Energiekonzept für die CitySolar AG in Bad Kreuznach

Mit freundlicher Unterstützung des:

Rheinland-Pfalz
Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz

Auftraggeber:	CitySolar AG
Projektnummer:	1250
Datum:	03.10.2006

Transferstelle Bingen · Am Langenstein 21 · 55411 Bingen · www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Marco Stallmann
Tel: 06721 / 98424-10
Fax: 06721 / 98424-29
stallmann@tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl
Tel: 06721 / 98424-16
Fax: 06721 / 98424-29
pohl@tsb-energie.de

im
Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3

2 IST-Analyse 4

3 Beleuchtung 5

4 Be- und Entlüftung 7

5 Dämmung 8

6 Realisierungsmöglichkeiten 11

6.1 Energiebilanz 19
6.2 CO_2-Emissionsbilanz 20

7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 23

7.1 Investitionskosten 24
7.2 Wirtschaftlichkeit 25

8 Bewertung/Zusammenfassung 27

9 Anlage: EnEV-Berechnung 29

1 Einleitung

Die CitySolar AG hat kürzlich ein Firmengebäude in Bad Kreuznach erworben, das ehemals von einer Näherei genutzt wurde. Dieses Gebäude enthält Lager- und Büroräume. Die Büroräume werden durch die CitySolar AG selbst genutzt, weshalb die technische Gebäudeausrüstung im Bereich dieser Räume hinsichtlich Heizung und Klimatisierung erneuert, bzw. an den künftigen Bedarf angepasst werden muss.

Zunächst wird in einer IST-Analyse der momentane Stand des Gebäudes erfasst, anschließend der künftige Bedarf aufgrund einer Wärmebedarfsberechnung nach EnEV ermittelt. Hierzu wurde in Zusammenarbeit mit CitySolar ein Dämm-Standard für das Gebäude definiert, welcher in der beschriebenen Form umgesetzt werden wird.
In der anschließenden Energiebilanz werden die verschiedenen Anlagen dimensioniert und deren Verbrauchsdaten erfasst.
Eine CO_2-Emissionsbilanz und die Wirtschaftlichkeitsberechnung an sich geben Aufschluss darüber, welche Variante der Wärmeversorgung aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten die empfehlenswerteste ist.
In einer abschließenden Zusammenfassung werden die Vor- und Nachteile der jeweiligen Varianten nochmals zusammengefasst, um eine entsprechende Entscheidung zur Realisierung herbeiführen zu können.

2 IST-Analyse

Folgende Eckdaten repräsentieren den IST-Zustand des Gebäudes und gelten für eine Neu-Dimensionierung:

Wärmebedarf n. Wärmebedarfsberechnung	kWh_{th}/a	370.900
aktuell installierte Heizleistung	kW_{th}	305
Vollbenutzungsstunden Heizung	h/a	1.216
spez. Wärmebedarf	kWh_{th}/m^2a	126
spez. Heizleistung	W_{th}/m^2	103

Tabelle 1: Wärmebedarf IST-Zustand

Der Wärmebedarf wurde anhand der Wärmebedarfsberechnung nach EnEV für den IST-Zustand berechnet, da keine Brennstoffabrechnungen innerhalb der aktuellen Nutzungs-Situation vorliegen. Die etwas niedrigen Vollbenutzungsstunden des installierten 305 kW-Kessels lassen auf eine leichte Überdimensionierung schließen.

3 Beleuchtung

In de Büroräumen sind ca. 200 Stück konventionelle Leuchtstofflampen installiert. Diese werden ca. 12 bis 14 Stunden täglich betrieben. Der Betrieb von modernen Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten vermindert den Stromverbrauch deutlich. Die Anschlussleistung einer 1,5 m langen Leuchtstofflampe kann bei fast gleicher Beleuchtungsqualität von 71 W auf 55 W reduziert werden.

Darüber hinaus haben diese modernen Beleuchtungen weitere Vorteile:

- höhere Lichtausbeute der Lampen
- um etwa 50 % höhere Lebensdauer der Lampen
- flimmerfreies Licht durch die hochfrequente Spannung (25 - 40 kHz)
- automatisches Abschalten defekter Lampen
- kein zusätzlicher Starter notwendig
- Tageslichtabhängige Regelung möglich (dimmen)
- keine Blindleistungskompensation erforderlich
- geringere Verlustleistung

Der Mehrpreis für eine Leuchte mit elektronischem Vorschaltgerät liegt bei etwa 40 €. Diesen Kosten stehen Einsparungen beim Stromverbrauch gegenüber, so dass sich die Investition – in Abhängigkeit von der Betriebsstundenzahl – in kurzer Zeit amortisiert.

