (OMR), also die Einkaufspreise für Kraftstoffe ab Raffinerie, gekoppelt. Er kann so erhöht oder ermäßigt werden.

Multipliziert man die Menge an eingespartem Brennstoff mit dem Preis für die konventionelle Energie, so erhält man die Brennstoffkosteneinsparung pro Jahr.

Die statische Amortisationszeit errechnet sich durch die Division der Netto-Investitionssumme durch die Kosteneinsparung pro Jahr. Diese Zeit vergeht, bis die Anschaffungsauszahlung eines Objekts mit Hilfe der jährlichen Nettoeinzahlungen wieder gewonnen ist.³⁷

Wie schon beim prognostizierten Solarertrag wurde auch die jährliche CO₂-Einsparung mit den Programmen LUFTIKUSS und T*SOL errechnet. Die Menge an eingespartem Kohlenstoff bezieht sich allerdings auf die Substitution von fossilen Energieträgern durch eine Solaranlage. Da Holzhackschnitzel (HHS) CO₂-neutral verbrannt werden, wird die Kohlenstoffmenge in Bezug auf die HHS nicht reduziert.

Dividiert man die Kosten zur solaren Wärmeerzeugung (Kapital-, Betriebs- und Wartungskosten) pro Jahr durch die eingesparte Menge an CO₂, so ergeben sich die Kosten pro Tonne CO₂-Einsparung.

Um eine Reihenfolge der einzelnen Projekte festzulegen, wurden die Anlagen nach der höchsten solaren Rendite sortiert. Dafür wurden die Differenzen der Energieerzeugungskosten (konventionell minus solar) je Haus errechnet und mit dem jeweiligen prognosti-

³⁷ www.wirtschaftslexikon24.net/d/statische-amortisationszeit/statische-amortisationszeit.htm, 13.12.2007, 13:16 Uhr

zierten Solarertrag pro Jahr multipliziert. Diese Werte wurden anschließend in ein Verhältnis zur Netto-Investitionssumme gesetzt.

Tabelle 24 - Reihenfolge der wirtschaftlich sinnvollsten Solaranlagen (Angebot Grammer)

Haus	solarer Gewinn	Netto-Investitionssumme	solare Rendite	stat. Amortisationszeit
10	2.905 €/a	35.210 €	8,25%	4,1
20	2.509 €/a	31.640 €	7,93%	4,2
1	2.328 €/a	30.940 €	7,52%	4,3
17	1.527 €/a	22.960 €	6,65%	4,6
11	1.527 €/a	22.960 €	6,65%	4,6
9	1.527 €/a	22.960 €	6,65%	4,6
7	1.527 €/a	22.960 €	6,65%	4,6
18	779 €/a	14.490 €	5,37%	5,0
14S	1.332 €/a	35.070 €	3,80%	5,6
8	644 €/a	29.470 €	2,19%	6,3
16	267 €/a	15.890 €	1,68%	6,6
12	296 €/a	24.990 €	1,19%	6,9
15	139 €/a	12.320 €	1,13%	7,0
13	139 €/a	12.320 €	1,13%	7,0
2	79 €/a	14.490 €	0,54%	7,4
14K	37 €/a	6.868 €	0,54%	8,7
		355.538 €		

S = Schwimmhalle, K = Kegelbahn

Alle Solarluftanlagen führen zu einer positiven solaren Rendite. Nur für das Gebäude 14 mit der Kegelbahn wäre ein Zuschuss von 1.322 € zum Erreichen des konventionellen Wärmepreises notwendig. Alle anderen Anlagen erzeugen die Wärme zum gleichen Preis wie die bisher verwendeten Anlagen oder liegen sogar noch darunter.

Die statische Amortisationszeit der Anlagen, also die Zeit in Jahren, in der die jährlichen Kosteneinsparungen die Anfangsaufwendungen decken, liegt zwischen vier und knapp neun Jahren. Bei einer Betriebsdauer von mindestens 20 Jahren erfolgt somit eine recht schnelle Kostenminimierung.

Wie oben schon beschrieben verändert die Verbrennung von Holzhackschnitzeln durch die frei werdende Kohlenstoffmenge nicht die aktuelle globale CO₂-Bilanz. Die Werte zur

möglichen Einsparung beziehen sich auf den Vergleich mit der Fernwärmeerzeugung durch fossile Energieträger.

Tabelle 25 - Reihenfolge der ökologisch sinnvollsten Solaranlagen (Angebot Grammer)

Haus	CO ₂ -Einsparung pro Jahr
10	24,1 t/a
20	21,5 t/a
1	20,6 t/a
14S	17,9 t/a
17	14,3 t/a
11	14,3 t/a
9	14,3 t/a
7	14,3 t/a
8	13,4 t/a
12	10,4 t/a
18	8,2 t/a
16	6,8 t/a
2	5,6 t/a
15	5,0 t/a
13	5,0 t/a
14K	2,7 t/a
Summe	198,4 t/a

S = Schwimmhalle, K = Kegelbahn

Die drei wirtschaftlich sinnvollsten Solaranlagen der Grammer GmbH liegen auch in Bezug auf die ökologische Wirkung an erster Stelle. Mit ihnen lässt sich der Ausstoß an CO₂ am meisten reduzieren. Anders als bei der Wirtschaftlichkeit schneidet die Solaranlage für die Schwimmhalle (14S) bei den Umweltmaßnahmen besser ab. Nach ökonomischen Gesichtspunkten rangiert sie an neunter, nach ökologischen bereits an vierter Stelle.

Da, wie oben schon angesprochen, die Kosten für Solarwasseranlagen über denen von Solarluftanlagen liegen, reicht oftmals ein Tilgungszuschuss aus dem KfW-Programm „Erneuerbare Energien“ in Höhe von 30 Prozent nicht aus, um auf einen solaren Wärmepreis zu kommen, der dem konventionellen entspricht (0,084 €/kWh) oder darunter liegt. Somit wäre für die Installation von Solarwasserkollektoranlagen eine weitere Bezuschussung notwendig.

Tabelle 26 - Reihenfolge der wirtschaftlich sinnvollsten Solaranlagen (eigene Kostenkalkulation)

Haus	solarer Gewinn/Verlust	Netto-Investitionssumme	solare Rendite	zusätzlich benötigte Förderung	zusätzl. Förderung
14	1.428 €/a	30.898 €	4,62%	nicht benötigt	-
20	1.265 €/a	52.165 €	2,43%	nicht benötigt	-
10	481 €/a	58.633 €	0,82%	nicht benötigt	-
1	-262 €/a	54.799 €	-0,48%	3.557 €	6%
13	-329 €/a	28.767 €	-1,14%	4.475 €	16%
15	-329 €/a	28.767 €	-1,14%	4.475 €	16%
7	-335 €/a	28.767 €	-1,16%	4.550 €	16%
9	-335 €/a	28.767 €	-1,16%	4.550 €	16%
11	-335 €/a	28.767 €	-1,16%	4.550 €	16%
17	-335 €/a	28.767 €	-1,16%	4.450 €	15%
2	-402 €/a	12.817 €	-3,13%	5.457 €	43%
18	-1.381 €/a	31.489 €	-4,39%	18.775 €	60%
8	-2.936 €/a	32.817 €	-8,95%	-	-
16	-2.433 €/a	26.944 €	-9,03%	-	-
12	-2.261 €/a	24.034 €	-9,41%	-	-
		497.198 €		54.839 €	11%

Bei der Auswertung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Solarwasseranlagen nach der selbst erstellten Kostenkalkulation liegt die Anlage für Gebäude 14 auf dem ersten Rang, gefolgt von den drei Gebäuden, die auch beim Angebot der Grammer GmbH vorne liegen. Die Anlagen für die Gebäude 14, 20 und 10 würden ohne eine zusätzliche Förderung günstigere Wärme erzeugen als das konventionelle Heizsystem. Alle anderen Anlagen müssten weiter bezuschusst werden. Allerdings sind die Förderkosten für die Gebäude 2 und 18 prozentual gesehen sehr hoch und daher nicht sinnvoll. Für die Häuser 8, 16 und 12 ist eine Förderung nicht möglich, da der konventionelle Wärmepreis nicht erreicht werden kann. Die Anlagendimensionierung muss hier geändert werden.

