



Von der Ruine zum Sonnenhaus

Machbarkeitsstudie zur „Realisierung einer großen Solaranlage im Rahmen der Sanierung der Gneisenaukaserne zu einem Studentenwohnheim“

Endfassung Stand 30.4.2010

erstellt durch das

Kompetenzzentrum Solar
an der Fachhochschule Trier
Prof. Dr.-Ing. Christoph Menke
Schneidershof
D-54293 Trier

in Kooperation mit dem
Solarverein Trier e.V.
Im Gerstengarten 2
D-54317 Osburg

gefördert durch das
Ministerium für Umwelt, Forsten und
Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz



FACHHOCHSCHULE TRIER
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung
University of Applied Sciences



Solar-
verein
e.V.
Verein zur
Förderung
erneuerbarer
Energien in der
Region Trier



Rheinland-Pfalz
Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz

Vorwort

Diese Studie soll die Stadt Trier als Eigentümer des Gebäudes Gneisenaukaserne in die Lage versetzen, die grundlegenden Entscheidungen für die solare Versorgung des zukünftigen Studentenwohnheims zu treffen und sie mit den wichtigsten Details einer kostenoptimierten Solaranlagenplanung vertraut machen.

Diese Studie wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Trotzdem übernehmen wir keinerlei Haftung für eventuelle Schäden, die durch fehlerhafte oder falsche Beschreibungen entstehen.

Die Studie ist für Entscheider bestimmt und soll grundsätzliche Feststellungen treffen. Sie ist keine Planungsunterlage und kann und soll eine Fachplanung durch einen erfahrenen Ingenieur vor der Realisierung der Anlagen nicht ersetzen.

Unser besonderer Dank gilt allen, die uns bei der Erstellung dieser Studie unterstützt und sie möglich gemacht haben:

Kristina Zöbel und Jürgen Eckstein vom Amt für Gebäudewirtschaft der Stadt Trier
Beate Kaufmann vom Denkmalpflegeamt der Stadt Trier
Jürgen Hostert vom Ing. Büro P.-G. Bläsius + Partner Trier
Architekturbüro Weltzel + Hardt Trier
sowie
Professor Karl Keilen vom Umweltministerium Rheinland-Pfalz

Trier im Frühjahr 2010

Tanja Fink, Sofia dos Santos Freitas, Matthias Gebauer, Christoph Menke

Quellennachweis:

Alle Photos und Schaubilder, soweit nicht anders vermerkt,
vom Solarverein Trier e.V.

Inhalt

1.	Einführung und Aufgabenstellung	1
2.	Das Objekt	2
2.1	Geschichte	2
2.2	Geplante Nutzung	3
2.3	Stand der Sanierungsplanung.....	4
3.	Abschätzung des Wärmebedarfs.....	6
3.1	Transmissionswärmeverluste.....	6
3.2	Lüftungswärmeverluste	7
3.3	Warmwasserbedarf.....	8
3.4	Wärmeverteilung und –übertragung.....	11
3.4.1	<i>Brauchwasserbereitung</i>	<i>11</i>
3.4.2	<i>Flächenheizungen zur Raumwärmeübertragung</i>	<i>13</i>
3.5	Zusammenfassung.....	14
4.	Simulation der solaren Energieversorgung.....	16
4.1	Trinkwassererwärmungsanlage	16
4.2	Kleine Anlage zur solaren Heizungsunterstützung.....	19
4.3	Große Anlage zur solaren Heizung (Sonnenhaus-Konzept)	22
4.4	Große Solaranlage in Kombination mit Wärmepumpe	25
5.	Fördermittelrecherche und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	28
5.1	Fördermöglichkeiten.....	28
5.1.1	<i>KfW-Programm Erneuerbare Energien</i>	<i>28</i>
5.1.2	<i>Energieforschungsprogramm der Bundesregierung.....</i>	<i>29</i>
5.1.3	<i>Förderung durch das Land Rheinland-Pfalz.....</i>	<i>29</i>
5.2	Eckdaten der Varianten.....	31
5.3	Kapitalwertberechnung	32
5.4	Dynamische Amortisation	33
5.5	Sensitivitätsanalyse.....	34
6.	Anforderungen an eine solare Sanierung durch den Denkmal- und Brandschutz	36
6.1	Brandschutz	36
6.2	Denkmalschutz.....	36
6.3	Auswirkungen auf das Projekt Gneisenau	37
7.	Zusammenfassung und Empfehlung	39
	Zeichenerklärung	40
	Literatur- und Quellenverzeichnis	41
	Anhang.....	43
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	43
	Klimadaten Trier.....	44
	Parameter der Anlagenvarianten mit Simulationsergebnissen.....	45
	Details der Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	46
	Beispiele Solaranlagen im Denkmalschutz	47

1. Einführung und Aufgabenstellung

Der Klimawandel, die Verknappung fossiler Brennstoffe und die daraus resultierenden langfristigen Energiepreiserhöhungen erfordern ein grundlegendes Umdenken bei beteiligten Planern und Institutionen im Bereich Bauen und Wohnen – denn ein Großteil unserer Primärenergie wird in Deutschland für Raumheizung und Warmwasser verbraucht.

Die Bundesregierung sieht in ihrer Klimaschutzinitiative vor, die Treibhausgasemissionen Deutschlands bis 2020 gegenüber 1990 um 40 % zu senken. Zielsetzung für den Wärmesektor ist dabei ein Anteil von 14 % aus erneuerbaren Energien.

Maßnahmen zur Energieeinsparung und die Nutzung der kostenlosen und unerschöpflichen Sonnenenergie spielen dabei eine zentrale Rolle für unsere zukünftige Wärmeversorgung. Dies gilt nicht nur für Neubauten, die mit ca. 1 % pro Jahr nur einen geringen Anteil an der Gebäudesubstanz ausmachen, sondern insbesondere auch für die Altbausanierung.

Jeder Altbau setzt der technischen Umsetzung der oben genannten Maßnahmen Grenzen durch seine individuellen Eigenschaften. Handelt es sich um ein Baudenkmal, müssen zusätzlich Anforderungen aus dem Denkmalschutz berücksichtigt werden. Diese führen häufig dazu, dass die Wärmedämmung bei solchen Gebäuden hinter den in der Energieeinsparverordnung geforderten Werten zurückbleibt und Solarprojekte gar nicht umgesetzt werden können.

Aber es gibt auch mehr und mehr erfolgreiche Projekte, die zeigen, dass Denkmalschutz und eine umweltentlastende Energieversorgung kein Widerspruch sein müssen (s. Anhang). So können Einschränkungen des Denkmalschutzes im Bereich der Wärmedämmung gut durch thermische Solaranlagen ausgeglichen werden und es zeigt sich immer häufiger, dass optisch ansprechende, dachintegrierte Kollektoren – wie sie heute bereits von vielen Herstellern verfügbar sind – das Gesamterscheinungsbild eines Bauwerks kaum stören.

In der folgenden Studie soll anhand der Gneisenaukaserne in Trier aufgezeigt werden, in welcher Weise bei der Sanierung und dem Umbau zu einem Studierendenwohnheim thermische Solarenergie zum Einsatz kommen kann. Dazu wurden verschiedene Anlagenvarianten durchsimuliert und auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht. In einem weiteren Schritt werden die Auswirkungen des Denkmalschutzes auf das konkrete Objekt erörtert. Auf dieser Basis folgen Handlungsempfehlungen für die weitere Umsetzung.

2. Das Objekt

Entlang der Gneisenaustraße im Stadtteil Trier-West, der bisher in Teilen als sozialer Brennpunkt der Stadt gilt, befinden sich drei Gebäude der ehemaligen „Gneisenaukaserne“, für die die Stadt eine neue Nutzung vorsieht.

- Im Gebäude 41 – 43 entsteht ein „Haus des Jugendrechts“. Es wird unter anderem zwei Jugendstaatsanwälte, das Sachgebiet Jugend der Polizei und die Jugendgerichtshilfe beherbergen.
- In das Gebäude 38 – 40 wird die Arbeitsgemeinschaft der Agentur für Arbeit und der Stadt (Arge), die bislang in der Dasbachstraße in Trier-Nord die Hartz IV-Gesetze umsetzt, als Mieter einziehen.
- Der Block 33 – 37, auf den sich die vorliegende Studie bezieht, soll zu einem Studierendenwohnheim umgebaut werden.¹



Abb. 1: Gneisenaukaserne 33 – 37, Südansicht²

2.1 Geschichte

Das Gebäude 33 – 37 der Gneisenaukaserne wurde 1899 als Quartier für preußische Soldaten errichtet und von diesen über mehrere Jahrzehnte genutzt. Als das preußische Militär aus der Kaserne wegzog, wurde sie grundlegend umgebaut und es entstanden dort Mietwohnungen im Besitz der Stadt Trier. Im Rahmen dieses Umbaus wurden an der Nordseite des Gebäudes vier äußere Treppenhäuser hinzugefügt, die nun die einzigen Zugänge zum Ost- und Westflügel bilden.

¹ Quelle: <http://cms.trier.de>

² Links: Luftaufnahme aus www.bing.com, hinter der Kaserne ist die Halle der Lern- und Spielwerkstatt erkennbar; Rechts: Quelle: Solarverein Trier e. V.



Abb. 2: Mittelteil und Westflügel der Gneisenaukaserne 33 – 37, Nordansicht auf die äußeren Trppenhäuser¹

Bis in die 90er Jahre nutzte die Stadt Trier das Gebäude für Sozialwohnungen. Die Kaserne steht heute unter Denkmalschutz, sie bildet zusammen mit anderen umgebenen Gebäuden eine sogenannte „Denkmalschutzzone“. Inzwischen stehen alle drei Gebäude leer, ein Antrag auf Abriss wurde vor einigen Jahren von der Denkmalschutzbehörde abgewiesen. Im ersten Gebäudekomplex (Haus des Jugendrechts) wurde im Frühjahr 2010 mit den Sanierungsarbeiten begonnen.

2.2 Geplante Nutzung

Die Stadt Trier als Eigentümerin will das Gebäude Gneisenaustraße 33 – 37 in Kooperation mit dem Studierendenwerk Trier zu einem Studentenwohnheim umbauen. Der Umbau erfolgt im Rahmen der Gemeinschafts-Initiative „Soziale Stadt“ mit Zuschüssen des Landes Rheinland-Pfalz und des Bundes. Das Städtebauförderungsprogramm „Stadtteile mit besonderem Entwicklungsbedarf – Soziale Stadt“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) hat zum Ziel, benachteiligte Stadtteile aufzuwerten und die Lebensbedingungen vor Ort umfassend zu verbessern.²

Für eine neue Nutzung muss das Gebäude generalsaniert werden. Damit bietet sich eine besondere Chance, eine umweltentlastende Energieversorgung zu integrieren. Neben der wärmetechnischen Verbesserung der Gebäudehülle stellt das große Süddach eine gute Voraussetzung dar, um mit kostenloser Sonnenenergie einen Großteil des verbleibenden Energieverbrauchs abzudecken.

¹ Quelle: Solarverein Trier e. V.

² S. www.sozialestadt.de.

Studierendenwohnheime wirtschaftlich zu betreiben ist wichtig, da den angehenden Wissenschaftlern ohne eigenes Einkommen preiswerter Wohnraum zur Verfügung gestellt werden sollte. Dies bedeutet in Zeiten steigender Energiepreise eine große Herausforderung für die Betreiber.

In dem Objekt besteht aber nicht nur die Chance, die kostenlose Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung einzusetzen, sondern auch die Raumheizung zu einem Großteil (> 50%) mit der Sonne zu versorgen. Eine solche Großanlage stellt jedoch auch besondere Anforderungen an die bauliche Integration in das bestehende Gebäude – auch unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes -, an die technische und ökonomische Auslegung der Anlage und an die Hygiene der Warmwasserbereitung.

2.3 Stand der Sanierungsplanung

Das Sanierungsprojekt für das Gebäude 33 – 37 befindet sich in einem fortgeschrittenen Planungsstadium. Die geplante Ausführung sieht 65 Studentenappartments vor, von denen zwei behindertengerecht ausgeführt werden sollen. Die meisten Wohneinheiten werden Einzelappartments sein, insgesamt sollen 71 Wohnheimplätze entstehen.¹

Die Haupt-Nutzfläche wird knapp 1.680 m² betragen, das beheizte Volumen rund 6.800 m³.²

Die beiden einstöckigen Anbauten am Ost- und Westgiebel des Gebäudes sollen ebenfalls ausgebaut werden, hier entstehen Fahrradabstellplätze und Waschräume. Die vier äußeren Treppenhäuser an der Nordseite werden voraussichtlich wegen Anforderungen aus dem Brandschutz abgerissen und neugebaut. Ebenfalls aus Gründen des Brandschutzes wird zur Zeit die nachträgliche Errichtung von Dachgauben am Nord- und Süddach diskutiert.

Im Rahmen der energetischen Verbesserung der Gebäudehülle soll eine Keim-iPor-Innendämmung zum Einsatz kommen.³ Um das äußere Erscheinungsbild der ehemaligen Kaserne nicht zu beeinträchtigen, erlaubt der Denkmalschutz keine Außendämmung.

Die Dacheindeckung ist an mehreren Stellen undicht und muss komplett erneuert werden. Neben der wärmetechnischen Ausführung nach EnEV-Standard bietet sich hier die Chance, eine thermische Solaranlage besonders kostengünstig zu installieren. Als Alternative oder Ergänzung dieser Dachfläche kann das Dach der Lern- und Spielwerkstatt in der Gneisenaustraße 37 A dienen. Dieses Gebäude liegt etwa 20m nördlich von der Kaserne und ist von der Gneisenaustraße aus nicht direkt einsehbar.

¹ Quelle: Weltzel + Hardt Architekten, 11.03.2010, Trier.

² Quelle: ebenda.

³ Vgl. <http://www.keimfarben.de>.



Abb. 3: Standort der Gneisenaukaserne 33 – 37 (rot) und der Lern- und Spielwerkstatt (blau)¹

Die zukünftige Heizzentrale und die geplante RLT-Anlage sollen im Spitzboden des mittleren Gebäudeteils der Kaserne untergebracht werden. Zum jetzigen Stand der Planung ist eine Wärmeversorgung durch einen Gas-Brennwertkessel mit rund 90 kW vorgesehen.

¹ Quelle: <http://maps.google.de>, Einfärbung hinzugefügt

3. Abschätzung des Wärmebedarfs

Für die Auslegung der zukünftigen Wärmeversorgung des Objekts ist zunächst die Abschätzung des Wärmebedarfs erforderlich, der sich als Summe aus den Transmissionswärmeverlusten, den Lüftungswärmeverlusten, dem Brauchwasserbedarf und eventuell den Zirkulationsverlusten ergibt.

Aktive Kühlung ist für das zukünftige Studierendenwohnheim nicht vorgesehen, Kühllasten werden daher in den folgenden Ausführungen nicht betrachtet. Solare Gewinne und innere Lasten bzw. Gewinne werden bei den in Kapitel 4.1 bis 4.4 vorgestellten Varianten auf unterschiedliche Weise berücksichtigt. An gegebener Stelle wird darauf näher eingegangen.

3.1 Transmissionswärmeverluste

Transmissionswärmeverluste bezeichnen die Wärmeverluste eines Gebäudes durch die Außenflächen bei Außentemperaturen unterhalb der Raumtemperatur. Ihre Höhe hängt ab vom Temperaturunterschied zwischen Raum und Außenluft und den Transmissionskoeffizienten der Außenbauteile.