Am Markt ist seit einiger Zeit ein System namens „Retrolux“ erhältlich, das eine komplette Erneuerung der gesamten Leuchte überflüssig macht. Das System besteht aus einer T5 Leuchtstoffröhre und einem in die Fassung integrierten elektronischen Vorschaltgerät. Die Einheit wird in die vorhandene Fassung der Stableuchtstofflampe eingesetzt und ist damit betriebsbereit.

Einsparung bei den Verbrauchskosten durch Austausch von Leuchtstoffröhren (beispielhaft: Austausch von 20 Stk. gerechnet):

	Anzahl	**Leistung [W]**	**Betriebs-stunden [h/a]**	**Strom-verbrauch [kWh_{el}/a]**	**Stromtarif [Ct/kWh_{el}]**	**Kosten [€/a]**
alte Beleuchtung	20	71	4.400	6.250	10	625
Retrolux	20	40	4.400	3.520	10	352
Einsparung				**2.730**		**273**

Die Einsparungen an Stromkosten belaufen sich auf 273 €/a.
Die Mehrkosten für die Investition lassen sich durch die jährlichen Einsparungen bei Verbrauchs- und Betriebskosten in fast 3 Jahren amortisieren (vgl. folgende Tabelle).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Retrolux:

Vergleichsrechnung	**Vorhandene Beleuchtung**	**Retrolux**
Kapitalzinssatz	6%	6%
Abschreibungszeitraum	15 Jahre	15 Jahre
Anzahl der Leuchten	20	20
el. Anschlussleistung einer Leuchte	71 W	40 W
Preis einer Retrolux T5		32 €
Preis einer Lampe	3 €	5 €
Entsorgungskosten einer Lampe	0,60 €	0,60 €
Lebensdauer der Lampe	8.000 h	18.000 h
Investition	**0 €**	**640 €**
Kapitalkosten	0 €/a	66 €/a
Betriebskosten	41 €/a	28 €/a
Verbrauchskosten	625 €/a	352 €/a
Jahreskosten	**666 €/a**	**446 €/a**
Einsparung bei betriebs- verbrauchsgebundenen Kosten		220 €/a
statische Amortisationsdauer		**2,9 Jahre**

4 Be- und Entlüftung

Nach Umsetzung der Dämmungs-Maßnahmen im Bereich der Außenfassade sinkt der Transmissionswärmeverlust des Verwaltungsgebäudes ab, während die Lüftungswärmeverluste unverändert „hoch“ bleiben. Hierdurch steigt der prozentuale Anteil der Verluste über die Lüftung an den Gesamt-Wärmeverlusten an. Es sollte also zur weiteren Energieeinsparung eine kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage für das Gebäude eingesetzt werden.
Für solche Anlagen gibt es verschiedene realisierbare Konzepte – für die CitySolar AG wird ein Konzept mit dezentralen Lüftungsgeräten für die Einzelräume realisiert werden. Der Grund hierfür sind die einfachere Installation und die höhere Effizienz gegenüber einem Sammel-Kanal-System, bei dem große Luftmengen konditioniert werden und über entsprechend große Kanäle verteilt werden müssen. Weiterhin sind Einzelraumlösungen komfortabler in der Regelung. Eine Wärmerückgewinnung (WRG) wird ohnehin eingesetzt werden. Der Einsatz von WRG-Anlagen ist nahezu immer wirtschaftlich, da die Investitionskosten für einen Luft/Luft-Wärmetauscher im Vergleich zur möglichen Einsparung an Heizkosten vergleichsweise gering sind. Allerdings ist die technische Umsetzbarkeit einer WRG bei zentralen Lüftungsanlagen oft einfacher als bei dezentralen Lüftungsaggregaten.
Das folgende Diagramm zeigt die möglichen Einsparungen im Bereich der Lüftungswärmeverluste (rosa Balken), die durch den Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (80% Rückgewinnungsgrad) realisierbar sind.