Als Grund für die Überdimensionierung der Anlagen für die drei Gebäude kann das im Simulationsprogramm T*SOL hinterlegte Lastenprofil angeführt werden. So wurde z. B. beim Gebäude 16, welches als Schulgebäude genutzt wird, davon ausgegangen, dass abends, an Wochenenden und in den Ferien keine Nutzung des Gebäudes erfolgt. Somit sinkt auch der Warmwasserbedarf des Gebäudes in dieser Zeit.

Tabelle 27 - statische Amortisationszeit der Solarwasseranlagen (eigene Kostenkalkulation)

Haus	nur KfW-Förderung	KfW + zus. Förderung
14	4,5	4,5
20	6,0	6,0
10	6,9	6,9
7	8,3	7,0
9	8,3	7,0
11	8,3	7,0
13	8,3	7,0
15	8,3	7,0
17	8,3	7,0
1	9,1	8,5
2	10,5	6,0
18	12,6	5,1
8	46,0	0,0
16	47,9	0,0
12	62,2	0,0

Betrachtet man die statische Amortisationszeit der Anlagen, so ergibt sich hier folgendes Bild. Auch hier liegen die Anlagen für die Gebäude 14, 20 und 10 an der Spitze. Nur mit Inanspruchnahme der KfW-Förderung ergibt sich eine Amortisationszeit von 4,5 bis 6,9 Jahren. Ohne einen weiteren Zuschuss würde die längste Amortisationszeit (Anlage 18) 12,6 Jahre betragen. Die Anlagen 8, 16 und 12 werden wegen der oben genannten Gründe nicht mitbetrachtet. Würde eine zusätzliche Förderung gewährt, so könnte die Dauer der Amortisation auf maximal 8,5 Jahre für die Anlage von Haus 1 reduziert werden.

Tabelle 28 - Reihenfolge der ökologisch sinnvollsten Solaranlagen (eigene Kostenkalkulation)

Haus	CO ₂ -Einsparung pro Jahr:
10	21,2 t/a
20	20,5 t/a
14	16,2 t/a
1	14,2 t/a
13	8,2 t/a
15	8,2 t/a
7	8,2 t/a
9	8,2 t/a
11	8,2 t/a
17	8,2 t/a
18	5,9 t/a
2	2,9 t/a
8	1,7 t/a
16	1,3 t/a
12	0,9 t/a
Summe	133,8 t/a

Beim Vergleich von Tabelle 26 und Tabelle 28 sieht man, dass bis auf kleine Abweichungen die Reihenfolge nach wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten nahezu gleich bleibt. Auch hier ist eine Errichtung der drei wirtschaftlich sinnvollsten Anlagen auch unter Umweltgesichtspunkten am vorteilhaftesten.

Ebenso wie bei den Solarluftanlagen liegen auch hier die gleichen Anlagen auf den vorderen Rängen.

Tabelle 29 - Reihenfolge der wirtschaftlich sinnvollsten Solaranlagen (Angebot WIGA)

Haus	solarer Gewinn/Verlust	Netto-Investitionssumme	solare Rendite	zusätzlich benötigte Förderung	zusätzl. Förderung
2	44 €/a	12.344 €	0,36%	nicht benötigt	-
1	60 €/a	25.564 €	0,24%	nicht benötigt	-
9	47 €/a	21.435 €	0,22%	nicht benötigt	-
8	0 €/a	37.412 €	0,00%	nicht benötigt	-
12	0 €/a	23.100 €	0,00%	nicht benötigt	-
13	-22 €/a	28.004 €	-0,08%	297 €	1%
15	-22 €/a	27.707 €	-0,08%	297 €	1%
20	-147 €/a	59.210 €	-0,25%	1.999 €	3%
14	-78 €/a	29.669 €	-0,26%	1.057 €	4%
16	-78 €/a	29.669 €	-0,26%	1.057 €	4%
18	-78 €/a	29.669 €	-0,26%	1.057 €	4%
10	-206 €/a	61.089 €	-0,34%	2.805 €	5%
7	-1.558 €/a	48.127 €	-3,24%	21.174 €	44%
11	-1.558 €/a	48.127 €	-3,24%	21.174 €	44%
17	-1.558 €/a	48.127 €	-3,24%	21.174 €	44%
		529.252 €		72.091 €	14%

Im Gegensatz zu dem Angebot von Grammer und der selbst erstellten Kalkulation liegen bei der Wirtschaftlichkeitsprognose für die Solarwasseranlagen von WIGA andere Anlagen auf den ersten Plätzen. So rangiert hier die Solaranlage für Haus 2 an erster Stelle. Bei den beiden anderen wirtschaftlichen Betrachtungen folgte der Schluss, dass die Installation auf dem Gebäude wesentlich unwirtschaftlicher wäre. Auch die Anlage für Haus 9 taucht bei den beiden anderen Prognosen nicht auf den vorderen Rängen auf. Lediglich die Prognose für Haus 1 liegt auch hier ganz vorne. Die Anlagen für die Gebäude 20 und 10 schneiden bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von WIGA bedeutend schlechter ab.

Tabelle 30 - statische Amortisationszeit der Solarwasseranlagen (Angebot WIGA)

Haus	nur KfW-Förderung	KfW + zus. Förderung
2	5,8	5,8
1	6,0	6,0
9	6,2	6,2
13	6,5	6,5
15	6,5	6,5
8	6,7	6,7
12	6,7	6,7
20	6,9	6,7
14	6,9	6,7
16	6,9	6,7
18	6,9	6,7
10	7,1	6,8
7	11,2	6,3
11	11,2	6,3
17	11,2	6,3

Die Amortisationszeit der WIGA-Anlagen liegt im Bereich von 5,8 bis 11,2 Jahren, wenn nur der KfW-Zuschuss in Anspruch genommen wird. Durch zusätzlich Fördermittel wäre eine Reduzierung der Amortisationszeit auf maximal 5,8 Jahre für Haus 10 zu erreichen.

Tabelle 31 - Reihenfolge der ökologisch sinnvollsten Solaranlagen (Angebot WIGA)

Haus	CO ₂ -Einsparung pro Jahr:
10	24,5 t/a
20	24,5 t/a
8	15,9 t/a
1	12,3 t/a
7	12,3 t/a
11	12,3 t/a
13	12,3 t/a
14	12,3 t/a
15	12,3 t/a
16	12,3 t/a
17	12,3 t/a
18	12,3 t/a
9	9,8 t/a
12	9,8 t/a
2	6,1 t/a
Summe	201,0 t/a

Die Anlagen für die Gebäude 10, 20 und 1 befinden sich wie bei allen anderen Umwelt-Prognosen unter den ersten vier. Paradoxerweise liegt beim CO₂-Einsparungspotenzial die Anlage auf dem letzten Rang, die bei der ökonomischen Betrachtung auf dem ersten Platz liegt. Dies ist mit der Kollektorfläche der Anlage zu begründen. Da die Anlage für Haus 2 die kleinste ist, wird mit ihr weniger Wärme erzeugt als mit größeren Anlagen, und somit kann entsprechend weniger Kohlendioxid eingespart werden.