Es gilt:¹

$$\dot{Q}_T = k \cdot A \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)$$

Für die Außenflächen wurden in Absprache mit dem Ingenieurbüro P.-G. Bläsius und Partner² folgende U-Werte angenommen (in W/m²K):³

- Außenwände: 0,31 – 0,55
- Bodenplatte zu Erdreich/
zu unbeheiztem Raum 0,30
- Dach 0,24
- Fenster 1,10
- Außentüren 2,90

Die U-Werte der Außenwände entsprechen zum Teil nicht den Anforderung der aktuellen EnEV 2009 (0,35 W/m²K)⁴, denn unter dem Gesichtspunkt des Denkmalschutzes kommt für das Objekt nur Innendämmung in Frage. Aus bauphysikalischen Gründen und um den umbauten – sprich nutzbaren – Raum nicht zu sehr zu verkleinern, ist ihre Stärke in der Regel begrenzt. Zum aktuellen Stand der Planung sind 50 bzw 100 mm Keim-iPor-Dämmplatten vorgesehen⁵, die stärkere Dämmung der

¹ Vgl. Schramek, E.-R., Taschenbuch, 2001, S. 1471.

² Das Ingenieurbüro P.-G. Bläsius und Partner ist beim Umbau der Gneisenaukaserne mit der Planung der Technischen Gebäudeausrüstung beauftragt.

³ Email Jürgen Hostert, Ingenieurbüro P.-G. Bläsius und Partner vom 2.3.2010

⁴ S. Anlage 3 Nr. 7 EnEV.

⁵ Vgl. <http://www.keimfarben.de>.

Giebelwände führt dabei zum besseren U-Wert (0,31 im Gegensatz zu 0,55 W/m²K). Alle übrigen Bauteile sollen möglichst nach EnEV ausgeführt werden.

Die mittlere Innentemperatur betrage 22°C, die Norm Außentemperatur liegt für Trier bei –10 °C.

Daraus ergibt sich eine maximale Heizlast durch Transmission von rund 45 kW. Abb. 4 zeigt die Jahresdauerlinie der Heizlast in Abhängigkeit von der Außentemperatur.

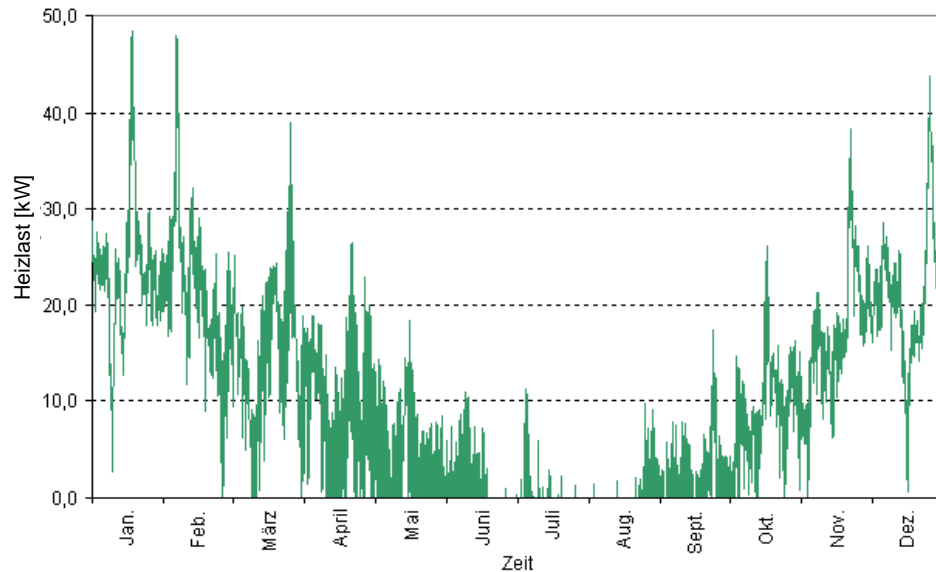


Abb. 4: Jahresdauerlinie der Heizlast durch Transmissionsverluste¹

Der Gesamtenergieverbrauch durch Transmission beträgt 91,4 MWh/a.

3.2 Lüftungswärmeverluste

Neben der Transmission durch die Außenflächen verursacht auch die freie oder mechanische Lüftung Wärmeverluste, wenn die Außenluft kälter als die Raumluft ist.

Es gilt:²

$$\dot{Q}_L = \dot{V} \cdot c \cdot \rho \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)$$

Neben der Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur sind Lüftungsverluste abhängig vom Lüftungsvolumen. Der notwendige Mindestwert richtet sich vornehmlich nach Anforderungen an ein behagliches Raumklima und nach der Höhe abzuführender Feuchtelasten.

¹ Quelle: eigene Darstellung aus Excel-Berechnung, Klimadaten für die 8760 Jahresstunden aus Meteonorm: www.meteonorm.com

² Vgl. Schramek, E.-R., Taschenbuch, 2001, S. 924.

Für die Gneisenaukaserne wird von einem Mindestluftwechsel von 0,5 pro Stunde ausgegangen. Bei einem beheizten Raumvolumen von ca. 6.800 m³ und einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,5 ergibt sich ein Luftwechsel von 1.700 m³/h.

In der neuen DIN 1946-6 wird allerdings für Bäder mit WC sowie für Kochnischen eine höhere Abluftrate bei mechanischer Lüftung empfohlen.¹ Da zum jetzigen Stand der Planung eine Lüftungsanlage vorgesehen ist, wird eine Luftwechselrate von insgesamt 5.600 m³/h angenommen. Dies entspricht einer zusätzlichen Heizlast bei Auslegungstemperatur von rund 58,0 kW. Die geplante Wärmerückgewinnung von 60 % würde diesen Wert auf 23,2 kW verringern.²

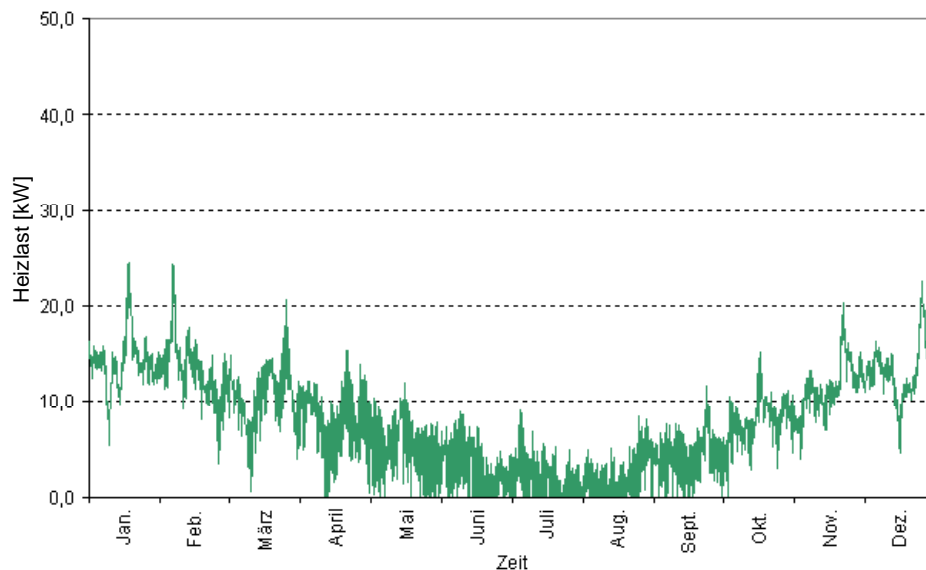


Abb. 5: Jahresdauerlinie der Heizlast durch Lüftungswärmeverluste³

In diesem Fall liegt der Energiebedarf zur Deckung der Lüftungsverluste noch bei 69,6 MWh/a.

Voraussetzung für eine funktionierende Lüftungsanlage ist ein ausreichend dichtes Gebäude. Dies sollte im Rahmen der Bau-Qualitätssicherung durch zwei Blower-Door-Tests – während der Bauphase und nach Abschluss der Bauarbeiten – gewährleistet werden.

3.3 Warmwasserbedarf

Nach ihrer Sanierung soll die Gneisenaukaserne Wohnraum für 71 Studierende bieten.⁴ Die Abschätzung des Warmwasserbedarfs erfolgt nach der VDI-Richtlinie 6002 Blatt 2. Der Tages-Trinkwarmwasserbedarf ist dort für die sommerliche Schwachlast-

¹ S. DIN 1946-4, Abschn. 6.

² Email Jürgen Hostert, Ingenieurbüro P.-G. Bläsius und Partner vom 2.3.2010

³ Quelle: eigene Darstellung aus Excel-Berechnung

⁴ Stand: 11.03.2010

periode mit 20 Litern bei 60°C und im Jahresmittel mit 37 Litern pro Vollbelegungsperson angegeben.¹

Anders als in den meisten anderen Wohngebäuden ist für den Warmwasserbedarf in Studierendenwohnheimen die stark schwankende Anzahl an anwesenden Personen im Jahresverlauf charakteristisch. Je nach Attraktivität des Standorts, Umfang an Prüfungen und anderen Veranstaltungen während der vorlesungsfreien Zeit und Anteil an ausländischen Studierenden ist ein Wohnheim in den Semesterferien mehr oder weniger schwach belegt.

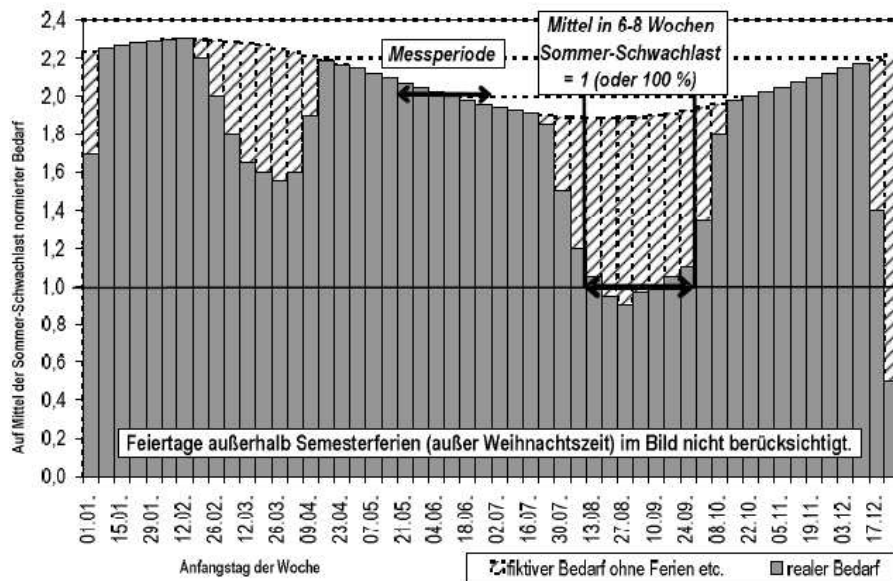


Abb. 6: Normiertes Jahresprofil des Bedarfs an warmem Trinkwasser in Studentenwohnheimen²

Die maximale Stundenspitze ergibt sich aus den typischen Wochen- und Tageszapfprofilen.

¹ S. VDI 6002-2.

² Quelle: VDI 6002-2.

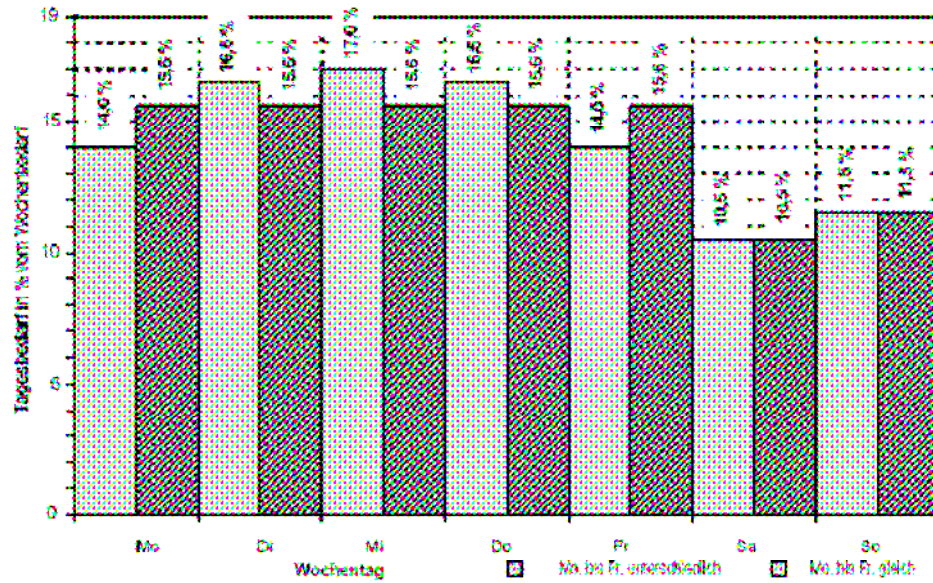


Abb. 7: Normiertes Wochenprofil des Bedarfs an warmem Trinkwasser in Studentenwohnheimen¹

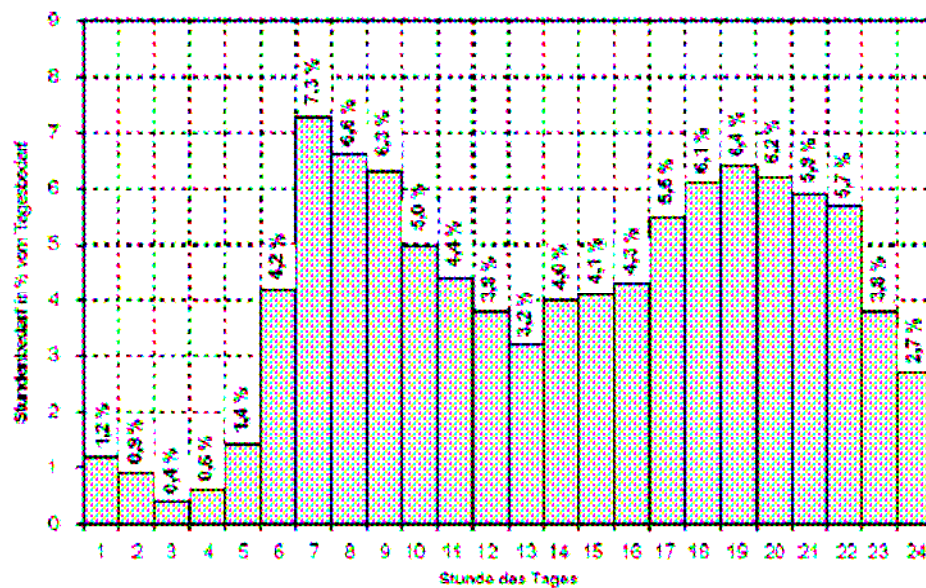


Abb. 8: Normiertes Tagesprofil des Bedarfs an warmem Trinkwasser in Studentenwohnheimen²

Demnach tritt die höchste Stundenspitze im Januar/Februar auf und beträgt 292,5 l. Der zum Aufheizen benötigte Energiebedarf errechnet sich aus:

$$Q_{ww} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Damit ergibt sich bei einer mittleren Kaltwassertemperatur von 10 °C ein Spitzenwert in dieser Stunde von 17,0 kW. Dieser Wert setzt voraus, dass mindestens der

¹ Quelle: ebenda.

² Quelle: VDI 6002-2.

Warmwasserbedarf für eine Stundenspitze bevorratet werden kann. Durch größere Auslegung des Speichervolumens wird entsprechend weniger Heizleistung benötigt.

Der Jahresbedarf für die Warmwasserbereitung liegt bei 52,1 MWh.

3.4 Wärmeverteilung und -übertragung

Nicht nur die Art der Energieerzeugung und deren Effizienz leisten einen Beitrag zu einer nachhaltigen Wärmeversorgung eines Gebäudes, sondern auch die Verteil- und Übertragungssysteme. Von ihnen hängt unter anderem ab, auf welchem Temperaturniveau Wärme bereitgestellt werden muss und wie hoch die Übertragungsverluste sind. Außerdem ist eine sorgfältige Planung und Auslegung der "Schnittstelle" zwischen Wärmeerzeugung und -nutzung oft entscheidend für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Betriebsweise von alternativen Wärmequellen wie Solaranlagen (Exergie-Nutzung!).