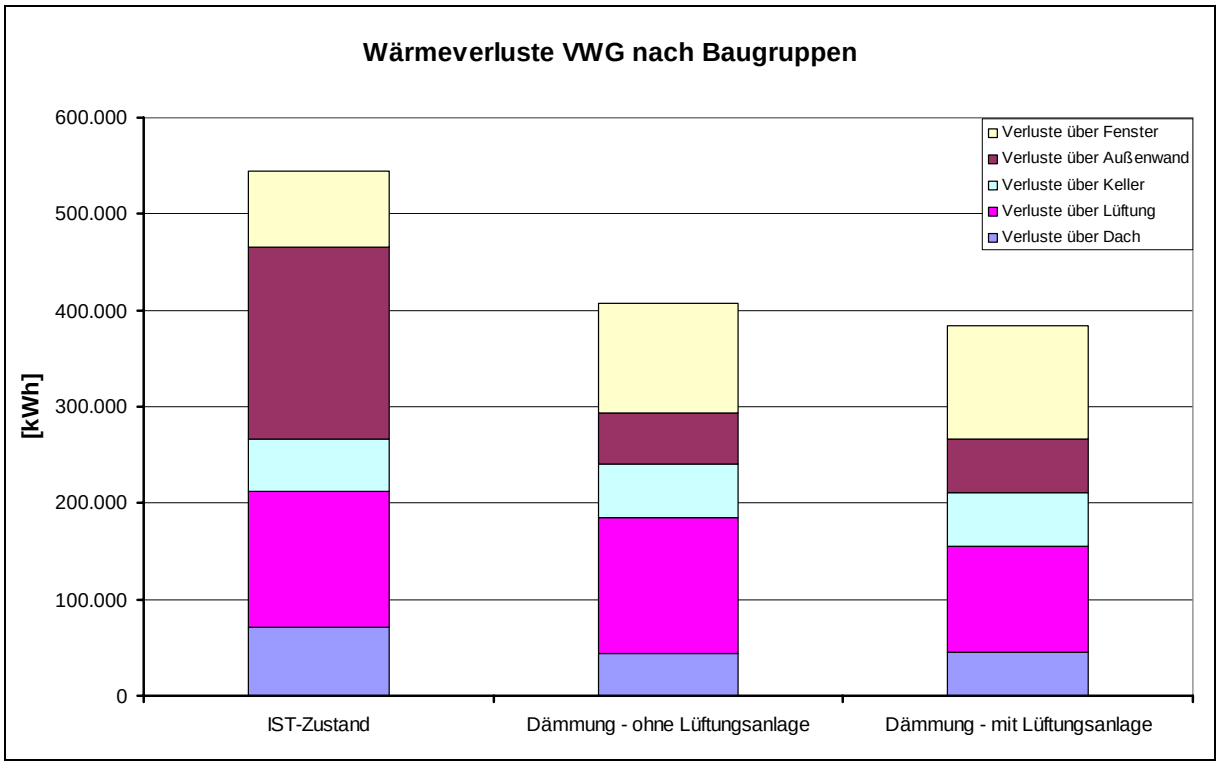

Abbildung 1: Wärmeverluste nach Baugruppen - Verwaltungsgebäude

Der vorliegende Bericht beschäftigt sich nicht mit den Details einer Lüftungsanlage, da zu Projektbeginn eine Entscheidung über das künftige Lüftungssystem bereits getroffen war und dessen Planung bereits seitens CitySolar durchgeführt wird.

5 Dämmung

In Absprache mit CitySolar AG wurden folgende Maßnahmen zur Dämmung des Verwaltungsgebäudes erarbeitet und im Programm „Energieberater“ nach EnEV für das angesprochene Projekt berechnet. Hierbei gilt zu beachten, dass aufgrund der baulichen Situation am Standort nicht alle beliebigen Dämmstärken realisierbar sind: die im Obergeschoss angebrachte Vorhangfassade kann maximal mit einer Dämmstärke von 10 cm hinterfüttert werden. Im Untergeschoss im Bereich der Brüstung kann eine Dämmstärke von 7 cm nicht überschritten werden, da sonst die vorhandenen Jalousien nicht mehr benutzbar wären.
Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten heraus wird also erwägt, im Rahmen der bauseitigen Möglichkeiten mit entsprechenden Materialien den EnEV-Standard zu erfüllen und somit einen kompletten – und im Vergleich dazu unwirtschaftlichen – Komplett-Austausch der Fassade zu vermeiden. Die berechneten Dämm-Maßnahmen sind also:

Außenwand
Brüstung UG: 7 cm Außenwanddämmung (Polyurethan) WLG 025
Vorhangfassade: 10 cm Mineralfaserdämmung WLG 035

Fenster
U-Wert zweifach Wärmeschutzverglasung:1,1 W/(m²K)
U-Wert Rahmen: 2,3 W/(m²K)
U-Wert Fenster: 1,6 W/(m²K)

Dach
10 cm Außendämmung (Polyurethan) WLG 030

Mit der Umsetzung dieser Maßnahmen sind die nach EnEV für eine Sanierung geforderten U-Werte im Bereich der Hüllfläche einzuhalten, was die folgende Tabelle zeigt:

	Ist-Zustand	**Dämmung (s.o.)**
geforderter U-Wert nach EnEV für Außenwände	0,35 W/m² K	0,35 W/m² K
erreichbarer U-Wert an Außenwänden	~ 0,7…4,89 W/m² K	~ 0,32…0,33 W/m²K
geforderter U-Wert nach EnEV für Fenster bei Austausch der Fenster	1,7 W/m² K	1,7 W/m² K
erreichbarer U-Wert für Fenster	~ 2,28…3,5 W/m² K	~ 1,6 W/m² K
EnEV-Standard erfüllt	**nein!**	**Außenwand: ja!** **Fenster: ja!**

Tabelle 2: U-Werte nach Dämmung

Im Vergleich mit dem Ist-Zustand wird das Einsparpotential bestimmt:

	Ist-Zustand	**Dämmung (s.o.)**
Jahresheizwärmebedarf	370.200 kWh_{th}/a	226.300 kWh_{th}/a
spez. Jahresheizwärmebedarf	126 $kWh_{th}/(m^2a)$	80 $kWh_{th}/(m^2a)$
prozentuale Einsparung Jahresheizwärmebedarf		39 %

Tabelle 3: Einsparpotential nach Dämmung

Dementsprechend ändert sich die Bedarfssituation des Verwaltungsgebäudes wie folgt:

Wärmebedarf im IST-Zustand	kWh_{th}/a	370.900
Heizleistung im IST-Zustand	kW_{th}	305
Vollbenutzungsstunden Heizung IST-Zustand	h/a	1.216
Wärmebedarf nach Dämmung	**kWh_{th}/a**	**226.300**
zu installierende Heizleistung	**kW_{th}**	**150**
Vollbenutzungsstunden Heizung neu	h/a	1.510
beheizte Flächen	m^2	2.950
spez. Wärmebedarf	kWh_{th}/m^2a	80
spez. Heizleistung	W_{th}/m^2	51

Tabelle 4: Wärmebedarf nach Dämmung

Eine Kälteversorgung existiert bislang nicht. An Kälteleistung sind 150 kW Leistung zur Klimatisierung der Büroräume zu installieren. Die Dimensionierung erfolgte nach den aus der EnEV-Berechnung stammenden Werten:

An solaren Gewinnen fallen für das Gebäude an: 60.200 kWh

Die internen Gewinne belaufen sich nach EnEV auf 7 W/m²

Mit obigen Werten, einem in der Literatur üblichen Kennwert von 500 Vollbenutzungsstunden jährlich für Klimatisierung und der zu klimatisierenden Fläche bei CitySolar von 2.950 m² lässt sich somit leicht eine nötige Kälteleistung von ca. 150 kW abschätzen.

zu installierende Kälteleistung	**kW_{th}**	**150**
erforderliche Kälte	kWh_{th}/a	105.000
Vollbenutzungsstunden Kälte	h/a	700

Tabelle 5: Kälte nach Dämmung

Zusammenfassend gestaltet sich die Bedarfssituation des CitySolar Verwaltungsgebäudes also folgendermaßen:

Wärmebedarf nach Dämmung	**kWh_{th}/a**	**226.300**
zu installierende Heizleistung	**kW_{th}**	**150**
Vollbenutzungsstunden Heizung neu	h/a	1.510
beheizte Flächen	m²	2.950
spez. Wärmebedarf	kWh_{th}/m^2a	80
spez. Heizleistung	W_{th}/m^2	51
zu installierende Kälteleistung	**kW_{th}**	**150**
erforderliche Kälte	kWh_{th}/a	105.000
Vollbenutzungsstunden Kälte	h/a	700

Tabelle 6: Bedarf gesamt nach Dämmung

Aufgrund dieser Werte findet im Folgenden die Dimensionierung der Wärme- (und Kälte-) Versorgungs-Varianten statt.