Nachfolgend wird mittels einer Sensitivitätsanalyse die zukünftige Kostensituation zur Wärmeerzeugung untersucht.

Hierzu werden die entstehenden Kosten der derzeitigen Wärmeerzeugung mit denen der Solaranlage verglichen. Die Entscheidung, ob sich die Solaranlage wirtschaftlich im Sinne einer Rendite rechnet, hängt von der Einschätzung darüber ab, wie sich die Preise für die bisher eingesetzten Energieträger in den nächsten Jahren entwickeln werden.³⁸

Bei der Durchführung der Analyse wird von den derzeitigen Wärmepreisen ausgegangen, welche mittels folgender Faktoren in die Zukunft projiziert werden.

Tabelle 32 - Preissteigerungsraten für Energieträger

Preissteigerungsraten	
Solar (Strompreis)	5,20 % ³⁹
Heizöl	12,26 % ⁴⁰
Holzhackschnitzel	5,80 % ⁴⁰

Die Preissteigerungsrate für die solare Wärmegewinnung wurde am Kostenfaktor für Strom festgemacht, da bei den Solaranlagen nur die Stromkosten für Ventilatoren bzw. Pumpen usw. in den nächsten Jahren ansteigen werden. Die Preissteigerungen für die derzeitige Energiegewinnung beziehen sich auf die Rohstoffe, die dafür eingesetzt werden.

Im Folgenden Diagramm sind für die nächsten 10 Jahre drei Szenarien dargestellt. Einmal die hundertprozentige Wärmegewinnung mit Öl. Diese wurde zum Ende des letzten Jahres zwar eingestellt, es soll aber nochmals aufgezeigt werden, wie sich die Preise dieses

³⁸ www.iwr.de/solar/erricht/solarthermie.html, 13.11.2007, 12:46 Uhr

³⁹ www.energieverbraucher.de:80/de/Energiebezug/Strom/Preise/site__2022, 15.11.2007, 16:25 Uhr

⁴⁰ www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnipreisverg.html, 15.11.2007, 17:15 Uhr

Energieträgers entwickeln. Die zweite Variante zeigt die Nutzung von Holzhackschnitzeln (HHS) und Öl. Der prozentuale Anteil der HHS an der Wärmeversorgung wurde bei einer geschätzten Jahreslaufleistung der Anlage von 4.000 Stunden, multipliziert mit der Heizleistung des Holzkessels von 1.400 kW, errechnet. Diese Leistung reicht aus, um 80 Prozent der Wärmeversorgung des Bodelschwingh Zentrums zu sichern.

Die dritte Kurve spiegelt den Preisverlauf der Kombination Solarluftanlage, HHS und Öl-Heizung wieder. Da im Fall der Solarluftanlage eine Installation aller Anlagen wirtschaftlich sinnvoll wäre, wurde die Leistung aller Anlagen summiert. Diese beträgt 621.563 kWh und deckt knapp neun Prozent des Wärmebedarfs. Da die Ölheizung nur noch in längeren Kälteperioden zur Heizungsunterstützung eingesetzt wird, und in dieser Zeit die Solaranlage keine großen solaren Gewinne abwirft, wurde davon ausgegangen, dass die erwirtschafteten Erträge zu einer Verringerung des Anteils an HHS führen.

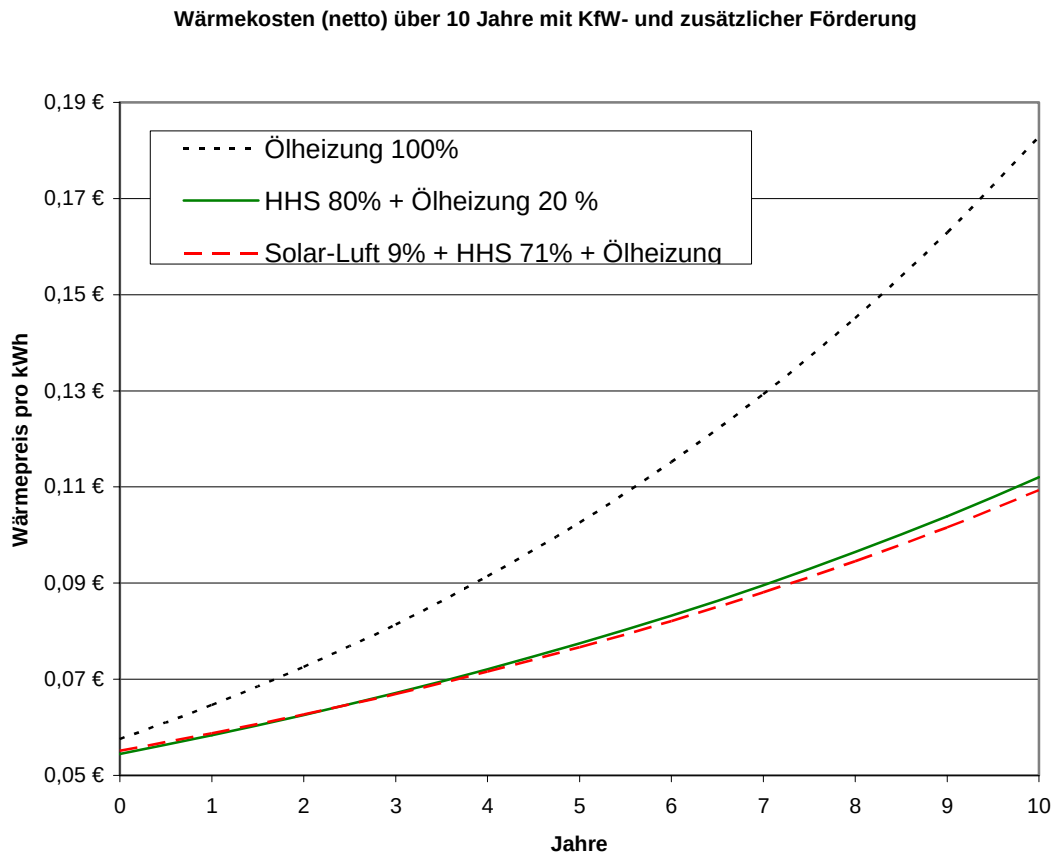


Abbildung 73 - prognostizierte Wärmekostenentwicklung (Solarluftanlage)

Wie man deutlich erkennen kann, wird der Ölpreis in den nächsten Jahren voraussichtlich weiter ansteigen. Der Wärmepreis der solaren Wärmeerzeugung liegt anfangs noch über der HHS-Heizung. Allerdings kann schon nach ca. zwei Jahren auch dieser Preis unter-

schritten werden und so dauerhaft ein niedrigerer Preis angestrebt werden. Der verhältnismäßig geringe Abstand der beiden Kurven liegt in dem relativ geringen Anteil (neun Prozent) der Solarenergie an der gesamten Wärmeerzeugung.

In der folgenden Abbildung wird die Simulation der bereits oben verwendeten Kombination HHS- und Öl-Heizung sowie einer zusätzlichen Solar-Wasser-Anlage dargestellt. Der um einen Prozentpunkt geringere solare Anteil an der gesamten Wärmeerzeugung resultiert aus der Nichtbeachtung der nicht wirtschaftlich sinnvollen Anlagen aus der Wirtschaftlichkeitsprognose für das WIGA-Angebot. Die Anlagen für die Gebäude 7, 11 und 17 wurden nicht berücksichtigt. Somit erhält man eine Leistung von 513.274 kWh und einen solaren Anteil von sieben Prozent.