3.4.1 Brauchwasserbereitung

Im Bereich der Mehrfamilienhäuser und großen Wohngebäude stehen generell verschiedene Hydraulikkonzepte zur Brauchwassererwärmung zur Verfügung.

a) 4-Leiter-Netz

4-Leiter-Netze bestehen neben der Vor- und Rücklaufleitung für die Raumheizung aus zwei trinkwasserführenden Strängen für die Warmwasserverteilung: der Verteil- und der Zirkulationsleitung. Die Brauchwasserbereitung erfolgt zentral. Dieses Konzept ist zum jetzigen Stand der Planung für die Gneisenaukaserne vorgesehen.

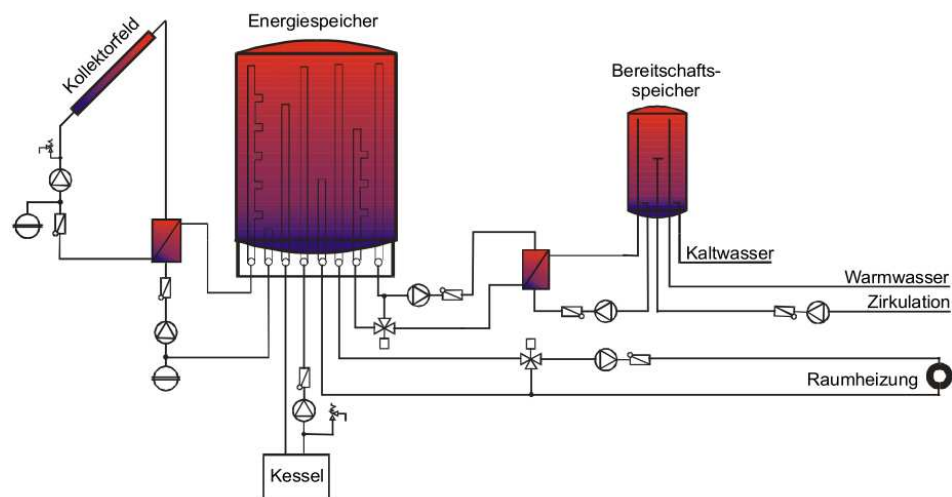


Abb. 9: Anlagenschema Vier-Leiter-Netz¹ mit bereits integrierter Solaranlage

¹ Quelle: Fink, C./Riva, R./Heimrath R., Wärmeversorgungskonzepte, 2002.

b) 2-Leiter-Netz

Beim 2-Leiter-Netz wird die Brauchwassererwärmung dezentral in den Wohnungen oder Apartments erwärmt, es kommen Subspeicher oder Durchflusserhitzer zum Einsatz. Es gibt für Raumheizung und Warmwasser nur einen gemeinsamen Versorgungsstrang sowie einen gemeinsamen Rücklaufstrang.

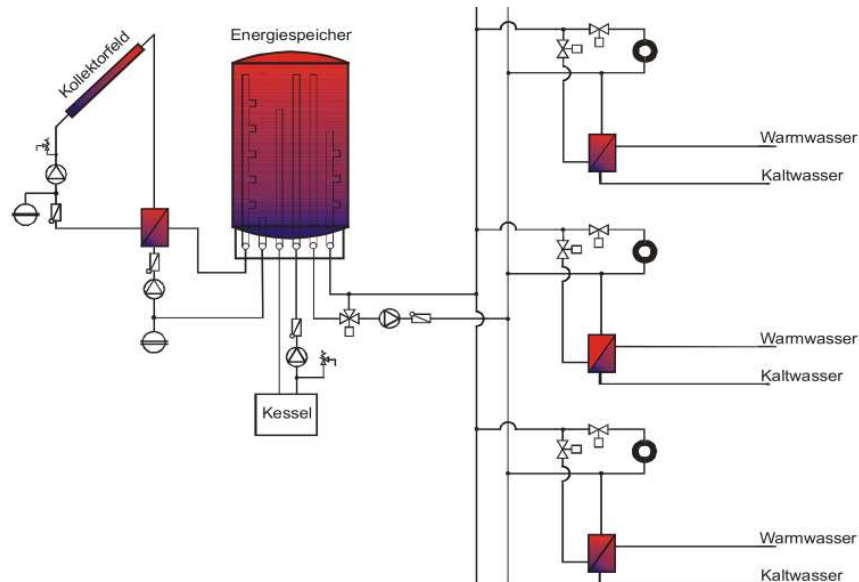


Abb. 10: Anlagenschema Zwei-Leiter-Netz¹

Die Vorteile des 2-Leiter-Netzes:

- Verteilverluste werden auf ein Minimum reduziert, die höchstmögliche Systemeffizienz wird erreicht.
- Bei gut geregelten Hydraulikkonzepten ist eine konstante Rücklauftemperatur von unter 30 °C möglich. Dadurch kann eine effiziente Betriebsweise von Solaranlagen sichergestellt werden.
- Legionellen-Probleme werden komplett vermieden durch das Fehlen von stagnierendem Frischwasser.

Das dezentrale Konzept mit Durchflusserhitzern würde auch für die Gneisenaukaserne zahlreiche Vorteile bieten. Auf den geplanten Brauchwasserspeicher im Spitzboden des Mittelgebäudes könnte verzichtet werden. Die aktuellen Planunterlagen sehen vor, je zwei bzw. vier Nasszellen aneinander angrenzend anzuordnen, so dass eine Übergabestation gleich mehrere Apartments versorgen könnte. Auf diese Weise können Kosten und Platz eingespart werden. Den Mehrkosten für die rund 24 Stationen stehen geringere Verrohrungskosten gegenüber.

¹ Quelle: ebenda.



Abb. 11: Vormontierte Wohnungsstationen sind platzsparend und erleichtern die Montage.¹

3.4.2 Flächenheizungen zur Raumwärmeübertragung

Flächenheizungen geben ihre Wärme zu einem Großteil über Strahlung ab. Dies sorgt für ein besonders angenehmes Raumklima, die Temperaturschichtung im Raum bleibt gering und Staubaufwirbelungen werden reduziert. Gegenüber Heizkörpern ist der Vorteil der Platzersparnis zu nennen, wofür aber höhere Investitionskosten in Kauf genommen werden müssen. Ihre Regelung reagiert eher träge, d. h. eine schnelle Anpassung der Raumtemperatur ist nicht möglich.

Aus diesem Grund sind Flächenheizungen z. Zt. für die Gneisenaukaserne nicht vorgesehen. Denn eine sogenannte "Fensterkontaktsteuerung" soll im künftigen Studierendenwohnheim beim Öffnen des Fensters im jeweiligen Apartment die Heizung abdrehen. So soll vermieden werden, dass wertvolle Wärmeenergie ungenutzt nach außen entweicht. In Kombination mit Fensterkontaktsteuerungen kommen in der Regel nur Heizkörper infrage, die weniger träge auf Lastwechsel reagieren, aber höhere Vor- und Rücklauftemperaturen benötigen.

Große Nachteile ergeben sich hierbei für den Einsatz von Niedertemperatur-Wärmeerzeugern wie Solaranlagen oder Wärmepumpen. Im Rahmen einer nachhaltigen und energieeffizienten Sanierung sollte daher immer geprüft werden, ob Flächenheizungen nicht doch die bessere Alternative sind. Reduzierte Verteilverluste, eine wesentliche bessere Exergie-Ausnutzung und dadurch bedingt bessere Betriebsbedingungen für Solaranlagen können die durch ungünstiges Nutzerverhalten verursachten Verluste unter Umständen ausgleichen oder sogar übertreffen.

¹ Quelle: Fink, C., Solaranlagen, 2000

Kritisch zu hinterfragen ist darüber hinaus die Langzeittauglichkeit einer „Hightech“-Einzelfenstersteuerung, die mit einer Vielzahl von Sensoren und Aktoren anfällig für zahlreiche Fehlerquellen ist.¹ Die Erfahrungen mit kontrollierter Be- und Entlüftung und der so sichergestellten optimalen Luftqualität – insbesondere mit der geplanten hohen Luftwechselrate – zeigen zudem ein stark vermindertes Bedürfnis nach Fensterlüftung, vor allem in der kritischen Heizperiode.

3.5 Zusammenfassung

Tab. 1 fasst die ermittelten Werte der Heizlasten und des Wärmebedarfs zusammen:

Parameter	Wert
max. Heizlast durch Transmission	45,0 kW
max. Heizlast für Lüftung	23,2 kW
max. Heizlast für WW-Bereitung	17,0 kW
Summe	85,2 kW
Jahresenergiebedarf Transmission	91,4 MWh
Jahresenergiebedarf Lüftung	69,6 MWh
Jahresenergiebedarf WW-Bereitung	52,1 MWh
Summe	213,1 MWh

Tab. 1: Zusammenfassung Heizlasten und Wärmebedarf

Abb. 12 und Abb. 13 zeigen die Jahresdauerlinien des Wärmebedarfs.

¹ Langzeiterfahrungen mit solchen Konzepten sind ambivalent: In manchen Objekten würde man sie heute lieber wieder ausbauen, andere bedauern, dass sie nicht eingebaut wurden. Mündliche Aussage im Februar 2010 von Dr.-Ing. Boris Mahler vom Steinbeis Transferzentrum Stuttgart, das zahlreiche solcher Projekte im Rahmen der Programme Solarthermie2000(plus) und Enob betreut hat.

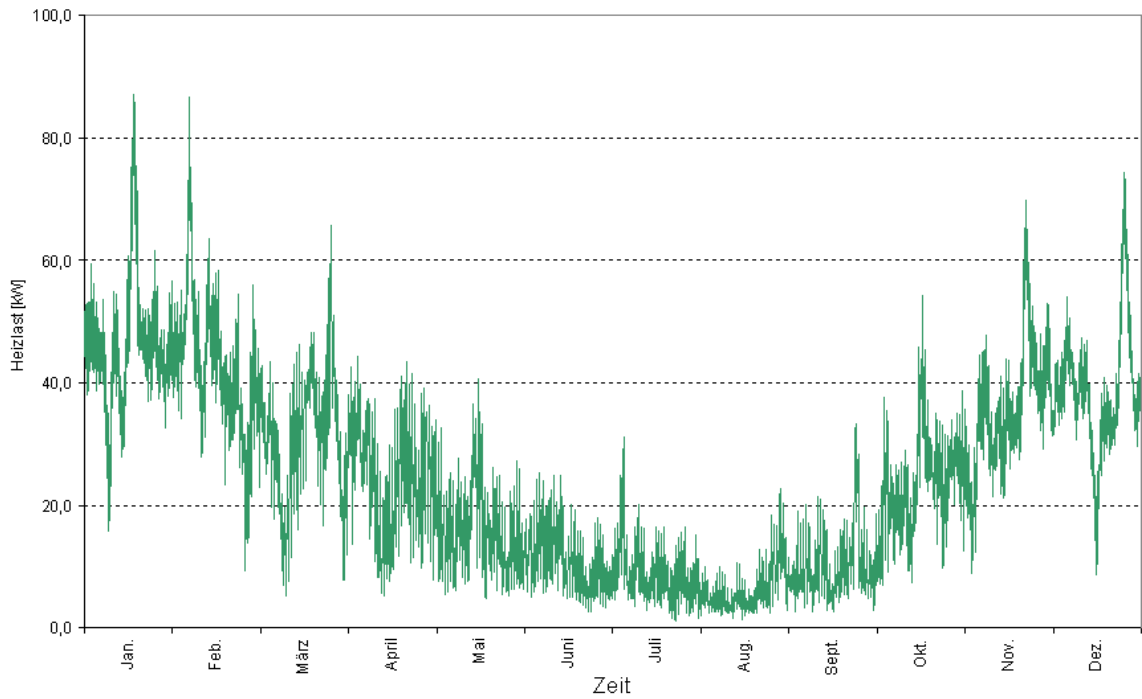


Abb. 12: Jahresdauerlinie des gesamten Wärmebedarfs (unsortiert)¹

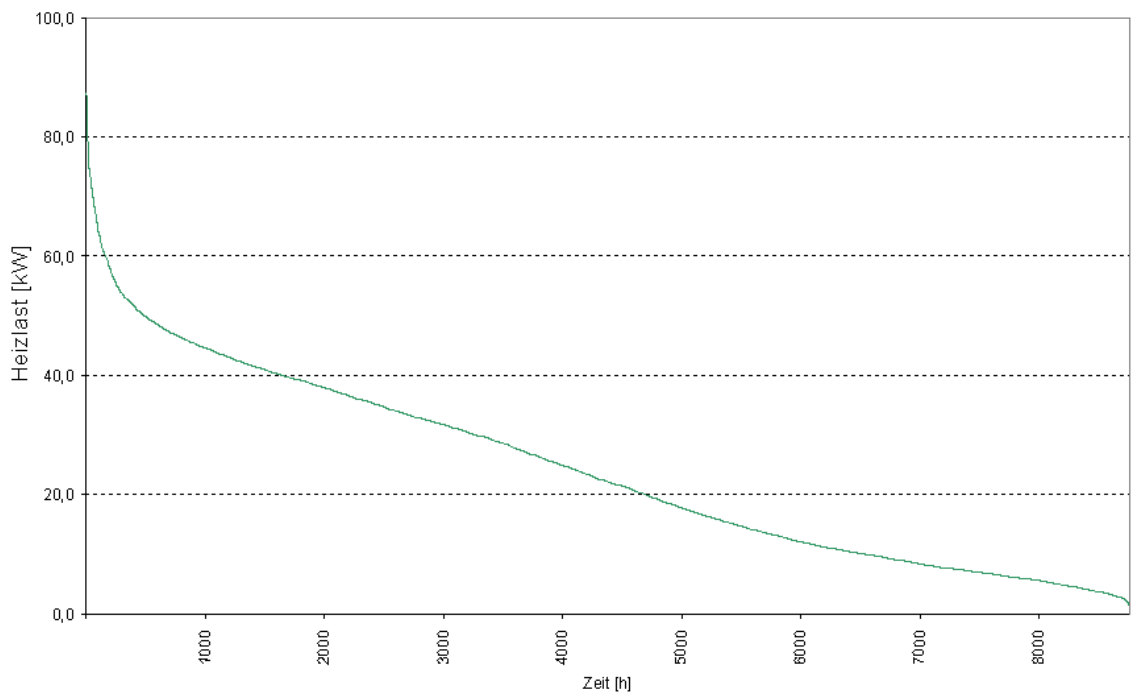


Abb. 13: Jahresdauerlinie des Heizwärmebedarfs (sortiert)²

¹ Quelle: eigene Darstellung aus Excel-Berechnung

² Quelle: eigene Darstellung aus Excel-Berechnung

4. Simulation der solaren Energieversorgung

Studentenwohnheime sind prinzipiell ideale Einsatzorte von großen thermischen Solaranlagen:

- Durch die hohe Fluktuation und die Belegung mit aufgeschlossenen, jungen Wissenschaftlern besitzen Solaranlagen auf Wohnheimen hohes Demonstrations- und Anschauungspotenzial.
- Durch die große Belegungsdichte besteht in den Gebäuden ein hoher Warmwasserverbrauch, selbst wenn er in den Semesterferien auf bis zu 50% fällt. Damit kann eine thermische Solaranlage auf solchen Gebäuden gut die kostenlose Solarenergie anzapfen und sehr wirtschaftlich arbeiten.¹

Im Folgenden werden vier Varianten vorgestellt, bei denen die Versorgung mit thermischer Energie in unterschiedlichem Umfang durch eine Solaranlage gedeckt wird. Neben einer reinen Trinkwassererwärmungsanlage wurden zwei verschiedene Varianten zur solaren Heizungsunterstützung untersucht sowie eine weitere in Kombination mit einer Wärmepumpe.