6 Realisierungsmöglichkeiten

Folgende Varianten zur Energieversorgung des Gebäudes werden untersucht:

	Basisvariante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Variante 6**
Energieträger	Erdgas	Erdgas	Erdgas	Strom	Erdgas	Solar/Erdgas	Solar/Erdgas
Wärmeer-zeuger	Erdgas-NT-Kessel	solare Behei-zung + Erdgas-NT-Kessel	solare Beheizung + Erdgas-NT-Kessel	Sole-Wärmepumpe (Sole-WP)	Erdgas-NT-Kessel + BHKW	solare Behei-zung + BHKW	solare Behei-zung + Sole-WP + BHKW
Kälteerzeuger	%	%	Absorptionskälteanlage (AKA)	Sole-WP	AKA	AKA	AKA
Stromerzeu-ger	%	%	%	PV	BHKW	BHKW	BHKW
Raumheizung	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Raumkühlung	nein		ja	ja	ja	ja	ja
Stromerzeu-gung	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Spitzenlast-kessel	nein	ja	ja	nein	ja	ja	nein

Tabelle 7: Varianten-Übersicht

Die **Basisvariante** mit der bedarfsgerechten Erneuerung des vorhandenen Erdgas-Kessels stellt die Vergleichsgrundlage für die übrigen Varianten dar. Sie beinhaltet:

- bedarfsgerechte Erneuerung des Erdgas-Kessels durch einen Niedertemperaturkessel mit 150 kW_{th}

Die **Variante 1** gestaltet sich folgendermaßen:

- solare Beheizung über 500m² Kollektorfläche (Vakuum-Röhrenkollektor Wagner, VC 16) und einem saisonalen Kies/Wasserspeicher mit 1.750 m³ Inhalt
- zusätzlich ein Spitzenlastkessel mit 150 kW_{th}

Die Dimensionierung von Solaranlage und saisonalem Speicher erfolgte überschlägig anhand von Kennwerten nach Prof. M.N. Fisch, IGS Braunschweig [*M.N. Fisch*: „Thermische Solarenergienutzung“, Script TU Braunschweig]. Demnach sind ca. 2m² Kollektorfläche je MWh Heizwärmebedarf pro Jahr erforderlich und ein Speichervolumen von 3,5 m³ je m² Kollektorfläche sollte bereitgestellt werden.
Die so gewonnene thermische Energie macht ca. 70% des Jahresheizwärmebedarfs aus. Der Rest wird über einen Erdgas-Niedertemperatur-Kessel gedeckt, der auch im Bedarfsfall die vollständige erforderliche Heizleistung bereitstellen kann.

Details zur Technik

Bei der Solarthermie wird die Sonnenstrahlung zur Wärmeerzeugung genutzt. Die Nutzung erfolgt hauptsächlich zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung; die Solarwärme kann aber beispielsweise auch zur Trocknung, Kühlung oder zur Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt werden.
Die Solarstrahlung trifft mit einer Leistung von 1,36 kW/m² (sog. Solarkonstante) auf die äußere Erdatmosphäre. Durch Reflexion, Streuung und Absorption in der Atmosphäre triff direkte und diffuse Strahlung auf die Erdoberfläche. In unseren Regionen kann durchschnittlich eine Energiemenge von 1.000 kWh_{th}/m^2 thermisch genutzt werden. Der tatsächliche Ertrag hängt neben der Einstrahlung am Standort v. a. vom Kollektortyp sowie der Neigung und Ausrichtung ab.
Um eine möglichst hohe Ausbeute über ein Jahr zu erzielen, ist eine Neigung der Kollektormodule von 30 bis 45 ° notwendig. Die Abweichung der Kollektorebene aus der Südrichtung (Azimut) sollte 45 ° nicht überschreiten.
Durch die solare Einstrahlung auf den Solarkollektor nimmt das Wärmeträgermedium im Kollektorkreis die Wärme auf. Über Wärmetauscher wird die Wärme an einen Speicher abgegeben. Dazu sind verschiedene Speichersysteme wie z. B. Pufferspeicher, Schichtenspeicher oder Warmwasserspeicher möglich. Im Falle der solaren Beheizung eines Gebäudes, wo möglichst hohe Jahresdeckungsraten gewünscht sind, müssen so genannte saisonale Langzeitspeicher errichtet werden. Hierbei handelt es sich um Heißwasser-Wärmespeicher – ausgeführt als ins Erdreich gebautes Bassin aus Stahlbeton, Kies/Wasser-Wärmespeicher (ein abgedichtetes und gedämmtes Erdbecken, das mit Kies, Erdreich und Wasser als Speichermedium verfüllt wird) oder Erdsonden-Wärmespeicher (Sonden-Bohrungen bis ca. 100 – 200m Tiefe, wie sie aus der Wärmepumpen-Anwendung bekannt sind). Das Speichervolumen sollte nach *M. N. Fisch [s.o.]* für einen Kies/Wasser-Wärmespeicher auf ca. 3,5 m³ je m² Kollektorfläche ausgelegt sein.