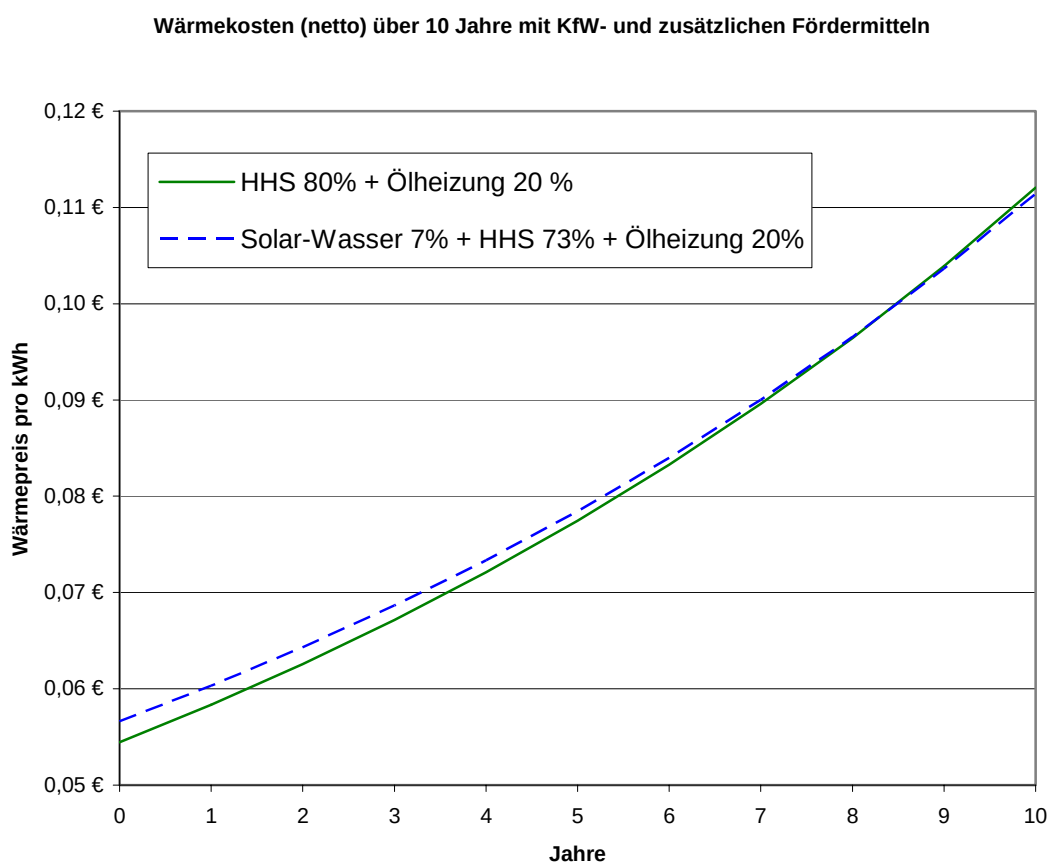


Abbildung 74 - prognostizierte Wärmekostenentwicklung (Solarwasseranlage)

Wie auch bei der Solarluftanlage liegt der Wärmepreis der Solarwasseranlage anfänglich über dem des konventionellen Heizsystems. Allerdings ergibt sich ein höherer Preis als oben ausgewiesen und somit dauert es etwa acht Jahre bis der konventionelle Wärmepreis unterschritten wird.

Auf eine gesonderte Darstellung der Preisentwicklung für die Solarwasseranlage aus der eigenen Kalkulation wird verzichtet, da die Verläufe im Wesentlichen denen des WIGA-Angebots entsprechen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Eine Solaranlage trägt zur Ressourcenschonung bei und führt zu einer zumindest teilweisen Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern. Beim Vergleich der Wirtschaftlichkeit muss berücksichtigt werden, dass die externen Kosten des Energieverbrauchs wie Umwelt- und Gesundheitsschäden infolge des Schadstoffausstoßes nicht im Energiepreis für konventionelle Energien enthalten sind. Würden man diese mit einbeziehen, so sähe das Ergebnis für die regenerativen Energien noch günstiger aus.⁴¹

Trotzdem kann festgehalten werden, dass eine Installation einer solarthermischen Anlage eine sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch sinnvolle Investition darstellt. In Zeiten knapper Rohstoffe wird es immer wichtiger, die Energiekosten niedrig zu halten. Mit der Inbetriebnahme des Holzhackschnitzelheizkraftwerks wurde schon ein wichtiger Schritt vollzogen, die Kosten dauerhaft zu senken. Zusätzlich konnte durch die CO₂ neutrale Verbrennung der Hackschnitzel auch der Kohlendioxid-Ausstoß gesenkt werden. Ein weiterer Schritt, die Umwelt und auch langfristig die Kasse zu schonen, wäre eine Optimierung der Dämmung der Gebäude. Wie oben schon beschrieben wäre auf Grund des Alters der Gebäude eine Erneuerung der Dämmung notwendig. Ebenso entsprechen die Fenster nicht mehr dem heutigen Dämmstandard. Sie führen zu Wärmeverlusten in den Gebäuden.

Zur Schadstoffvermeidung und Umweltentlastung trägt in besonderem Maße eine thermische Solaranlage bei. Dabei sind im Bodelschwingh Zentrum die Voraussetzungen für die Installation solcher Anlagen zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung gegeben. Die Lage des Geländes erfüllt die Voraussetzung für eine Errichtung von Solaranlagen, denn eine ungehinderte Sonneneinstrahlung, vor allem aus südlicher Richtung, ist möglich. Auch bieten die Flachdächer der einzelnen Gebäude eine optimale Fläche zur Nutzung der Solarenergie. Hier können die Anlagen aufgeständert und nach Süden ausgerichtet werden, um den maximalen Ertrag zu sichern. Eine weitere Möglichkeit hätte darin bestanden, eine zentrale Solaranlage in der Nähe des Heizwerks zu errichten und somit die Energie direkt in das Nahwärmenetz einzuspeisen. Die in direkter Nachbarschaft zur Heizzentrale vorhandenen Grünflächen reichen aber nicht aus, um eine entsprechend große Anlage zu installieren, und von einer Abholzung des angrenzenden Waldes wurde abgesehen. Eine größere Grünfläche oberhalb des Gebäudes 17 ist zu

⁴¹ umweltinstitut.org/energie--klima/wirtschaftlichkeit-von-solaranlagen/vergleich-der-wirtschaftlichkeit-von-solarstrom-und-solarwarme-211.html, 07.11.2007, 10:12 Uhr

weit von der Heizzentrale entfernt und hat durch die Hanglage nach Norden nicht die optimale Ausrichtung. Somit blieb diese Anlagenform außer Betracht, da sie nicht in Frage kommt.

Eine gut dimensionierte Aufdachanlage trägt dazu bei, mit der „geernteten Energie“ den Verbrauch an herkömmlichen Energieträgern zu senken und somit die Energiekosten zu reduzieren. Neben der Einsparung an Brennstoff kann durch eine solarthermische Anlage auch Strom eingespart werden. So sollten die zahlreichen Wasch- und Spülmaschinen des Zentrums an die Solaranlage angeschlossen werden, um das vergleichsweise teure elektrische Erwärmen des Wassers in den Maschinen selbst einzusparen.

Qualitativ hochwertige Solaranlagen amortisieren sich über ihre lange Lebensdauer, was dem Betreiber auf Dauer einen ökonomischen und der Allgemeinheit einen ökologischen Nutzen einbringt.