4.1 Trinkwassererwärmungsanlage

Die reine Trinkwassererwärmungsanlage stellt die Minimallösung unter den vier untersuchten Varianten dar. Im vorliegenden Objekt könnte auf eine Installation von Kollektoren auf dem Dach der Gneisenaukaserne völlig verzichtet werden. Stattdessen können diese auf dem dahinter liegenden Gebäude der Lern- und Spielwerkstatt montiert werden. Ausrichtung und Neigung des Daches sind hier zwar nicht optimal, sie spielen aber bei einer Brauchwasseranlage mit vorwiegender Sommernutzung eine geringere Rolle.

¹ Vgl. auch Gebauer, M./Kissel, H./dos Santos Freitas, S., Solaranlagen, 2009.

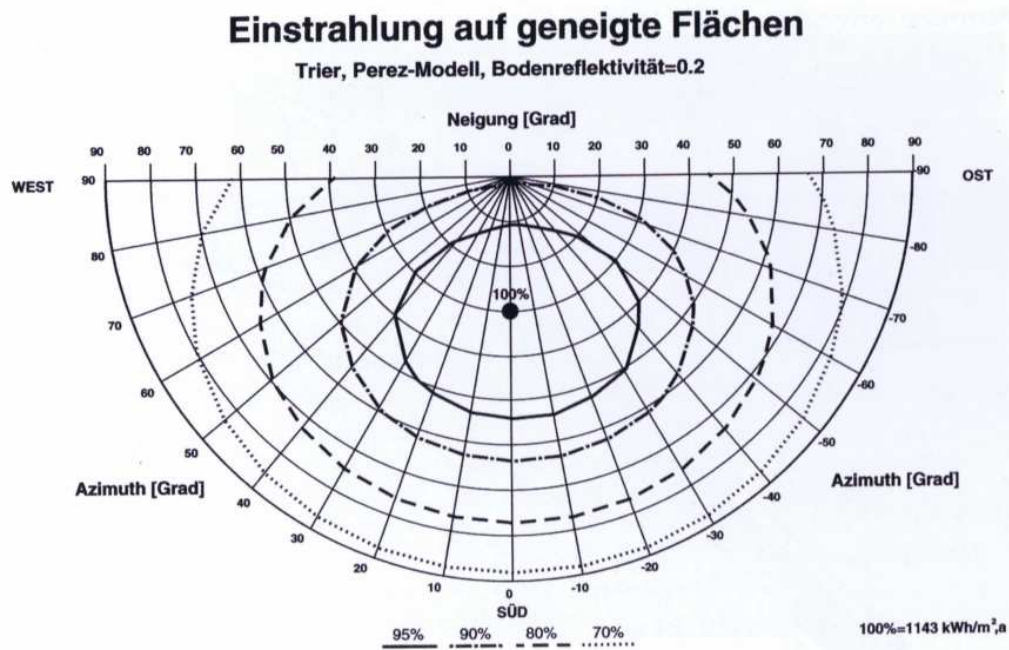


Abb. 14: Einfluss der Dachneigung und Ausrichtung auf das nutzbare Strahlungsangebot für Trinkwassererwärmungsanlagen¹

Die Anlagenvariante wurde mit den mit der aktuellen Version von T-Sol Expert 4.5.3 simuliert, dazu wurde das Anlagenschema C3 gewählt. Dieses Schema kommt der geplanten Warmwasser-Bereitung in der Dachzentrale mit vorgeschalteter Solarerwärmung im Keller am nächsten. Keine Eingabemöglichkeit besteht hierbei für die Entfernung zwischen Dachzentrale und Vorwärmung. Wird die Leitung jedoch in die Zirkulation mit eingebunden, entstehen keine zusätzlichen Leitungsverluste. In Spitzenzeiten (Sommersemesterferien) kann die Solaranlage zudem die Zirkulationsverluste abdecken.

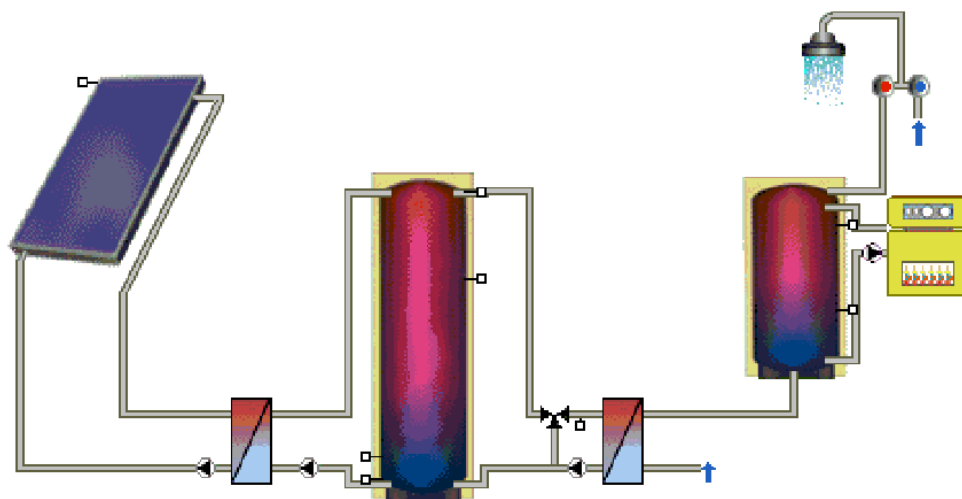


Abb. 15: Großanlagensystem für Warmwasser mit Bereitschaftsspeicher und Wärmeübertrager²

Tab. 2 fasst die Annahmen und Simulationsergebnisse für Variante 1 zusammen.

Parameter	Wert
Installierte Kollektorfläche (Brutto)	80 m ²
<i>Azimutwinkel</i>	- 67,5° (OSO)
<i>Aufstellwinkel</i>	18°
Pufferspeichervolumen	3,7 m ³
spezifischer Kollektorsertrag	345 kWh/m ² a
solarer Deckungsanteil Warmwasser	40,3 %
Systemnutzungsgrad	29,5 %
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	6.590 kg/a

Tab. 2: Simulationsergebnisse (T-Sol) Variante 1 : Trinkwassererwärmungsanlage

Um eine Förderung der Solaranlage durch die KfW-Bankengruppe in Anspruch nehmen zu können, muss diese Konfiguration einen jährlichen Mindest-Kollektorsertrag von 337 kWh/m² erzielen (s. dazu auch Kapitel 5.2: Fördermöglichkeiten). Dieser Wert wird bei der oben dargestellten Anlage erreicht.

Abb. 16 zeigt die Energieflüsse für Variante 1:



Abb. 16: Energieströme Variante 1

¹ Quelle: Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe, Wärme, 2008.

² Quelle: www.valentin.de

4.2 Kleine Anlage zur solaren Heizungsunterstützung

In der zweiten Variante soll die Solaranlage neben der Trinkwarmwassererwärmung auch einen Beitrag zur Raumheizung leisten. Um dies zu realisieren, müssen Kollektorfläche und Pufferspeicher größer ausgelegt werden.

Soll wieder nur das Dach der benachbarten Lern- und Spielwerkstatt genutzt werden, müssen die Kollektoren für eine Heizungsunterstützung entgegen der Dachneigung aufgeständert werden, um auch im Winterhalbjahr die Sonne gut nutzen zu können. Folgende Grafik zeigt die relativen Mindererträge bei ungünstigen Kollektorausrichtungen.

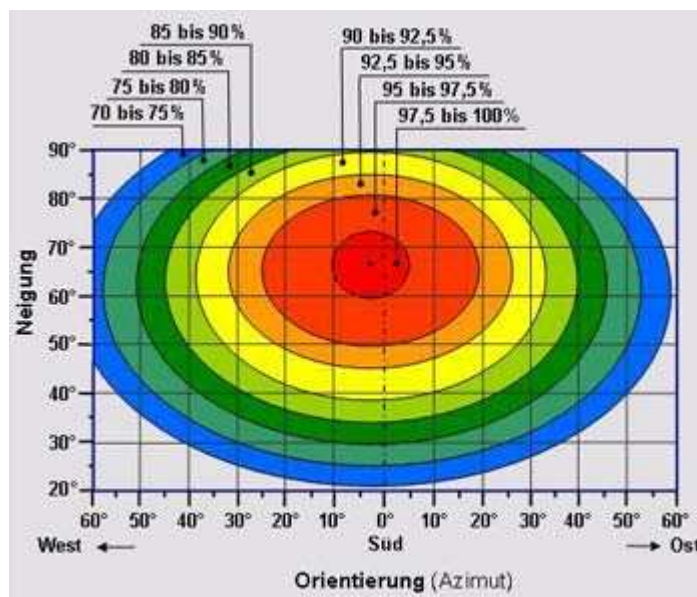


Abb. 17: Einfluss der Dachneigung und Ausrichtung auf das nutzbare Strahlungsangebot für Anlagen zur Heizungsunterstützung¹

Im Gegensatz zur statisch unproblematischen Dachintegration stellt dies jedoch besondere Anforderungen an das Dach (zusätzliches Gewicht der Ständer, höhere Windlasten, Dachdurchdringungen). Im schlimmsten Fall ist eine freitragende Ständerkonstruktion über dem Dach aufzubauen. Es ist dabei auf jeden Fall mit höheren Kosten zu rechnen.

¹ Quelle: www.sonnenhaus-institut.de



Abb. 18: Ausschnitt aus der freitragenden Dachkonstruktion über der Sporthalle in Neckarsulm-Amorbach mit 1252m² Kollektorfläche¹

Eine Nutzung der Werkstatt als Kollektorstandort kann nicht ohne die Zustimmung der Denkmalschutzbehörde geschehen, da sie wie die Gneisenaukaserne selbst innerhalb der Denkmalschutzzone liegt. Eine aufgeständerte Anlage müsste kleiner als obige und filigraner aufgebaut werden.

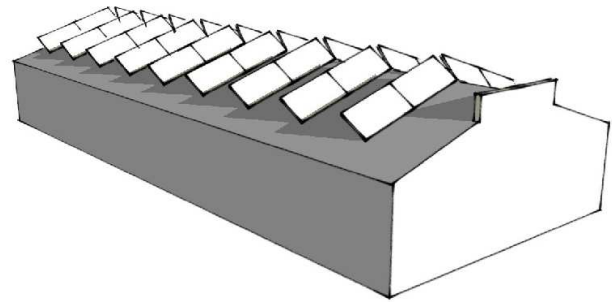


Abb. 19: Skizze der Nachbarhalle mit etwa 150m² aufgeständerten Kollektoren je Dachseite²

Die Anlagenvariante wurde mit den mit der aktuellen Version von T-Sol Expert 4.5.3 simuliert. Dazu wurde das Anlagenschema „Buderus SAT-VWS HZg.“ gewählt, das der geplanten Ausführung mit Dachzentrale und Heizungs-Rücklaufanhebung im Keller am ehesten entspricht:

¹ Quelle: Solarverein Trier e. V.

² Quelle: eigene Darstellung, erstellt mit Google SketchUp

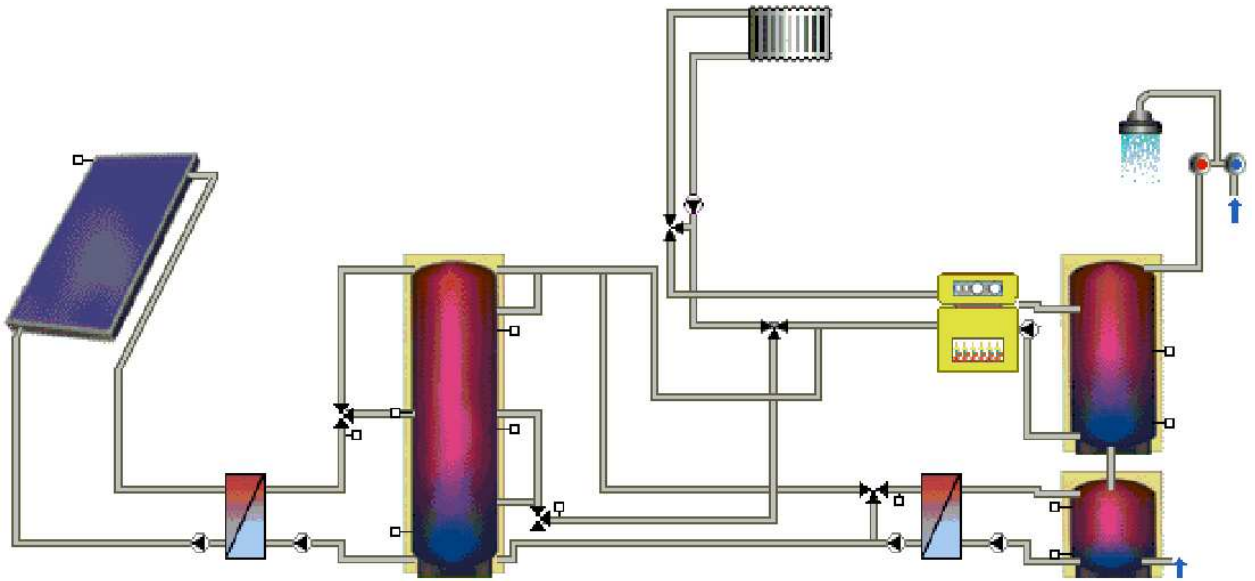


Abb. 20: Großanlagenschema für Heizungseinbindung mit Rücklaufanhebung¹

Tab. 3 fasst die Annahmen und Simulationsergebnisse für Variante 2 zusammen.

Parameter	Wert
Installierte Kollektorfläche (Brutto)	200 m ²
<i>Azimutwinkel</i>	22,5° (SSW)
<i>Aufstellwinkel</i>	40°
Pufferspeichervolumen	16 m ³
spezifischer Kollektorertrag	325 kWh/m ² a
solarer Deckungsanteil am Gesamtenergieverbrauch	28,6 %
Systemnutzungsgrad	24,3 %
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	11.553 kg/a

Tab. 3: Simulationsergebnisse (T-Sol) Variante 2 : Kleine Anlage zur solaren Heizungsunterstützung

Bei dieser Variante muss für eine KfW-Förderung ein jährlicher Mindest-Kollektorertrag von 270 kWh/m² erzielt werden (s. dazu auch Kapitel 5.2: Fördermöglichkeiten). Dieser Wert wird bei der oben dargestellten Anlage erreicht.²

¹ Quelle: www.valentin.de

² nachgewiesen mit TSol

Abb. 21 zeigt die Energieströme für Variante 2:

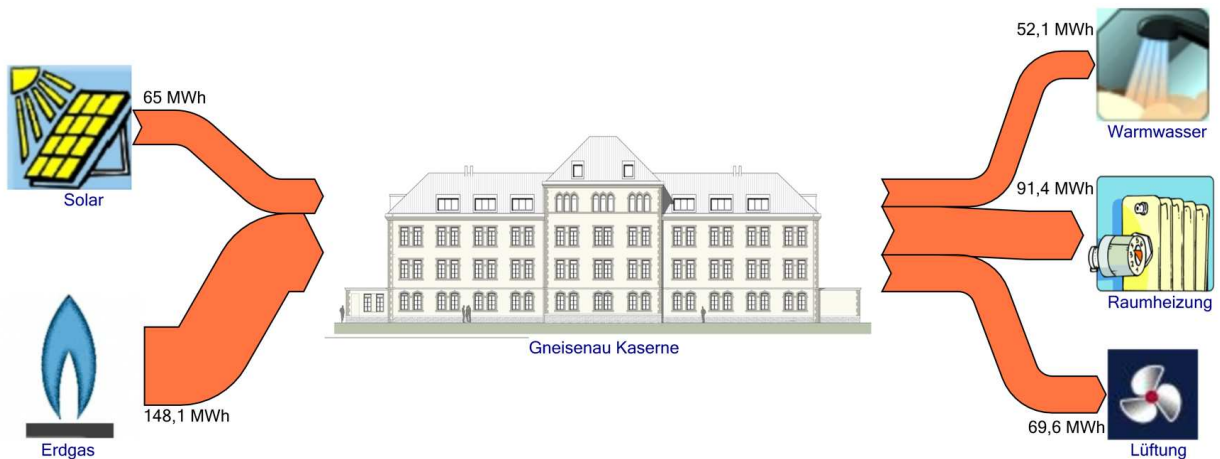


Abb. 21: Energieströme für Variante 2

4.3 Große Anlage zur solaren Heizung (Sonnenhaus-Konzept)

Das Sonnenhaus-Konzept sieht vor, den Jahres-Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser zu mehr als 50 % mit einer thermischen Solaranlage zu decken. Die konventionelle Heizung mit solarer Unterstützung wird damit zu einer echten Solarheizung mit konventioneller Unterstützung.¹

Um solch hohe solare Deckungsraten auch im Altbau zu erreichen, wird neben einer großen und gut ausgerichteten Kollektorfläche ein saisonaler Pufferspeicher benötigt. Das große Speichervolumen ($> 150 \text{ l/m}^2$) sorgt dafür, dass überschüssige Solarenergie über mehrere Tage oder sogar Wochen gespeichert werden kann, um sonnenschwache Zeiten zu überbrücken. Eine gut funktionierende Temperaturschichtung ist dabei wichtig für eine effiziente Arbeitsweise der Solaranlage. Der Speicher muss dazu möglichst schmal und hoch ausgeführt sein.