Üblicherweise kann mit einer solchen Solaranlage bis zu 60 % des jährlichen Wärmebedarfs gedeckt werden (solare Deckungsrate).

Auf dem Markt sind verschiedene Systeme zu Solarkollektoren verfügbar (hauptsächlich Flach- oder Vakuum-Röhrenkollektoren). Diese unterscheiden sich im Aufbau, Wirkungsgrad und Preis. Die Abbildung zeigt die Wirkungsgrade verschiedener Systeme in Abhängigkeit von der nutzbaren Temperaturdifferenz bzw. dem benötigten Temperaturniveau für verschiedene Nutzungen. Verluste entstehen durch Reflexion an der Scheibe sowie durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung (Wärmeabgabe an die Umgebung).

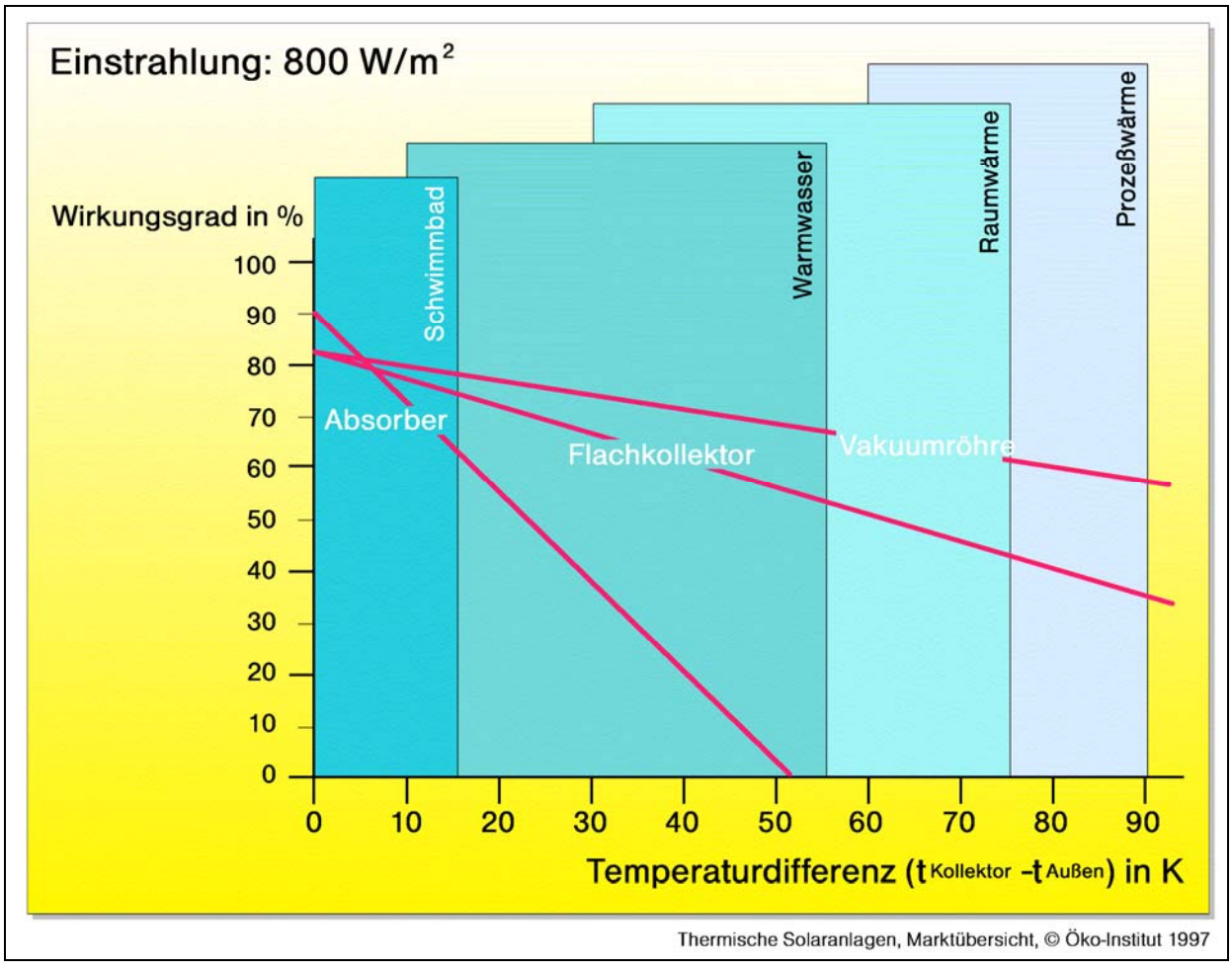

Abbildung 2: Wirkungsgrad verschiedener Systeme (Quelle: Öko-Institut)

Im vorliegenden Fall werden aufgrund des höheren Wirkungsgrades – besonders für die Bereitstellung von Raumwärme – Vakuum-Röhrenkollektoren ausgewählt.

Vakuum-Röhrenkollektoren bestehen aus mehreren evakuierten Glasröhren mit innen liegendem Absorber. Die Wärmeverluste werden minimiert. Bei gleicher Fläche liefern Röhrenkollektoren bis zu 40 % mehr Ertrag als Flachkollektoren. Nach *M. N. Fisch [s.o.]* werden zur Dimensionierung ca. 2 m² Kollektorfläche je MWh/a Heizwärmebedarf angesetzt.
Im vorliegenden Fall sind demnach ca. 500 m² Kollektorfläche erforderlich, um den Jahres-Heizwärmebedarf zu ca. 60% über solare Energie abzudecken.