Konkret auf das Bodelschwingh Zentrum bezogen erweisen sich nach Betrachtung der Wirtschaftlichkeit die meisten Solaranlageninstallationen als ökonomisch sinnvoll. So erwirtschaften 15 der 16 betrachteten Solarluftanlagen von der Grammer GmbH eine positive solare Rendite. Dies bedeutet, die solare Wärmegewinnung ist auf Dauer günstiger als die derzeitige Wärmeerzeugung. Speziell die Anlagen für die Gebäude 10, 20 und 1 erwiesen sich aus betriebswirtschaftlicher Sicht als sinnvoll. Die Kosten für die Installation der drei Anlagen zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung liegen bei rund 98.000 €.

Gerade bei der Schwimmhalle (Haus 14) bietet sich eine Installation einer Solarluftanlage an, da hier große Mengen an warmer Luft zur Beheizung des Badebereichs gebraucht werden. Dem gegenüber stehen Kosten von rund 355.000 €.

Durch die höheren Grundpreise von Solarwasserkollektoren gegenüber denen von Solarluft können nicht alle geplanten Anlagen unmittelbar eine positive solare Rendite erwirtschaften. Bei der Auswertung der Wirtschaftlichkeitsprognose auf Grundlage der selbst erstellten Kostenkalkulation wurde festgestellt, dass die Anlagen für die Gebäude 14, 20 und 10 keinen weiteren Zuschuss benötigen. Diese Anlagen könnten mit einer Netto-Investitionssumme von rund 140.000 € zur Warmwasserbereitung errichtet werden. Um weitere Anlagen zu installieren, wäre es notwendig, weitere monetäre Förderungen zu erhalten, um die Wärmekosten dauerhaft unter das Niveau der konventionellen Wärmeerzeugung zu führen.

Nach der Betrachtung und Auswertung des Angebots von WIGA kann festgestellt werden, dass es hier Ähnlichkeiten mit der selbst erstellten Kalkulation gibt. Auch hier erwirtschaften nicht alle Anlagen auf Anhieb eine positive solare Rendite. Es sind weitere Zuschüsse

erforderlich. Allerdings benötigen hier fünf Anlagen keinen Zuschuss, um wirtschaftlich zu arbeiten. Weitere sieben Anlagen benötigen nur einen zusätzlichen Zuschuss von ein bis vier Prozent der Netto-Investitionssumme. Dies entspricht etwa 8.500 € an weiteren Fördermitteln. Die restlichen drei Anlagen würden jeweils einen Zuschuss von 44 % der Netto-Investitionssumme benötigen und stellen sich so in dieser Form als unwirtschaftlich dar.

Weil sich die Dachflächen gut zur solaren Nutzung eignen und schon eine Überschlagsrechnung der alwitra GmbH & Co. bezüglich Photovoltaik durchgeführt wurde, soll nochmals kurz auf die solare Stromerzeugung eingegangen werden.

Da das Bodelschwingh Zentrum als kirchliche Stiftung zur Kreuznacher Diakonie gehört, ist eine Errichtung einer Photovoltaikanlage durch die Diakonie selbst nicht möglich, weil sonst die Gewinnerzielung den Zielen der Gemeinnützigkeit der Stiftung entgegenstehen würde.

Allerdings könnten wie bei der Photovoltaik-Anlage auf dem Samariterstift in Pfullingen die Dachflächen an eine externe Gesellschaft vermietet werden. So könnten sich z. B. Meisenheimer Bürger zu einer Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR) zusammenschließen und die Dachflächen mieten. Diese GbR finanziert und betreibt dann völlig unabhängig die Anlage auf den Dächern des Zentrums.

Die Idee die vom Solarverein Trier angebotenen Kollektoren in der Behindertenwerkstatt selbst zusammenbauen zu lassen kann leider nicht umgesetzt werden. Die Durchführung dieses Vorhabens wurde für die Mitarbeiter der Behindertenwerkstatt als zu schwierig eingestuft.

Handlungsempfehlung:

Da eine Installation von Solaranlagen im Bodelschwingh Zentrum aus ökonomischer und ökologischer Sicht überwiegend als sinnvoll anzusehen ist, sollte eine Realisierung angestrebt werden. Auch in dem Fall, dass nicht alle Projekte auf einmal umgesetzt werden können, sollten die Anlagen-Projekte zumindest teilweise verwirklicht und nach und nach dann erweitert werden.

Es ist aber unbedingt erforderlich, dass eine Sanierung der Dächer die noch auf dem Stand der Erbauung sind, vor einer Anlageninstallation durchgeführt wird. Da die Anlagen für mindestens 20 Jahre auf dem Dach stehen bleiben, muss das Dach in einem guten Zustand sein, damit während der Betriebsphase der Solaranlage keine Maßnahmen am

Dach durchgeführt werden müssen. Die Dachsanierung ist zwar mit Kosten verbunden, würde aber auf Grund des Alters der Dächer ohnehin in nächster Zeit anstehen. Die Dachflächen der Gebäude 8 und 14 sind bereits saniert und bieten deshalb schon eine gute Voraussetzung für eine Anlageninstallation. Sowohl die Anlagen von Grammer als auch die von WIGA können aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht installiert werden. Nach einer Dachsanierung bietet sich die Errichtung von Solarluftanlagen auf den Häusern 10, 20 und 1 an. Weitere Solarluftanlagen, die etwas kostengünstiger als Solarwasseranlagen sind, könnten auf den Gebäuden 17, 11, 9 und 7 in Anbetracht guter solarer Renditen installiert werden. Aber auch die Solarwasseranlagen weisen positive solare Erträge auf und können daher aus wirtschaftlicher Sicht installiert werden. Im Haus 2, in dem keine Lüftungsanlage eingebaut ist, würden zu einer Solarluftanlage noch weitere Kosten für Luftkanäle, Ventilatoren usw. hinzukommen. Dieses Gebäude ist ein guter Einsatzort für eine Solarwasseranlage, zumal gerade diese Anlage die höchste solare Rendite der WIGA-Anlagen aufzuweisen hat. Ebenso sind die Gebäude 1 und 9 bezüglich der solaren Rendite von Solarwasseranlagen geeignet, um eine Solaranlage zu installieren.

Haus	geeignetes Wärmeträgermedium der Solaranlage	
2	Solarwasser	
1	Solarwasser	Solarluft
9	Solarwasser	Solarluft
8	Solarwasser	
12	Solarwasser	
13	Solarwasser	
15	Solarwasser	
20	Solarwasser	Solarluft
14	Solarwasser	
16	Solarwasser	
18	Solarwasser	
10		Solarluft
7		Solarluft
11		Solarluft
17		Solarluft

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Nutzung von Solarenergie an den Objekten des Bodelschwingh Zentrums eine wirtschaftlich attraktive und ökologisch sinnvolle Maßnahme für eine nachhaltige Entwicklung des gesamten Standorts darstellt.

IV. Glossar

Bodelschwingh, Friedrich von (06.03.1831 – 02.04.1910)

Evangelischer Theologe, der 1872 die Leitung der evangelischen Heil- und Pflegeanstalt für Epileptische bei Bielefeld übernahm.⁴²

Contractor

Vertragspartner, der die Energiebewirtschaftung eines bestimmten Objekts übernimmt. Die Bewirtschaftung umfasst i. d. R. die Bereiche Planung und Umsetzung eines Energiebewirtschaftungskonzepts sowie die Finanzierung, den Betrieb und die Wartung der technischen Anlage.⁴³

Primärenergie

Gesamtenergiemenge, einschließlich der Energie, die für die Erzeugung/Gewinnung und den Transport der Energie zum Gebäude erforderlich ist.⁴⁴

Thermopane

US-amerikanischer Hersteller von Mehrscheiben-Isolierglas, der in den ersten Jahrzehnten der Verbreitung dieses Glases (1950er bis 1970er-Jahre) einen relativ großen Marktanteil besaß. So entstand ein Begriffsmonopol für Mehrscheiben-Isolierglas⁴⁵.