Für die Gneisenaukaserne bedeutet dies, dass bei dieser Variante sowohl das Dach der Lern- und Spielwerkstatt als auch das Kasernendach selbst mit Kollektoren belegt werden. Auf der Werkstatt müssen diese aufgeständert werden, während das Dach der Kaserne mit einer Neigung von 40° und einer Ausrichtung fast genau nach Süden bereits sehr gute Voraussetzungen bietet.

Beim Sonnenhaus-Konzept wird davon ausgegangen, dass der Pufferspeicher in den Wohnbereich integriert wird, so dass die Speicherverluste dem Haus zugutekommen. Bei der Sanierung der Gneisenaukaserne wird es hingegen nicht möglich sein, einen so großen Speicher im Gebäude unterzubringen. Als Alternative bietet sich ein Erdspeicher an oder eine Aufstellung des Speichers nah am Gebäude, z.B. als Aufsatz auf den Gebäudeanbau am Ostgiebel.

¹ S. www.sonnenhaus-institut.de.

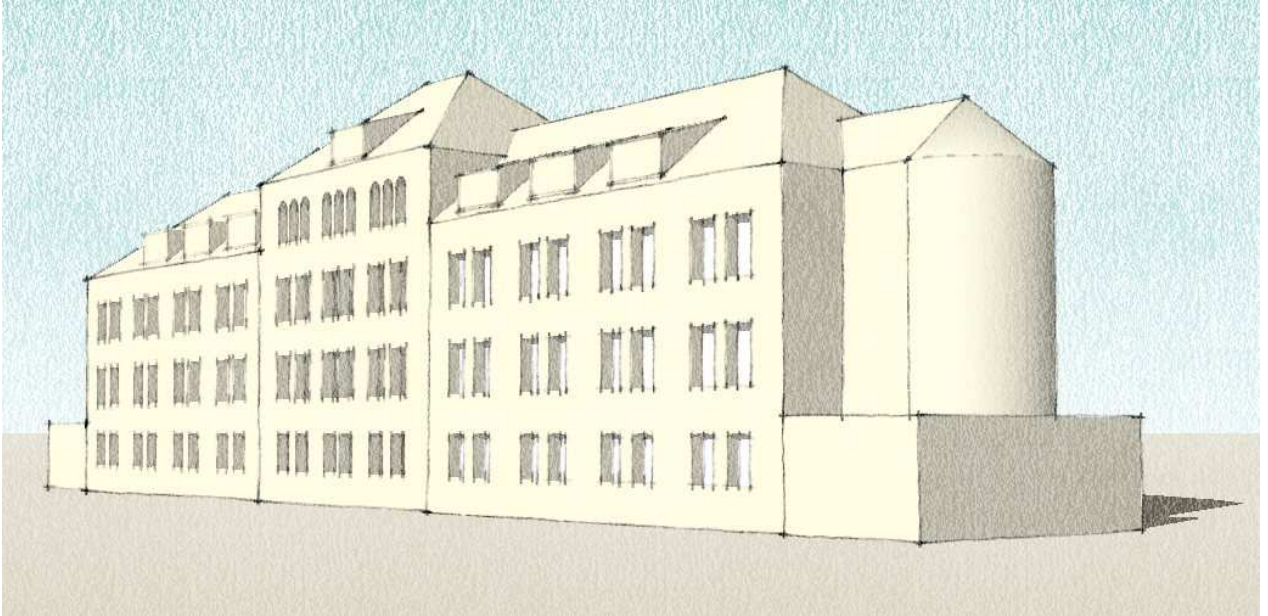


Abb. 22: Mögliche Integration eines großen Pufferspeichers (70 m³) in das Gebäude¹

Würde der Speicher wie auf der obenstehenden Skizze eingemauert und überdacht, könnte er harmonisch in das Gesamterscheinungsbild des Gebäudes integriert werden. In diesem Fall ist es auch denkbar, die klassische Lösung – Integration des Speichers ins Auge des Treppenhauses – zu wählen. Bei entsprechend schlankerer Ausführung und Aufteilung des Speichervolumens auf zwei Speicher am Ost- und Westgiebel könnten zwei Treppenhäuser in diesen zusätzlich angebauten Gebäudeteilen entstehen. Dafür würden die zurzeit geplanten und aus Gründen des Denkmalschutzes diskutierten Treppenhäuser auf der Nordseite des Gebäudes entfallen.



Abb. 23: Geplante Treppenhäuser an der Nordseite des Gebäudes²

¹ Quelle: eigene Darstellung, erstellt mit Google Sketchup.

² Quelle: Weltzel + Hardt Architekten, 11.03.2010, Trier.

Folgende Tabelle fasst die Annahmen und Ergebnisse für Variante 3 zusammen:¹

Parameter	Wert	
	Kaserne	Werkstatt
Installierte Kollektorfläche	180 m ²	300 m ²
<i>Azimutwinkel</i>	22,5° (SSW)	22,5° (SSW)
<i>Aufstellwinkel</i>	40°	40° (aufgeständert)
Pufferspeichervolumen	70 m ³	
spezifischer Kollektorsertrag	247 kWh/m ² a	
solarer Deckungsanteil am Gesamtenergieverbrauch	55,6 %	
Vermiedene CO ₂ - Emissionen	30.000 kg/a	

Tab. 4: Simulationsergebnisse (Sonnenhaus-Sheet) Variante 3: Große Anlage zur solaren Heizung

Abb. 26 zeigt die Energieströme für Variante 3:

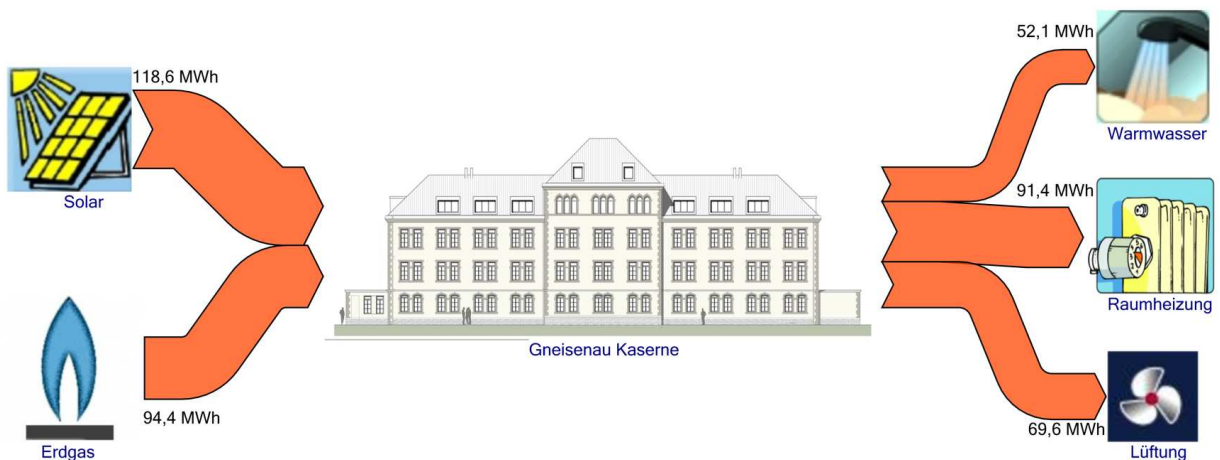


Abb. 26: Energieströme für Variante 3

4.4 Große Solaranlage in Kombination mit Wärmepumpe

Als vierte Variante soll ein System vorgestellt werden, bei dem die Effizienz der thermischen Solaranlage durch integrierte Kopplung mit einer Wärmepumpe erhöht wird. Dabei dient die Solaranlage auch als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Diese wird direkt an den Pufferspeicher angeschlossen, womit der für den Bau einer Erdsonde erforderliche Aufwand entfällt.

¹ Kollektorserträge aus: S. <http://www.solarenergy.ch/Info-CD.68.0.html>

Die Wärmepumpe entzieht dem System Wärme auf niedrigem Temperaturniveau und „pumpt“ diese auf ein höheres, sie ergänzt oder ersetzt damit also den konventionellen Hochtemperatur-Wärmeerzeuger. Ein wichtiger Synergieeffekt dabei ist, dass durch den Wärmeentzug im Verdampfer die Rücklauftemperatur für den Kollektor gesenkt wird. Das hat mehrere Vorteile:

- Die Solaranlage kann auch bei geringerer Sonnenstrahlung Wärme liefern.
- Wärmeverluste werden aufgrund des niedrigeren Temperaturniveaus minimiert.
- Die Wärme-Kapazität des Pufferspeichers erhöht sich bei gleichbleibendem Volumen durch die höhere Temperaturdifferenz.
- Wird der zum Antrieb der Wärmepumpe benötigte elektrische Strom z.B. über eine PV-Anlage gewonnen, ist eine 100%-ig regenerative Wärmeversorgung des Gebäudes realisierbar.¹

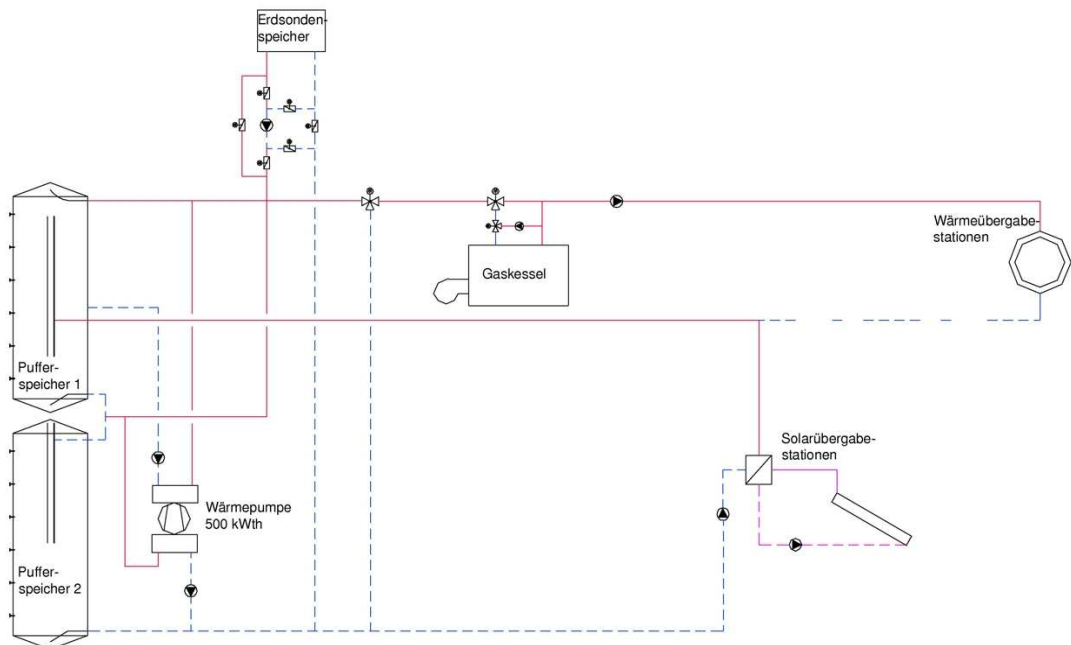


Abb. 27: Anlagenschema des Solaren Nahwärmenetzes in Neckarsulm mit zwei 100m³ Pufferspeichern und 63.000m³ Erdsondenspeicher nach Optimierung mit Wärmepumpe²

Für die Auslegung eines solchen Systems stehen bisher kaum Tools zur Verfügung. Aus diesem Grund wurde das bereits für Variante 3 herangezogene Excel-Tool für eine erste Abschätzung so weiterentwickelt, dass nun tiefere Rücklauftemperaturen möglich sind und eine Wärmepumpe mit variablen Leistungszahlen eingegeben werden kann.

Es zeigt sich, dass für eine 100%-ige Deckung des Wärmebedarfs der Gneisenaukaserne durch Solaranlage und Wärmepumpe die Kollektorfläche und der

¹ Vgl. Steinbeiss Transfer Zentrum, Summary, 2007 und Schmidt, H., Kopplung, 2006.

² Quelle: Steinbeiss Transfer Zentrum, Summary, 2007.

Pufferspeicher sehr viel größer ausgelegt werden müssen als in der Variante zuvor. Um die Wintermonate November, Dezember und Januar überbrücken zu können, muss die Kollektorfläche mindestens 850 m² groß sein (bei 40° Neigung und Ausrichtung nach SSW), das Speichervolumen sollte mindestens 350 m³ betragen.

Tab. 5 fasst die Annahmen und Ergebnisse für Variante 4 zusammen:

Parameter	Wert
Installierte Kollektorfläche	850 m ²
<i>Azimutwinkel</i>	22,5° (SSW)
<i>Aufstellwinkel</i>	40°
COP der Wärmepumpe	3
Pufferspeichervolumen	350 m ³
spezifischer Kollektorertrag	230 kWh/m ² a
regenerativer Deckungsanteil am Gesamtenergieverbrauch	100 %
CO ₂ -Einsparung	45.800 kg

Tab. 5: Simulationsergebnisse (Sonnenhaus-Sheet) Variante 4: Große Solaranlage in Kombination mit Wärmepumpe

Die Wärmepumpe liefert hierbei nur einen geringen Anteil von gut 5 % am Gesamtenergieverbrauch. Die elektrische Leistungsaufnahme von rund 12.000 kWh pro Jahr wird hierbei zusätzlich in das System eingebracht. Die Hauptaufgabe der Wärmepumpe besteht darin, die von der Solaranlage gelieferte Energie auf niedrigem Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau hochzupumpen, während sie gleichzeitig für die Solaranlage im Winter Rücklauftemperaturen von ca. 10°C liefert und somit auch bei geringer Sonnenstrahlung Solarerträge möglich macht. Außerdem wird die Kapazität des Pufferspeichers um rund ein Drittel erhöht, da die minimal nutzbare Temperatur von 30 auf 10°C abgesenkt wird.

Inzwischen beschäftigen sich mehrere Forschungs- und Pilotprojekte mit dieser innovativen Art der Kopplung von Solaranlage und Wärmepumpe.

Diese erste Größenabschätzung zeigt, dass im konkreten Projekt die komplett regenerative Variante nicht umsetzbar ist. Die große Kollektorfläche kann selbst bei voller Belegung des Kasernendachs und der angrenzenden Lern- und Spielwerkstatt nicht untergebracht werden. Für das im Gegensatz zu Variante 3 fünffach größere Speichervolumen käme nur ein Erdspeicher in Frage. Die Kombination Wärmepumpe und Solaranlage ist zwar generell sinnvoll, eignet sich aber eher für nach EnEV oder besser ausgeführte Neubauten als für den sanierten Altbau. Kommen dazu Anforderungen durch den Denkmalschutz, werden technischer Aufwand und Kosten den Rahmen sprengen.