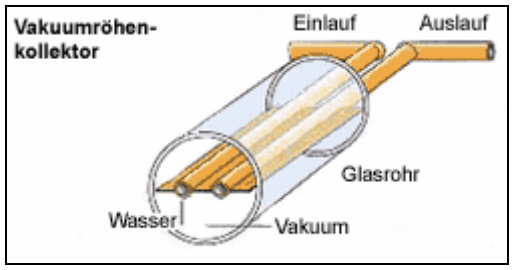

Abbildung 3: Vakuum-Röhrenkollektor

Die **Variante 2** enthält:

- solare Beheizung über 500m² Kollektorfläche (Vakuum-Röhrenkollektor Wagner, VC 16) und einem saisonalen Kies/Wasserspeicher mit 1.750 m³ Inhalt (s.o.)
- zusätzlich ein Spitzenlastkessel mit 150 kW_{th}
- Absorptionskälteanlage zur Klimatisierung: 2 x 83 kW -> 166 kW
- zum Betrieb der AKA erforderliche Heizenergie (ca. 85°C): 111.000 kWh

Details zur Technik

Im Kälteprozess wird Wärme aus einem Raum abgeführt, der dadurch abkühlt, und dem Verdampfer der Kältemaschine zugeführt. Durch eine Verdichtung und anschließende Kondensation wird Wärme auf einem höheren Temperaturniveau abgegeben.
Die Verdichtung erfolgt in den Kältemaschinen entweder mechanisch mit einem Kompressor oder thermisch durch einen Absorptionsprozess.

Typisches Anwendungsgebiet der Absorptionskältemaschine ist der Klimabereich mit Nutztemperaturen von +4°C bis +12°C und der Bereich tiefer Nutztemperaturen bis -60°C. Die Lösungsmittelkombination Wasser-Lithiumbromid wird für die Klimakälte eingesetzt, während Ammoniak-Wasser für die Mittel- und Tieftemperaturtechnik verwendet wird. Die in der Klimatechnik eingesetzten Absorptionskältemaschinen mit der Lösungsmittelkombination Wasser-Lithiumbromid wird in der folgenden Abbildung dargestellt. Hier ist Wasser das Kältemittel und Lithiumbromid das Lösungsmittel.