Umkehrdachprinzip

Die Dämmung liegt oberhalb der Dachhaut und ist somit dem Regen stärker ausgesetzt. Um die Dämmung zu beschweren und so vor dem Wegwehen zu schützen werden auf die Dämmschicht i. d. R. Kies oder Gehwegplatten aufgebracht.⁴⁶

Wärmeanschlusswert

Summe der Norm-Wärmebedarfswerte aller Wärmeverbrauchseinrichtungen des Netzes oder des Kunden.⁴⁷

⁴² Killy: Deutsche biographische Enzyklopädie 1 (1995), S. 601

⁴³ Baur: Rechtliche Anforderungen an die Vergabe von Energiespar-Contracting-Aufträgen (1998), S. 14

⁴⁴ DIN 4701-10 Vornorm, S. 7

⁴⁵ de.wikipedia.org/wiki/Thermopane, 02.04.2007, 10:24 Uhr

⁴⁶ www.architektur-lexikon.de/lexikon/umkehrdach.htm, 28.03.2004, 13:19 Uhr

⁴⁷ de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeanschlusswert, 22.05.2007, 14:17 Uhr

V. Quellenverzeichnis

Literaturquellen

Baur, Jürgen F./Matthey, Philip

Rechtliche Anforderungen an die Vergabe von Energiespar-Contracting-Aufträgen,
1. Auflage, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 1998

BINE Informationsdienst

Thermische Nutzung der Sonnenenergie, Herausgeber: Fachinformationszentrum
Karlsruhe Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH, Eggen-
stein-Leopoldshafen, Juli 2003

Brockhaus

Die Bibliothek, Band 5: Forschung und Schlüsseltechnologien, Mensch, Natur,
Technik, Leipzig, 2000

Filleux, Charles/Gütermann, Andreas

Solare Luftheizsysteme: Konzepte, Systemtechnik, Planung, 1. Auflage, Ökobuch-
Verlag, Staufen bei Freiburg, 2005

Fox, Ulrich

Sonnenkollektoren: thermische Solaranlagen, Stuttgart, 1998

Kaltschmitt, Martin

Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, 3. Auf-
lage, Springer Verlag, Berlin, 2003

Kasper, Bernd-Rainer

Solarthermische Anlagen: Leitfaden für das SHK-, Elektro- und Dachdeckerhand-
werk, für Fachplaner und Architekten, Bauherren und Weiterbildungsinstitutionen,
Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Landesverband Berlin Branden-
burg e.V., 6. Auflage, Berlin, 2001

Killy, Walther

Deutsche biographische Enzyklopädie 1: Aachen – Boguslawski, Saur Verlag,
München, 1995

Ladener, Heinz/Späte, Frank

Solaranlagen: Handbuch der thermischen Solarenergienutzung, 7. Auflage, Öko-
buch Verlag, Staufen bei Freiburg, 2001

Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz des Landes Rheinland-Pfalz in
Zusammenarbeit mit der rheinland-pfälzischen Energieagentur EOR e.V. bearbei-
tet von der TU Kaiserslautern, Fachgebiet Bauphysik / TGA / Baulicher Brand-
schutz
Energieeffizienz durch Altbausanierung in Rheinland-Pfalz, Mainz, Dezember
2006

Wieland, Heinz

Ventilatoren in RLT-Anlagen – Beurteilungskriterien, Verbesserungspotenziale,
Auswahl, Leistungsnachweis, in: Raumluftechnische Anlagen: Energiesparende
Planung und Betrieb, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, 2002

Zentralverband Sanitär Heizung Klima

Fachinformation: Thermische Solaranlagen, Sankt Augustin, 1998

Zier, Oswin: Lehrgang: Datenverarbeitung, Thema: Finanzmathematische Funktionen in
EXCEL, 2005

Gesetzestexte, Verordnungen, Richtlinien und Normen

DIN 1946-1

Raumluftechnik - Teil 1: Terminologie und graphische Symbole (VDI-Lüftungs-
regeln), 1988-10, ersetzt durch DIN EN 12792:2004-01

DIN EN 12792:2004-01

Lüftung von Gebäuden - Symbole, Terminologie und graphische Symbole; Deut-
sche Fassung EN 12792:2003, 2004-01

Internetquellen

de.wikipedia.org

Wikimedia Foundation Inc

umweltinstitut.org

Umweltinstitut München e.V.

www.architektur-lexikon.de

quality-Datenbank Klaus Gebhardt e.K.

www.baunetz.de

BauNetz Online-Dienst GmbH & Co. KG

www.bauwerk-verlag.de

Bauwerk-Verlag GmbH

www.bundestag.de

Internet-Dienst des Deutschen Bundestages

www.carmen-ev.de

Centrale- Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk
(C.A.R.M.E.N. e.V.)

www.energiesparen-mit-glas.de

Bundesverband Flachglas e.V.

www.geoportal.rlp.de

Geschäfts- und Koordinierungsstelle des Interministeriellen Ausschusses für Geo-
informationswesen Rheinland-Pfalz im Ministerium des Innern und für Sport
(IMAGI-RP)