5. Fördermittelrecherche und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Nach der technischen Auslegung und Bewertung der oben vorgestellten Varianten sollen diese nun auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht werden. Es wird erläutert, mit welchen Investitionskosten zu rechnen ist und ob öffentliche Fördergelder in Anspruch genommen werden können. Die Kapitalwertberechnung und die dynamische Amortisationsrechnung liefern wichtige Kennzahlen zum Vergleich der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit. Abschließend werden die Auswirkungen der erwarteten Energiepreissteigerung mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse untersucht.

Da sich gezeigt hat, dass Variante 4 (große Solaranlage in Kombination mit einer Wärmepumpe) für das Gneisenau-Projekt nicht umsetzbar ist, beziehen sich somit alle nachfolgenden Ausführungen auf die Varianten 1 bis 3.

5.1 Fördermöglichkeiten

5.1.1 KfW-Programm Erneuerbare Energien

Im KfW-Programm Erneuerbare Energien – Programmteil „Premium“ – fördern die KfW-Bankengruppe und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unter anderem große Solarkollektoranlagen mit mehr als 40 m² Bruttokollektorfläche. Es werden langfristige, zinsgünstige Darlehen für bis zu 100 % der förderfähigen Nettoinvestitionskosten gewährt sowie ein Tilgungszuschuss von 30 %.¹

Förderfähig sind Anlagen, wenn sie bestimmte Mindestanforderungen an den Wärmeertrag des Kollektors erfüllen. Diese hängen ab vom Standort der Anlage sowie dem Verhältnis zwischen Kollektorfläche und Anzahl der Wohneinheiten bzw. Bewohner. Für den Standort Trier gilt die Klimazone 2. Da beim zukünftigen Studierendenwohnheim mit überwiegend Einzelappartments die Bewohnerzahl stark von 2,5 Personen pro m² abweicht, wie Tab. 6 zeigt, muss der Mindestertrag nach Spalte II herangezogen werden.² Für die einzelnen Varianten bedeutet dies:

Variante	Bruttokollektorfläche je Bewohner	Mindestertrag Kollektor	erwarteter Ertrag laut Simulation
Variante 1	1,13 m ² /Person	337 kWh/m ² a	345 kWh/m ² a
Variante 2	> 2,80 m ² /Person	270 kWh/m ² a	325 kWh/m ² a
Variante 3	> 2,80 m ² /Person	270 kWh/m ² a	247 kWh/m ² a
Variante 4	> 2,80 m ² /Person	270 kWh/m ² a	230 kWh/m ² a

Tab. 6: Benötigte und tatsächliche Kollektorwärmeerträge für KfW-Förderung

¹ S. www.kfw-mittelstandsbank.de.

² S. ebenda.

Die beiden letzten Varianten erfüllen die Bedingungen nicht, somit kommt die KfW-Förderung nur für die Varianten 1 und 2 in Frage.

5.1.2 Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Größere thermische Solaranlagen für hohe solare Deckungsanteile können im Rahmen des 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung durch das BMU gefördert werden. Dieses Programm unterstützt neben Forschungs- und Entwicklungsaufgaben auch die Errichtung von Demonstrations- und Pilotanlagen. Dabei liegen Schwerpunkte unter anderem auf der Integration solarthermischer Anlagen in Mehrfamilienhäuser, besonders im Zusammenhang mit einer Altbausanierung.

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, einschließlich der Errichtung von Pilot- und Demonstrationsanlagen, sollen u.a. auf folgenden Schwerpunkte ausgerichtet werden: Entwicklung von Solarsystemen als integrale Bestandteile der Gebäudetechnik für hohe solare Deckungsanteile und solaraktive Gebäude.

Die solaren Deckungsgrade sollten dabei für Anlagen mit saisonaler Speicherung bis 60 % betragen. Für das Gneisenau-Projekt mit bevorstehender Totalsanierung und zusätzlich Anforderungen aus dem Denkmalschutz ist dieses Förderprogramm für Variante 3 interessant. Auswahlkriterien sind u. a. neue innovative Ansätze gegenüber dem Stand der Technik bzw. ein Erstlings- oder Pilotcharakter des Projektes, eine hohe Demonstrations- und Multiplikatorwirkung sowie eine Effizienzsteigerung und/oder Kostensenkung gegenüber bisher existierenden Anlagen.

Insgesamt können für eine solche Variante nicht rückzahlbare Zuschüsse von bis zu 50 % gewährt werden.¹

5.1.3 Förderung durch das Land Rheinland-Pfalz

Das rheinland-pfälzische Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz (MUFV) fördert seit dem 23. September 2008 energieeffizientes Bauen und Sanieren in Rheinland-Pfalz. Das Förderprogramm zielt darauf ab, Eigentümer von Immobilien im Neubau und Bestand in Rheinland-Pfalz in einem anspruchsvollen Pilotvorhaben dauerhaft von steigenden Energiepreisen zu entkoppeln. Dabei geht es jeweils um die Verbindung von hocheffizientem Wärmestandard mit dem Einsatz erneuerbarer Energien.

¹ Bekanntmachung über die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich erneuerbare Energien vom 5.12.2008, BGBl. Nr. 186/2008, S. 4353f

Gefördert werden im Rahmen des Pilotvorhabens Musterlösungen (Best-Practice), um

- innovative energiesparende Technologien im Markt zu etablieren und weiterzuentwickeln,
- den Einsatz von erneuerbaren Energien zu Zwecken der Wärmeversorgung zu steigern und dadurch die Nachhaltigkeit der Energieversorgung zu verbessern und
- den Wissenstransfer hinsichtlich hochenergieeffizienter Bauweisen zu beschleunigen.

Die Musterlösungen aus dem Pilotprojekt sind wichtige Bausteine der Energieeinsparstrategie der Landesregierung. Ebenso sollen die geförderten Objekte als Musterlösungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Lande dienen. Über das Pilotvorhaben werden im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitforschung Daten erhoben, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Die Projektförderung erfolgt im Wege der Festbetragsfinanzierung durch die Gewährung von Zuschüssen. Bei besonders innovativen Konzepten für Wohngebäude auch auf Basis heute verfügbarer, aber noch wenig verbreiteter Technik werden Mehrfamilienhäuser nach Einzelprüfung gefördert. Eine Kumulierung mit anderen Fördermitteln ist möglich.

Aufgrund der besonderen Bedeutung des Projekts für einen nachhaltigen Denkmalschutz in Rheinland-Pfalz und der Zuständigkeit eines weiteren Ministeriums in diesem Falle (Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur) sowie der möglichen Einbindung der Projektentwicklung in Lehre und Forschung der FH Trier, erscheint ein gemeinsam von beiden Ministerien gefördertes Pilotprojekt möglich.

Bei einer geplanten Umsetzung der Variante 3 dieser Machbarkeitsstudie sind deshalb entsprechende Verhandlungen mit beiden Ministerien zu führen und es können zu diesem Zeitpunkt noch keine verlässlichen Angaben über eine mögliche Förderhöhe getroffen werden.

Es wird deshalb vorläufig mit einer kumulierten Förderung von Bund und Land in Höhe von mind. 55 % gerechnet.

5.2 Eckdaten der Varianten

Ausgehend von ihrer unterschiedlichen Konfiguration unterscheiden sich die Varianten 1 bis 3 hinsichtlich ihrer spezifischen Investitionskosten (Euro je m² Kollektorfläche):

- *Variante 1* kann recht kostengünstig umgesetzt werden. Die Kollektoren müssen auf der Lern- und Spielwerkstatt nicht aufgeständert werden und der Pufferspeicher lässt gut in den Keller der Kaserne integrieren. Es wird mit spezifischen Kosten von 600 €/m² gerechnet.
- Bei *Variante 2* werden die Kollektoren auf dem Hallendach aufgeständert. Die aufwändige Unterkonstruktion führt zu höheren spezifischen Kosten von voraussichtlich 800 €/m². Auch hier wird sich das geplante Speichervolumen voraussichtlich im Keller unterbringen lassen.
- Auch bei *Variante 3* wird ein Teil der Kollektoren auf der Halle aufgeständert. Die Kollektorfläche auf dem Kasernendach hingegen kommt wiederum ohne Aufständigung aus, zusätzlich werden Kosten für die Dacheindeckung eingespart. Die Integration des großen Pufferspeichers führt zu Mehrkosten, so dass insgesamt von 750 €/m² ausgegangen wird.

Die spezifischen Kosten wurden etwas höher angesetzt als in der vorhergehenden Machbarkeitsstudie für „Solaranlagen auf Wohnheimen des Studierendenwerks Trier“, denn es hat sich gezeigt, dass die in Österreich gesammelten Daten nicht eins zu eins für den Standort Trier übernommen werden können. Die tatsächlichen Kosten sind höher ausgefallen, so dass diesmal vorsichtiger geschätzt wird. Es ist allerdings zu beachten, dass im Fall der Gneisenaukaserne eine Generalsanierung durchgeführt wird, so dass Synergieeffekte die spezifischen Kosten noch senken können.

An Förderung wird für die Varianten 1 und 2 mit 30 % Zuschuss durch die KfW gerechnet, für Variante 3 mit einer gemeinsamen Förderung durch Land und Bund in Höhe von insgesamt 55 %.

Der Stromverbrauch für die Pumpen variiert je nach Anlagengröße und geht als jährlicher Kostenpunkt in die Berechnung mit ein. Für Wartungs- und sonstige Kosten wurden 0,5 %/a bzw. 0,25 %/a von der jeweiligen Investitionssumme angenommen.

Entscheidend für die ökonomische Beurteilung der Varianten ist darüber hinaus die jeweils durch die Solaranlage erzielte Energieeinsparung.

Tab. 7 fasst Kosten und Einsparungen für die drei Varianten zusammen.

Parameter	Wert		
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
spezifische Kosten [€/m ²]	600	800	750
Kollektorfläche [m ²]	80	200	480
Investition [€]	48.000	160.000	360.000
Förderung [%]	30	30	55
Fördersumme [€]	14.400	48.000	198.000
Anteil Wartung und Sonst. [%]	0,5	0,5	0,25
Wartungs- und sonst. Kosten [€/a]	240	800	900
Elekt. Leistungsaufn. Pumpen [W]	100	200	400
Betriebsstunden Pumpen [h/a]	1.000	1.000	1.000
Energieeinsparung [kWh/a]	23.400	65.000	118.000

Tab. 7: Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

5.3 Kapitalwertberechnung

Zur Ermittlung der absoluten und der relativen Vorteilhaftigkeit der oben vorgestellten Varianten 1 bis 3 wird die Kapitalwertmethode herangezogen. Hierbei werden alle Einnahmen und Ausgaben auf einen gemeinsamen Bezugszeitpunkt ab- oder aufgezinst und die so gewonnenen Barwerte aufsummiert. Zwar erzielen Anlagen zur solaren Energienutzung keine „echten“ Einnahmen, die gesparten Energiekosten im Vergleich zu einem System ohne Solaranlage können aber wie Einnahmen betrachtet werden.

Der Kapitalwert lässt sich mathematisch wie folgt darstellen:

$$C_0 = -I_0 + F + \sum_{t=1}^n \frac{c_t}{(1+p)^t}$$

Ein Investitionsvorhaben ist absolut vorteilhaft, wenn der Kapitalwert positiv ist. Stehen mehrere Alternativen zur Auswahl, ist diejenige mit dem größeren positiven (bzw. kleineren negativen) Kapitalwert zu wählen.

Für die Berechnung des Kapitalwerts wurden folgende Parameter angenommen:

Parameter	Wert
Betrachtungszeitraum	20 Jahre
Kalkulationszinssatz	3 %/a
Energiepreissteigerung	7 %/a
Brennstoffpreis (Erdgas)	6 ct/kWh
Strompreis	16 ct/kWh
Inflation	2 %/a

Tab. 8: Randbedingungen der Kapitalwertberechnung

Für die drei Varianten ergeben sich folgende Kapitalwerte:

- Variante 1: 1.792 €
- Variante 2: -15.697 €
- Variante 3: 22.449 €

Variante 2 erzielt also keine absolute Vorteilhaftigkeit. Die aufwändige Aufständigung der Kollektoren ist zu teuer und wird nicht durch entsprechend hohe Solarerträge wettgemacht.

Variante 1 und 3 erzielen beide einen positiven Kapitalwert, wobei die große Variante deutlich rentabler ist. Auch hier sind die spezifischen Kosten durch die teilweise Aufständigung der Kollektoren recht hoch, allerdings machen die über 50 %-ige Energieeinsparung und die hohe Fördersumme aus Landes- und Bundesfördermitteln die große Anlage nach dem Sonnenhaus-Konzept zur wirtschaftlichsten Variante.

5.4 Dynamische Amortisation

Die Amortisationszeit bezeichnet die Zeitspanne, nach der eine Investition durch die auf sie folgenden Einzahlungsüberschüsse gedeckt wird. Bei der dynamischen Amortisationsrechnung werden im Gegensatz zur statischen Amortisationsrechnung der jeweilige Zeitpunkt der Ein- und Auszahlungen durch entsprechende Diskontierung mit berücksichtigt:

$$A_{dyn} = (I_0 - F) \cdot \frac{t}{\sum_{t=1}^n \frac{c_t}{(1+p)^t}}$$

Die Amortisationszeit der drei Varianten beträgt demnach:

- Variante 1: 19,0 Jahre
- Variante 2: 23,3 Jahre
- Variante 3: 17,6 Jahre

Auch hier schneidet Variante 3 am besten ab. Variante 2 kann sich innerhalb der betrachteten Laufzeit von 20 Jahren nicht amortisieren.

5.5 Sensitivitätsanalyse

Der Energiepreis stellt immer den größten Unsicherheitsfaktor bei der ökonomischen Bewertung von Energiekonzepten dar. Aus diesem Grund soll betrachtet werden, wie sich unterschiedliche Energiepreissteigerungsraten auf Kapitalwerte und Amortisationszeiten auswirken. Dazu wurden für die drei Varianten Energiepreissteigerungen zwischen 0 und 12 %/a zugrunde gelegt, die übrigen Parameter wurden nicht verändert.

Abb. 28 und Abb. 29 zeigen das Ergebnis:

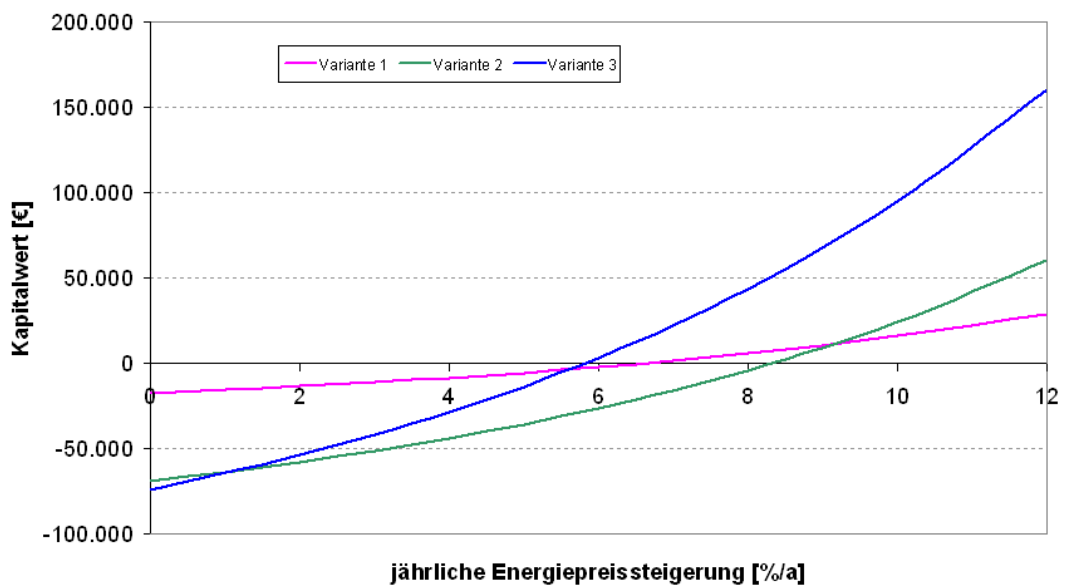


Abb. 28: Kapitalwert bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

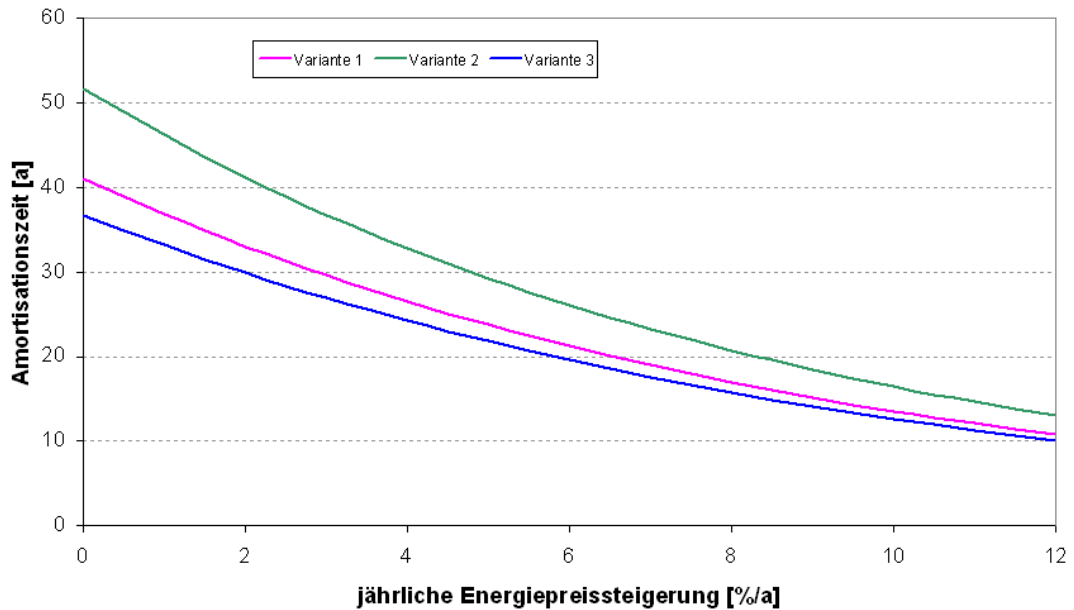


Abb. 29: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

Variante 3 amortisiert sich bei allen Energiepreissteigerungsraten am schnellsten, allerdings zeigt ein Vergleich der Kapitalwerte, dass diese Variante umso vorteilhafter wird, je stärker die Energiepreise steigen. Bei einer niedrigen erwarteten Steigerungsrate erzielt Variante 1 einen höheren Kapitalwert als die beiden anderen Varianten, denn die finanzielle Einsparung pro solar erzeugter Kilowattstunde fällt dann weniger stark ins Gewicht. Eine absolute Vorteilhaftigkeit kann keine der Varianten erzielen, wenn die Energiepreissteigerung über 20 Jahre unter 5,5 %/a fällt.

Es wird dagegen aber auch deutlich, dass bei Steigerungsraten von über 5,5 %/a – und davon wird heute im Allgemeinen ausgegangen – Variante 3 immer zu bevorzugen ist.

6. Anforderungen an eine solare Sanierung durch den Denkmal- und Brandschutz

6.1 Brandschutz

Bei Sanierungen und Umbauten müssen generell die Brandschutz- und Rettungswegbestimmungen nach der Landesbauordnung (LBauO) eingehalten werden. Stehen Denkmalschutz und Brandschutz im Widerspruch zueinander, hat der Brandschutz im Sinne der Personensicherheit immer Vorrang.

Um die Brandschutzbestimmungen für ein Gebäude festlegen zu können, muss zunächst die Gebäudeklasse bestimmt werden. Die Gneisenaukaserne wird zwar zu einem Wohngebäude saniert, nach Landesbauordnung allerdings als sogenanntes „sonstiges Gebäude“ eingestuft (Gebäudeklasse 4).

Da die Solaranlage auf dem Dach installiert werden soll, sind die Brandschutzbestimmungen für die Bedachung im Rahmen dieser Studie von Interesse. Demnach muss die Bedachung gegen Flugfeuer und strahlende Wärme widerstandsfähig sein. Bei der Integration der Kollektoren in die Dachhaut müssen diese mindestens dieselben Eigenschaften hinsichtlich Feuerbeständigkeit und Standsicherheit wie die eigentliche Dachhaut aufweisen. Dies stellt bei den handelsüblichen Kollektoren kein Problem dar.

Jeder Wohnraum muss über einen zweiten Fluchtweg verfügen, z.B. ein Fenster. Die Fensteröffnung muss im Lichten 0,9 x 1,2 m betragen und die Brüstungshöhe darf 1,2 m nicht überschreiten. Außerdem müssen Dachfenster so ausgeführt werden, dass die Personen sich bemerkbar machen können und von außen gerettet werden können.¹

Ob im Dachgeschoss Gauben oder Dachfenster vorgesehen werden müssen, wird von der Landesbauordnung nicht explizit vorgeschrieben. Prinzipiell sind Dachfenster für eine Solarnutzung besser geeignet:

- Sie integrieren sich in die Dach- und Kollektorfläche,
- sie lassen der aktiven thermischen Solarenergienutzung mehr Platz (die Gaubendachflächen sind flacher und nicht gut nutzbar) und
- sie erzielen mehr passive Solargewinne.

6.2 Denkmalschutz

Das rheinland-pfälzische Landesgesetz zum Schutz und zur Pflege der Kulturdenkmäler (kurz: Denkmalschutzgesetz, DSchG) sieht für Kulturdenkmäler eine sinnvolle Nutzung vor. Im Fall der Gneisenaukaserne bietet der Umbau zu einem Studentenwohnheim eine gute Chance, um nicht nur die Wohnsituation für die Trierer Studierenden zu entschärfen, sondern durch die besonderen Wärmearforderungen

¹ Vgl. LBauO.

auch einen Beitrag zu einer umweltentlastenden Energieversorgung zu leisten. Um eine Kollision der Interessen zu vermeiden, sollte die Denkmalschutzbehörde von Beginn an in die Planung eingebunden werden.

In § 2 DSchG heißt es:¹

„Bauliche, technische und wirtschaftliche Maßnahmen, die Kulturdenkmäler in ihrem Bestand, ihrem Erscheinungsbild oder ihrem wissenschaftlichen Wert gefährden oder beeinträchtigen können, sind auf den unbedingt notwendigen Umfang zu beschränken...“

Dabei ist die Besonderheit eines Pilotprojekts zu beachten, dass einerseits die Eigentümer, die Denkmalschutz- und Baubehörde sowie die zukünftigen, langfristigen Nutzer zusammenbringt, und in dem andererseits eine anspruchsvolle Gestaltung mit innovativen Materialien und Techniken kombiniert wird. Durch diese Pilotprojektmaßnahme und die direkte Einbindung des Vorhabens in Lehre und Forschung der FH Trier wird sichergestellt, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse des Vorhabens direkt genutzt und umgesetzt werden. Die FH Trier bietet eine umfangreiche wissenschaftliche Begleitung des Vorhabens an. Der wissenschaftliche Wert des Gebäudes wird somit nicht gefährdet, sondern wesentlich gesteigert.

6.3 Auswirkungen auf das Projekt Gneisenau

Zum aktuellen Stand der Planung ist ein Ausbau des Dachgeschosses der Gneisenaukaserne vorgesehen, dabei sollen im Ost- und im Westflügel jeweils fünf Einzelappartments entstehen, im Spitzboden des Mittelbaus soll die Heiz- und Lüftungszentrale untergebracht werden.

Aus Gründen des Brandschutzes sollen auf allen vier Dachseiten Gauben hinzugefügt werden. Die Maßnahme wird mit der erschwerten Zugänglichkeit für Rettungsgeräte der Feuerwehr bei einfachen Dachfenstern begründet. Zudem erhöhen Dachgauben den nutzbaren Wohnraum.

Aus Sicht des Denkmalschutzes stellt das Hinzufügen von Dachgauben einen erheblichen Eingriff in das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes dar, der nur genehmigt werden wird, wenn er nach Anforderungen des Brandschutzes unumgänglich ist.

Daneben wird die Entscheidung für oder gegen Dachgauben auch einen großen Einfluss auf die Planung einer solarthermischen Anlage haben. Ohne Gauben stünde auf dem Süddach der Kaserne eine Fläche von rund 250 m² für eine solare Nutzung zur Verfügung. Dachfenster lassen sich heute problemlos in eine Kollektorfläche integrieren, die so optisch einheitlich und harmonisch gestaltet werden kann. Durch die Verwendung von Kollektoren mit dunkler, matter Absorberfläche könnte die bisherige Optik des Daches weitgehend erhalten werden.

¹ S. DSchG.



Abb. 30: Sunroof der Fa. Roto¹

Die geplanten sieben Dachgauben „belegen“ ca. 50 m² der südlichen Dachfläche, erheblich mehr als die entsprechende Anzahl Dachfenster. Sie erschweren darüber hinaus die volle Belegung der übrigen Dachfläche mit Kollektoren. Soll z.B. darauf verzichtet werden, zwischen und unter den Gauben Kollektoren anzubringen, verringert sich die zur Verfügung stehende Fläche auf rund 100 m².

Bisher werden die beiden Seitenflügel durch jeweils zwei äußere Treppenhäuser erschlossen. Diese stellen brandschutztechnisch ein Problem dar, da an Fluchtwege erhöhte Anforderungen gestellt werden. Deshalb werden zurzeit an ihrer Stelle vier neue breitere Treppenhäuser geplant (siehe Abb. 23). Deren Gestaltung und die dadurch verursachte Veränderung des Gesamteindrucks des Gebäudes wird noch diskutiert. Durch die vorgeschlagene Integration der Treppenhäuser in die Speicheraufstellung können verschiedene Synergieeffekte (Kosten, Abwärme und Gestaltung) genutzt werden.

¹ Quelle: www.ROTO-frank.com

7. Zusammenfassung und Empfehlung

Die Gneisenaukaserne 33-37 soll zu einem nachhaltigen Studierendenwohnheim saniert werden. Im Rahmen dieses Vorhabens kann die Sonnenenergie ideal zur Wärmeerzeugung genutzt werden.

Die Simulation verschiedener Anlagenvarianten zur Solarenergienutzung und der Vergleich ihrer wirtschaftlichen Kennzahlen hat gezeigt, dass Variante 3 – die große Anlage zur solaren Heizung– nicht nur aus Gründen des Umwelt- und Klimaschutzes am besten abschneidet, sondern auch die wirtschaftlichste Variante ist.

Bei dieser Variante nach dem Sonnenhaus-Prinzip wird ein Großteil des Wärmebedarfs, nämlich deutlich über 50 %, von der Sonne gedeckt. Eine 480 m² große Kollektorfläche wird zum Teil auf der Kaserne selbst, zum Teil aufgeständert auf der benachbarten Lern- und Spielwerkstatt installiert. Ein saisonaler Pufferspeicher von 70 m³ nimmt Überschüsse aus dem Sommerhalbjahr auf und hält die solar gewonnene Energie für sonnenschwache Zeiten vor.

Die Umsetzung eines solchen Projekts wird durch kritische Rahmenbedingungen erschwert, besonders die Integration von Kollektor und Speicher unter Gesichtspunkten des Denkmalschutzes stellt eine besondere Herausforderung dar. Durch diese Rahmenbedingungen ist das Objekt jedoch auch hervorragend als Pilotprojekt geeignet.

Es wird daher empfohlen, die in dieser Studie vorgestellte Variante 3 „Große Anlage zur solaren Heizung (Sonnenhaus-Konzept)“ in einem nächsten Schritt weiter zu untersuchen:

- Energetisch-wirtschaftliche Optimierung der Sanierungsplanung (z.B. Dachdämmung im Passivhausstandard, Lüftungs-Wärmerückgewinnung mit höherem Wirkungsgrad) um einen noch höheren solaren Deckungsgrad und minimalen Restheizbedarf zu erreichen.
- Erarbeitung einer Strategie zur architektonischen Integration von Kollektor und Pufferspeicher im Dialog mit dem Denkmalschutz
- Konkretisierung der Anlagenauslegung und genauere Abschätzung der Systemkosten.
- Einsatz eines Blockheizkraftwerks als Alternative zum Gasbrennwertkessel, welches durch teilweise Mitnutzung des Pufferspeichers die Solaranlage optimal ergänzen kann (evtl. als Modellprojekt in Zusammenarbeit mit dem lokalen Anbieter Kirsch oder dem Lichblickkonzept).

Die Sanierung der Gneisenaukaserne bietet die Chance, gemeinsam mit allen Beteiligten neue Wege zu suchen und zu beschreiten, um Denkmalschutz, Umwelt- und Klimaschutz, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit erfolgreich in einem Objekt zu vereinen.

Zeichenerklärung

Formelzeichen

A	Fläche	[m ²]
A_{dyn}	dyn. Amortisationszeit	[a]
C_0	Kapitalwert	[€]
c	spez. Wärmekapazität	[kWh/kgK]
c_t	Einzahlungsüberschuss	[€]
F	Fördersumme	[€]
I_0	Investition	[€]
k	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/m ² K]
m	Masse	[kg]
n	Laufzeit	[a]
p	Kalkulationszinsfuß	[%/a]
Q	Wärmemenge	[kWh]
\dot{Q}	Wärmestrom/Leistung	[W]
ρ	Dichte	[kg/m ³]
T	Temperatur (absolut)	[K]
ϑ	Temperatur	[°C]
\dot{V}	Volumenstrom	[m ³ /h]

Indizes

a	außen
i	innen
L	Lüftung
T	Transmission
WW	Warmwasser

Literatur- und Quellenverzeichnis

cms.trier.de: online unter <http://cms.trier.de/stadt-trier/Integrale?&ACTION=ViewPageView&MODULE=Frontend&PageView.PK=15&Document.PK=26578>
(9.4.2010 23:00 MEZ)

DSchG: Denkmalschutzgesetz für Rheinland-Pfalz (DSchG) vom 23.3.1978 (LBauO: Landesbauordnung Rheinland-Pfalz vom vom 24.11.1998 (GVBl. S. 365) in der aktuellen Fassung vom 4.7.2007 (GVBl. S. 105) in seiner aktuellen Fassung vom 15.09.2009, (GVBl. S. 333)

DIN 1946-6: Raumluftechnik, Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung, Ausgabe 2009-05

EnEV 2009: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden – Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 16.11.2001 (BGBl. I S. 3085) in der aktuellen Fassung vom 29.4.2009 (BGBl. I S. 954)

Fink, Christian [Solaranlagen, 2000]: Solaranlagen auf Mehrfamilienhäusern – Systementwicklungen und Betriebserfahrungen, Gleisdorf, 2000

Fink, Christian/Riva, Richard/Heimrath Richard [Wärmeversorgungskonzepte, 2002]: Solarunterstützte Wärmeversorgungskonzepte für Mehrfamilienhäuser im Vergleich, Gleisdorf, 2002

Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe [Wärme, 2008]: Solare Wärme – Vom Kollektor zur Hausanlage 2008, online unter <http://www.bine.info/fileadmin/content/Produkte-im-Shop/Buchreihe/LeseprobeSolareWaerme.pdf>
(11.4.2010 15:00 MEZ)