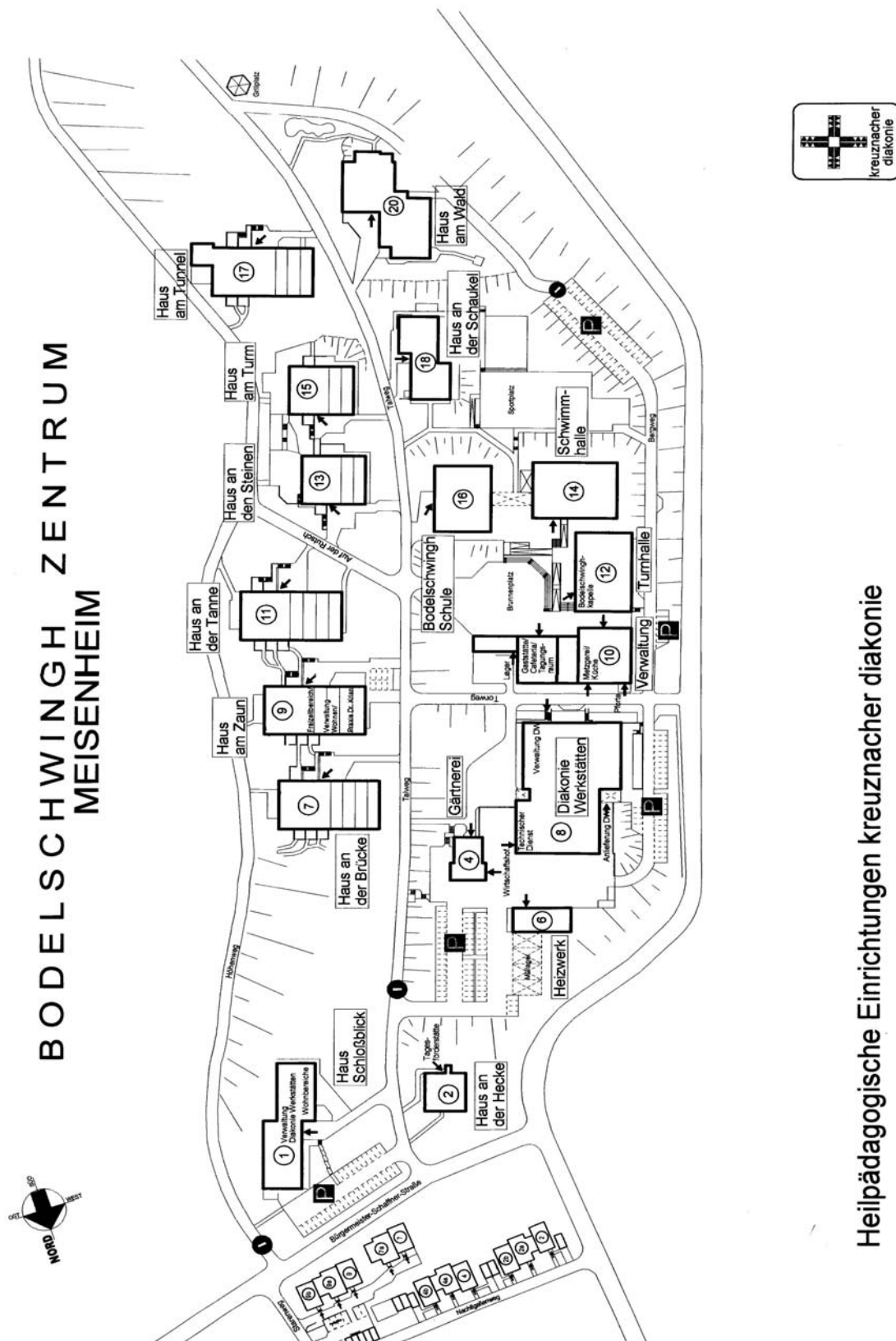
www.solaranlagen-portal.de

Volkman und Schmitz WebMarketing GbR

VI. Anlagenverzeichnis

Anlage 1 - Übersichtskarte des Bodelschwingh Zentrums Meisenheim (groß).....	XVI
Anlage 2 - Übersicht Waschmaschinen und Geschirrspülmaschinen.....	XVII
Anlage 3 - Übersicht Projektdaten Grammer	XVIII
Anlage 4 - Übersicht Angebot WIGA.....	XIX
Anlage 5 - Prognose des zukünftigen Wärmepreises	XX
Anlage 6 - Umlage der Gesamtwärmemenge auf die einzelnen Häuser	XXI
Anlage 7 - Übersicht Wirtschaftlichkeit GESAMT.....	XXII
Anlage 8 - Daten CD	XXIII

Anlage 1 - Übersichtskarte des Bodelschwingh Zentrums Meisenheim (groß)



Anlage 2 - Übersicht Waschmaschinen und Geschirrspülmaschinen

Haus	Waschmaschinen	Geschirrspülmaschinen	Industriespülmaschinen
1	5	7	0
2	0	2	0
4	0	0	0
6	0	0	0
7	8	4	0
8	0	2	1
9	8	4	0
10	0	3	1
11	8	4	0
12	0	0	0
13	6	3	0
14	0	0	0
15	6	3	0
16	0	0	1
17	8	4	0
18	2	1	0
20	12	9	0
	63	46	3

Anlage 3 - Übersicht Projektdaten Grammer

HAUS	01: Schloßblick	02: an der Heck	07: a. d. Brücke	08: Diakonie, W4	09: am Zaun	10: Verwaltung,	12: Turnhalle, K2
Einsatzgebiet - SolarLuft-Kollektoranlage	HU+WW	HU	HU+WW	HU	HU+WW	HU+WW	HU
Bruttokollektorfläche:	100	50	70	120	70	120	90
thermische Nennleistung:	67	33,5	46,9	80,4	46,9	80,4	60,3
Kollektortyp:	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR
Anzahl – GLK-Module:	40	20	28	48	28	48	36
Anzahl – Kollektorreihen:	5	2	4	4	4	6	6
Länge pro Kollektorreihe:	2 x 10	2 x 12,5	17,5	30	17,5	20	2 x 7,5
Flächenbedarf pro Kollektorreihe – L x B:	11 x 2,5	13,5 x 2,5	18,5 x 1,2	31 x 1,2	18,5 x 1,2	21 x 1,2	8,5 x 2,5
Gesamtvolumenstrom durch Solaranlage:	3.300 bis 5.500	1.320 bis 4.600	2.640 bis 9.200	2.640 bis 9.200	2.640 bis 9.200	4.000 bis 13.800	4.000 bis 6.600
prognostizierter Kollektorwärmeertrag:	858	466	852	466	852	847	479
prognostiz. Nutzwärmeertrag des Solarsystems:	85,8	23,3	59,7	55,9	59,7	101,7	43,1
prognostizierte Reduzierung an CO ₂ -Emissionen:	20,6	5,6	14,3	13,4	14,3	24,4	10,4
Kollektormontage:	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach
Azimuth (Ausrichtung):	+19	+19	+19	+19	+19	+19	19 ° (ca. SSW)
Aufstellwinkel gegen Horizontal:	45	45	45	45	45	45	35 ° (andere Winkel möglich)
max. Gewicht pro GLK-Kollektormodul:	91	91	91	91	91	91	91
							kg (inkl. Montagesystem)

HAUS	13: a.d. Steinen	14: Kegelbahn	14: Schwimmhalle	16: Schule	17: am Tunnel	18: a.d. Schaukel	20: am Wald
Einsatzgebiet - SolarLuft-Kollektoranlage	HU	HU	HU+WW	HU	HU+WW	HU+WW	HU+WW
Bruttokollektorfläche:	45	30	120	60	70	40	105
thermische Nennleistung:	30,1	20,1	80,4	40,2	46,9	26,8	70,35
Kollektortyp:	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR	JUMBO SOLAR
Anzahl – GLK-Module:	18	30	48	24	28	16	42
Anzahl – Kollektorreihen:	3	1	4	3	4	2	6
Länge pro Kollektorreihe:	15	30	30	20	17,5	2 x 10	17,5
Flächenbedarf pro Kollektorreihe – L x B:	16 x 1,2	31 x 1,2	31 x 1,2	21 x 1,2	18,5 x 1,2	11 x 2,5	18,5 x 1,2
Gesamtvolumenstrom durch Solaranlage:	2.000 bis 6.900	660 bis 2.300	2.640 bis 9.200	2.000 bis 6.900	2.640 bis 9.200	1.320 bis 2.200	4.000 bis 13.800
prognostizierter Kollektorwärmeertrag:	465	374	623	474	852	858	855
prognostiz. Nutzwärmeertrag des Solarsystems:	20,9	11,2	74,7	28,4	59,7	34,3	89,8
prognostizierte Reduzierung an CO ₂ -Emissionen:	5	2,7	17,9	6,8	14,3	8,2	21,5
Kollektormontage:	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach
Azimuth (Ausrichtung):	+19	+19	+19	+19	+19	+19	19 ° (ca. SSW)
Aufstellwinkel gegen Horizontal:	45	45	45	45	45	45	45 ° (andere Winkel möglich)
max. Gewicht pro GLK-Kollektormodul:	91	91	91	91	91	91	91
							kg (inkl. Montagesystem)

Anlage 4 - Übersicht Angebot WIGA

Bezeichnung	1	2	4	7	8	9
Anzahl Kollektorsets	Haus Schloßblick	Haus an der Hecke	Gärtnershaus	Haus an der Brücke	Diakoniewerkstätten	Haus am Zaun
Brutto-Fläche	10 106 m²	5 53 m²	1 11 m²	1 11 m²	13 138 m²	8 85 m²
Frischwassertechnik und Zubehör	14.332 €	7.824 €	3.602 €	3.501 €	7.824 €	7.824 €
Leitwerkschichtspeicher und Zubehör	13.330 €	6.712 €	1.518 €	1.518 €	15.402 €	10.021 €
Solaranlage und Zubehör	41.482 €	20.748 €	5.290 €	5.290 €	53.122 €	32.556 €
Inbetriebnahme	960 €	960 €	450 €	450 €	960 €	960 €
Summe	70.104 €	36.244 €	10.860 €	10.759 €	77.308 €	51.361 €