Gebauer, Matthias/Kissel, Harald/dos Santos Freitas, Sofia [Solaranlagen, 2009]: Machbarkeitsstudie "Solaranlagen auf Wohnheimen des Studierendenwerks Trier", Trier, 2009

jenni.ch: online unter <http://www.jenni.ch/> (8.1.2010 15:30 MEZ)

keimfarben.de: online unter http://www.keimfarben.de/uploads/tx_keimproducts/ktm/4663/0/KEIM_iPor-Mineraldaemmplatte.pdf (2.2.2010, 11:30 MEZ)

kfw-mittelstandsbank.de: online unter http://www.kfw-mittelstandsbank.de/DE_Home/Service/Kredit Antrag_und_Formulare/Merkblaetter/KfW-Programm_Erneuerbare_Energien_270_271_272_281_282.jsp (27.03.2010 9:00 MEZ) und unter http://www.kfw-mittelstandsbank.de/DE_Home/Service/Kredit Antrag_und_Formulare/Finanzierung_Solarkollektoranlagen.pdf (27.03.2010 9:00 MEZ)

LBauO: Landesbauordnung Rheinland-Pfalz vom vom 24.11.1998 (GVBl. S. 365) in der aktuellen Fassung vom 4.7.2007 (GVBl. S. 105)

meteonorm.com: online unter <http://www.meteonorm.com/pages/de/meteonorm.php> (27.03.2010 16:00 MEZ)

www.roto-frank.com: online unter http://www.roto-frank.com/dst/uploads/media/Roto_Sunroof_Broschuere_2009_05.pdf (11.4.2010 18:00 MEZ)

Schmidt, Henning [Kopplung, 2006]: Integrierte Kopplung von Solarthermie und Wärmepumpe zur Wärmezeugung, Projektbericht 2006

Schramek, Ernst-Rudolf (Hrsg.) [Taschenbuch, 2001]: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 70. Aufl., München: Oldenbourg, 2001

solarenergy.ch: SPF (Institut für Solartechnik) online unter <http://www.solarenergy.ch/Info-CD.68.0.html> (15.1.2010 17:00 MEZ)

sonnenhaus-institut.de: online unter <http://www.sonnenhaus-institut.de/heizkonzept.html> und <http://www.sonnenhaus-institut.de/downloads/images/orientierung.jpg> (11.04.2010 16:00 MEZ)

sozialestadt.de: online unter <http://www.sozialestadt.de/programm> (9.4.2010 23:00 MEZ)

Steinbeiss Transfer Zentrum [Summary]: Summary of the Simulation of the Large-Scale Solar System with the Integration of a Heat Pump, Projektbericht, Stuttgart, 2007

Valentin EnergieSoftware GmbH 2009: T-Sol Expert Version 4.5.3, online unter http://www.valentin.de/index_de_page=solarthermie#tsol_expert (24.3.2010 21:00 MEZ)

VDI 6002 Bl. 2: Solare Trinkwassererwärmung, Blatt 2: Anwendungen in Studentenwohnheimen, Seniorenheimen, Krankenhäusern, Hallenbädern und auf Campingplätzen, Ausgabe 2009-01

Anhang

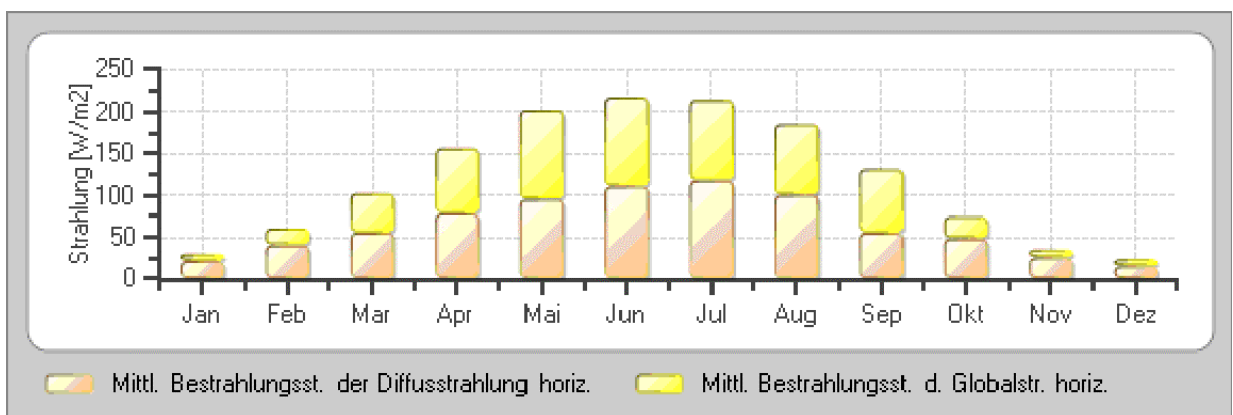
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1:	Gneisenaukaserne 33 – 37, Südansicht	2
Abb. 2:	Mittelteil und Westflügel der Gneisenaukaserne 33 – 37, Nordansicht auf die äußeren Trppenhäuser	3
Abb. 3:	Standort der Gneisenaukaserne 33 – 37 (rot) und der Lern- und Spielwerkstatt (blau)	5
Abb. 4:	Jahresdauerlinie der Heizlast durch Transmissionsverluste	7
Abb. 5:	Jahresdauerlinie der Heizlast durch Lüftungswärmeverluste	8
Abb. 6:	Normiertes Jahresprofil des Bedarfs an warmem Trinkwasser in Studentenwohnheimen.....	9
Abb. 7:	Normiertes Wochenprofil des Bedarfs an warmem Trinkwasser in Studentenwohnheimen	10
Abb. 8:	Normiertes Tagesprofil des Bedarfs an warmem Trinkwasser in Studentenwohnheimen	10
Abb. 9:	Anlagenschema Vier-Leiter-Netz mit bereits integrierter Solaranlage.....	11
Abb. 10:	Anlagenschema Zwei-Leiter-Netz.....	12
Abb. 31:	Vormontierte Wohnungsstationen sind platzsparend und erleichtern die Montage.....	13
Abb. 12:	Jahresdauerlinie des gesamten Wärmebedarfs (unsortiert).....	15
Abb. 13:	Jahresdauerlinie des Heizwärmebedarfs (sortiert).....	15
Abb. 14:	Einfluss der Dachneigung und Ausrichtung auf das nutzbare Strahlungsangebot für Trinkwassererwärmungsanlagen	17
Abb. 15:	Großanlagensystem für Warmwasser mit Bereitschaftsspeicher und Wärmeübertrager	17
Abb. 16:	Energieströme Variante 1.....	18
Abb. 17:	Einfluss der Dachneigung und Ausrichtung auf das nutzbare Strahlungsangebot für Anlagen zur Heizungsunterstützung.....	19
Abb. 18:	Ausschnitt aus der freitragenden Dachkonstruktion über der Sporthalle in Neckarsulm-Amorbach mit 1252m ² Kollektorfläche	20
Abb. 19:	Skizze der Nachbarhalle mit etwa 150m ² aufgeständerten Kollektoren je Dachseite	20
Abb. 20:	Großanlagenschema für Heizungseinbindung mit Rücklaufanhebung	21
Abb. 21:	Energieströme für Variante 2.....	22
Abb. 22:	Mögliche Integration eines großen Pufferspeichers (70 m ³) in das Gebäude.....	23
Abb. 23:	Geplante Treppenhäuser an der Nordseite des Gebäudes.....	23
Abb. 25:	In Treppenhaus integrierter Pufferspeicher (je ca. 35 m ³ an Ost- und Westgiebel)	24
Abb. 26:	Energieströme für Variante 3.....	25
Abb. 27:	Anlagenschema des Solaren Nahwärmenetzes in Neckarsulm mit zwei 100m ³ Pufferspeichern und 63.000m ³ Erdsondenspeicher nach Optimierung mit Wärmepumpe	26
Abb. 28:	Kapitalwert bei unterschiedlichen Energiepreisteigerungsraten.....	34
Abb. 29:	Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreisteigerungsraten.....	35
Abb. 30:	Sunroof der Fa. Roto	38
Tab. 1:	Zusammenfassung Heizlasten und Wärmebedarf	14
Tab. 2:	Simulationsergebnisse (T-Sol) Variante 1 : Trinkwassererwärmungsanlage.....	18
Tab. 3:	Simulationsergebnisse (T-Sol) Variante 2 : Kleine Anlage zur solaren Heizungsunterstützung.....	21
Tab. 4:	Simulationsergebnisse (Sonnenhaus-Sheet) Variante 3: Große Anlage zur solaren Heizung	25
Tab. 5:	Simulationsergebnisse (Sonnenhaus-Sheet) Variante 4: Große Solaranlage in Kombination mit Wärmepumpe	27
Tab. 6:	Benötigte und tatsächliche Kollektorwärmeerträge für KfW-Förderung	28
Tab. 7:	Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	32
Tab. 8:	Randbedingungen der Kapitalwertberechnung.....	33

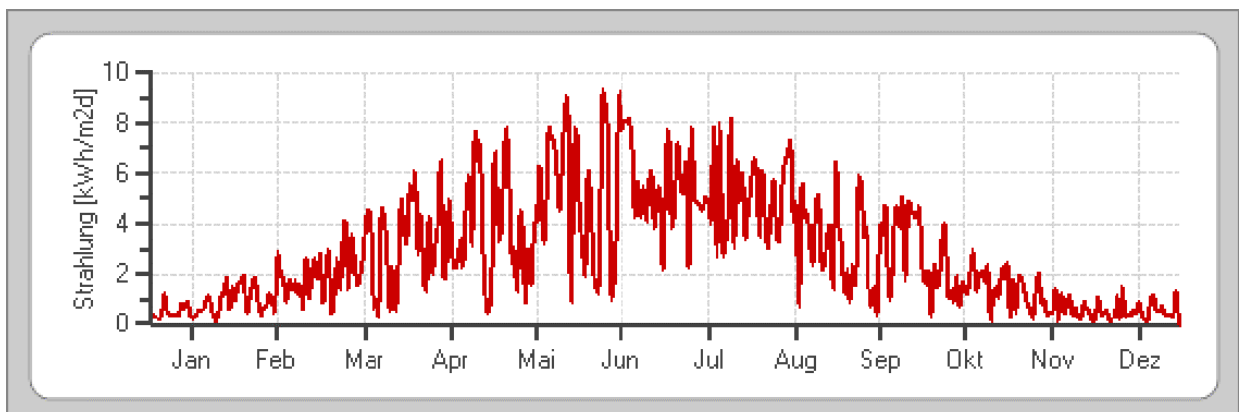
Klimadaten Trier

Als Jahressumme treffen in Trier etwa 1060 kWh solare Strahlungsenergie pro Quadratmeter auf eine horizontale Fläche. Jeweils etwa die Hälfte davon ist direkte bzw. diffuse Strahlung.

Die Unterschiede in den jährlichen Energiesummen verschiedener Jahre sind in der Regel gering. Dagegen sind die jahres- und tageszeitlichen Schwankungen sehr groß. An einem sonnigen Sommertag erreichen ca. $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ Gesamtstrahlung eine zur Sonne optimal ausgerichtete Fläche, an einem trüben Wintertag dagegen nur $0,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.¹



Monatliches Strahlungsangebot in Trier



Tägliches Strahlungsangebot in Trier²

¹ VDI 6002 Bl.1, S.7–8

² METEONORM, 2009

Parameter der Anlagenvarianten mit Simulationsergebnissen

In allen Simulationen gleich verwendete Parameter:

Wetterdaten:	Stundenprofil Standort Trier aus Meteonorm 6.0
Kollektortyp:	Solarverein Trier e.V Typ KT2008
Anbindung Kollektor:	Volumenstrom 15l/(h*m ²), Wärmetauscher mit 4K mittlere log. Temperaturdifferenz, Dämmung der Rohrleitungen mit 150% 200mm
Pufferspeicher Dämmung:	200mm
Warmwassersolltemperatur:	60°C mit täglicher Legionellenschaltung
Warmwasser-Wärmetauscher:	mit drehzahl geregelter Pumpe, 4K mittlere log. Temperaturdifferenz
Täglicher Warmwasserverbrauch:	2627l bei 60°C (100% im Januar/Februar, 37l/VP bei 71 Bewohnern nach VDI6002)
Zirkulation:	ohne, da solare Zirkulationsdeckung mit T _{sol} nicht simulierbar Realisierung mit solarer Zirkulationsdeckung erhöht Solarertrag wesentlich, daher im Haus verbleibende Systemverluste bei Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt
Heizlast	68,2 kW
Auslegungstemperaturen Heizung	50°/30°
Konventionelle Nachheizung:	Gasbrennwertkessel mit 100kW, Nutzungsgrad 92 % (Heizperiode) / 70 % (Sommer)

Varianten	1	2	3
Anlagenschema	C3	SAT-VWS Hzg	Jenni
Kollektor			
Kollektorfläche	82,6	204 m ²	480m ²
Ausrichtung	-67,5° OSO	22,5° SSW	22,5° SSW
Aufstellwinkel	15°	40°	40°
Verrohrung einfache Länge total	60m	60m	50m
Speicher			
Pufferspeicher Volumen	3,7m ³	4 x 4m ³	70m ³
Warmwasserspeicher Volumen	0,4m ³	2 x 0,3m ³	0,5m ³
Wirtschaftlichkeit			
Systemkosten	600€/m ²	800€/m ²	750€/m ²
Ergebnisse			
Kollektorertrag	345kWh/m ²	326,5kWh/m ²	247kWh/m ²
Deckungsgrad	40,3% (nur WW)	26,7% (gesamt)	55,6% (gesamt)
Eingesparte Gasmenge	2.850m ³	5.525m ³	11.860m ³
Eingesparte CO ₂ -Emissionen	6.589kg	11.684kg	25.000kg

Beispiele Solaranlagen im Denkmalschutz

Die Nutzung der Sonnenenergie auf denkmalgeschützten Gebäuden ist möglich. Die folgenden Beispiele sollen als Anregung dienen, wie eine solche Verbindung zum Nutzen aller gestaltet werden kann.



Die Mieter der ehemaligen Renaissance-Bürgerhäuser in der Freiburger Altstadt werden über das 54 m² große Solardach mit Sonnenwärme versorgt. Die solarthermische Anlage erhielt von der örtlichen Denkmalschutzbehörde wegen ihres äußerst ästhetischen Erscheinungsbildes bedenkenlos die denkmalschutzrechtliche Genehmigung.



Sonnenwärmeeanlage zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung auf einem denkmalgeschützten Hof.



Ehemals königliche Schrotfabrik in Freiberg mit 48 m² Solardach, integriert in die Dachgaube.

Die auf dieser und der vorhergehenden Seite gezeigten Beispiele wurden von der Firma „Soli Fer Solardach GmbH“ in Freiberg realisiert und sind auf der Homepage des Solarfördervereins Aachen dokumentiert (http://www.sfv.de/artikel/solaranlagen_auf_denkmalgeschuetzten_haeusern.htm)



Jugend- und Begegnungszentrum Bauerngut Rödlitz,
denkmalgeschützter Dreiseithof mit 10 m² Solaranlage



Bischof-Benno-Haus in Schmochtitz,
78,8 m² Solaranlage auf 200 Jahre alter, denkmalgeschützter Scheune

Die Beispiele dieser Seite wurden vom Ingenieurbüro Dr. Scheffler & Partner GmbH,
Dresden geplant und sind auf deren Homepage www.ib-scheffler.de dokumentiert.

In der Region Trier sind unseres Wissens bisher zwei thermische Solaranlagen mit Unterstützung des Solarverein Trier auf denkmalgeschützten Gebäuden bzw. in Denkmalzonen errichtet worden:



Solaranlage mit 20 m² im Ortskern von Trier-Pfalzel (Denkmalzone)



Solaranlage mit 40m² in Gransdorf
auf einem denkmalgeschützten Bauernhof