Bezeichnung	10	11	12	13	14	15
Anzahl Kollektorsets	Verwaltung, Metzgerei	Haus an der Tanne	Kapelle und Turnhalle	Haus an den Steinen	Schwimmhalle	Haus am Turm
Brutto-Fläche	20 213 m²	10 106 m²	8 85 m²	10 106 m²	10 106 m²	10 106 m²
Frischwassertechnik und Zubehör	7.824 €	11.522 €	3.894 €	7.824 €	3.894 €	7.824 €
Leitwerkschichtspeicher und Zubehör	21.526 €	13.330 €	10.021 €	13.330 €	13.330 €	13.330 €
Solaranlage und Zubehör	82.806 €	41.482 €	32.556 €	41.482 €	41.482 €	41.482 €
Inbetriebnahme	960 €	960 €	450 €	960 €	450 €	960 €
Summe	113.116 €	67.294 €	46.921 €	63.596 €	59.156 €	63.596 €

Bezeichnung	16	17	18	20	SUMME
Anzahl Kollektorsets	Schule	Haus am Tunnel	Haus an der Schaukel	Haus am Wald	156
Brutto-Fläche	10 106 m²	10 106 m²	10 106 m²	20 213 m²	1.660 m²
Frischwassertechnik und Zubehör	3.894 €	11.522 €	3.894 €	14.488 €	121.487 €
Leitwerkschichtspeicher und Zubehör	13.330 €	13.330 €	13.330 €	19.874 €	193.232 €
Solaranlage und Zubehör	41.482 €	41.482 €	41.482 €	82.806 €	647.030 €
Inbetriebnahme	450 €	960 €	450 €	960 €	12.300 €
Summe	59.156 €	67.294 €	59.156 €	118.128 €	974.049 €

Anlage 5 - Prognose des zukünftigen Wärmepreises

Preissteigerungsraten	
Strom	5,20%
Heizöl	12,26%
HHS	5,80%

Verbrauch	Anteil	Menge	Preis	Arbeitspreis
7.086.000 kWh	20%	1.417.200 kWh	5,7542 Cent/kWh	81.548,52 €
HHS	80%	5.668.800 kWh	5,7542 Cent/kWh	326.194,09 €
	Erstattung	5.668.800 kWh	-0,3860 Cent/kWh	- 21.881,57 €
				385.861,04 €

Arbeitspreis	Raten	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
81.548,52 €	12,26%	91.546	102.770	115.370	129.514	145.392	163.217	183.228	205.692	230.909	259.219	290.999
326.194,09 €	5,80%	345.113	365.130	386.307	408.713	432.419	457.499	484.034	512.108	541.810	573.235	606.483
- 21.881,57 €	12,26%	-24.564	-27.576	-30.957	-34.752	-39.012	-43.795	-49.165	-55.192	-61.959	-69.555	-78.083
385.861,04 €		412.095	440.325	470.722	503.478	538.802	576.926	618.103	662.614	710.768	762.908	819.409
€/kWh		0,0582	0,0621	0,0664	0,0711	0,0760	0,0814	0,0872	0,0935	0,1003	0,1077	0,1156
												0,0836
Grundpreis												
212.575,47 €	2,40%	217.677	222.902	228.251	233.729	239.339	245.083	250.965	256.988	263.156	269.471	275.939
AP+GP		629.773	663.227	698.974	737.207	778.141	822.009	869.068	919.602	973.924	1.032.379	1.095.348
		0,0889	0,0936	0,0986	0,1040	0,1098	0,1160	0,1226	0,1298	0,1374	0,1457	0,1546
												0,1183

Anlage 6 - Umlage der Gesamtwärmemenge auf die einzelnen Häuser

Jahresverbrauch

7.086	MWh		
7.086.000	kWh		
134.000	kWh	gemessener Verbrauch	Haus 2
491.000	kWh	gemessener Verbrauch	Haus 8
6.461.000	kWh		
		Vollbenutzungsstunden:	2.000

	beheizte Nutzfläche	Verbrauch [kWh]	[kW]
Haus 1	3.855,0 m ²	763.283	382
		-	
Haus 4	1.540,7 m ²	305.056	153
Haus 6		-	-
Haus 7	2.318,8 m ²	459.118	230
		-	
Haus 9	2.318,8 m ²	459.118	230
Haus 10	3.507,8 m ²	694.538	347
Haus 11	2.318,8 m ²	459.118	230
Haus 12	3.210,9 m ²	635.753	318
Haus 13	1.843,6 m ²	365.030	183
Haus 14	1.101,6 m ²	218.115	109
Haus 15	1.843,6 m ²	365.030	183
Haus 16	3.443,2 m ²	681.748	341
Haus 17	2.318,8 m ²	459.118	230
Haus 18	615,4 m ²	121.848	61
Haus 20	2.394,6 m ²	474.127	237
32.631,6 m ²		6.461.000	

anhand der beheizten Fläche umgelegt

Haus 2	1.036,8 m ²	134.000,00	67
Haus 8	1.317,7 m ²	491.000,00	246

Anlage 7 - Übersicht Wirtschaftlichkeit GESAMT

BV: Bodelschwingh		Grammer		eigene Kalkulation		WIGA	
Förderung		nur KfW	KfW + X	nur KfW	KfW + X	nur KfW	KfW + X
Solaranlage inkl. Montagesystem Jumbo Solar	m²	1205 m²	1205 m²	2822 m²	2822 m²	1745 m²	1745 m²
Paketpreis - netto:	€	509.800	509.800	1.387.223	1.387.223	1.274.655	1.274.655
abzüglich Sowiesokosten	€	0	0	-473.860	-473.860	-362.710	-362.710
abzüglich 30% Tilgungszuschuss aus KfW-Förderprogramm "Erneuerbare Energien"	€	-152.940	-152.940	-416.167	-416.167	-382.397	-382.397
abzüglich zusätzlich benötigter Förderung	€	0	-1.322	0	-138.734	0	-72.089
Netto - Investitionssumme:	€	356.860	355.538	497.196	358.463	529.549	457.460
Kapitalzins:		4%	4%	4%	4%	4%	4%
Lebensdauer:	Jahre	20	20	20	20	20	20
Kapitalkosten pro Jahr:	€/a	26.258	26.161	36.585	26.376	38.965	33.661
Betriebskosten:	€/a	3.651,9	3.651,9	3.287,5	3.287,5	3.691,3	3.691,3
Wartungskosten:	€/a	4.837,4	4.837,4	15.606,3	15.606,3	15.295,9	15.295,9
prognostizierter Solarertrag pro Jahr:	kWh/a	621.563	621.563	559.301	559.301	628.186	628.186
Preis kWh - solar: Mittelwert	€/kWh	0,062	0,061	0,186	0,100	0,093	0,084
Jahresnutzungsgrad des konv. Heizsystems (Annahme):		75%	75%	75%	75%	75%	75%
Brennstoffeinsparung in kWh:	kWh/a	828.751	828.751	668.600	668.600	837.581	837.581
Brennstoffeinsparung: (Fernwärme)	kWh/a	828.751	828.751	668.600	668.600	837.581	837.581
Preis kWh - konventionell:	€/kWh	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084
Kosteneinsparung pro Jahr:	€/a	69.615	69.615	56.162	56.162	70.357	70.357
statische Amortisationszeit: Mittelwert	Jahre	5,7	5,6	17,0	5,3	7,5	6,4
CO ₂ -Einsparung pro Jahr:	t/a	202,6	198,9	133,8	133,8	201,0	201,0
Kosten pro Tonne CO ₂ -Einsparung:	€/t	191	191	793	424	289	262

Anlage 8 - Daten CD