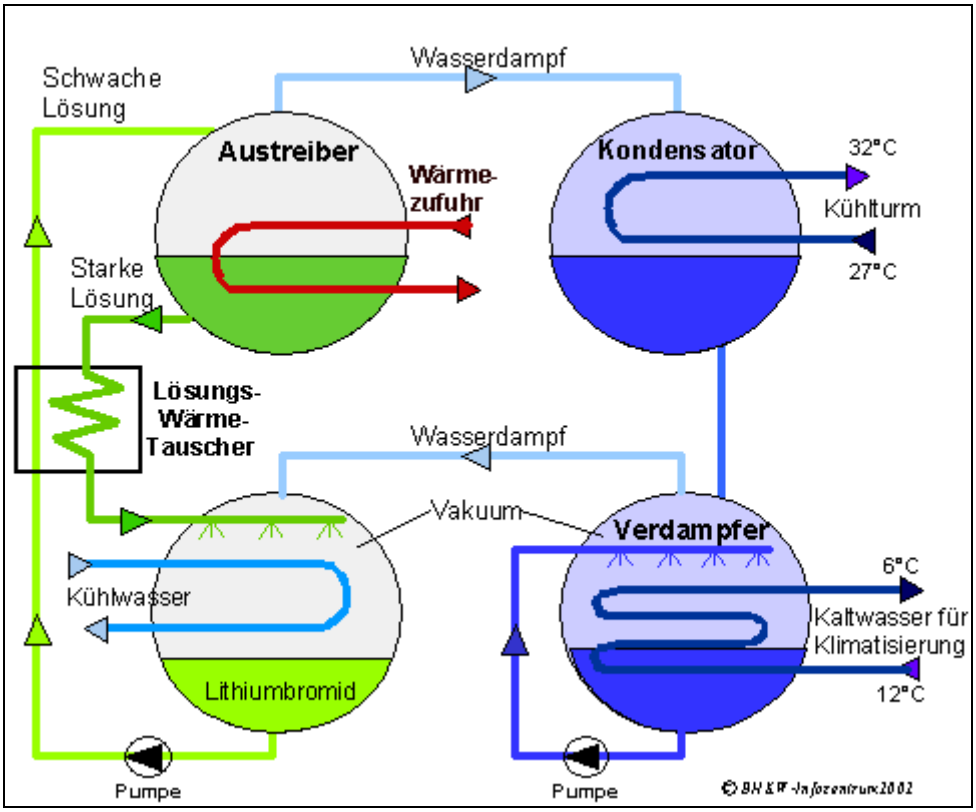

Abbildung 4: Schemazeichnung Absorptionskältemaschine (Quelle: BHKW-Infozentrum)

Im Absorptionsprozess wird der im Verdampfer entstehende Kältemitteldampf (Wasserdampf) bei einem niedrigen Verdampfungsdruck von einem Lösungsmittel (Lithiumbromid) im Absorber aufgenommen. Die Lösungsmittelpumpe erhöht den Verflüssigungsdruck der angereicherten Lösung und fördert sie in den Austreiber. Dort wird das Kältemittel (Wasser) durch Zufuhr von Wärme ausgetrieben. Die kältemittelarme Lösung (bzw. lösungsmittelreiche Lösung) wird zum Absorber zurückgeführt. Das verdampfte Kältemittel (Wasserdampf) aus dem Austreiber kondensiert unter Wärmeabgabe im Verflüssiger wie im üblichen Kälteprozess.

Serienmäßige Absorptionskältemaschinen sind für die Heizmedien Heißwasser und Dampf im Temperaturbereich von 80 bis 180°C konzipiert. Aufgrund dessen wird hauptsächlich Abwärme von Kraftwärmekopplungsanlagen (KWK-Anlagen), solare Wärme aus solarthermischen Anlagen und Prozessabwärme als Wärmezufuhr für den Austreiber eingesetzt.

Einstufige Anlagen werden für Temperaturen <150°C eingesetzt. Sie arbeiten in der Regel mit einer Antriebstemperatur zwischen 80 und 115°C. Das Wärmeverhältnis, das das Verhältnis zwischen erzeugter Kälte zur zugeführten Wärme angibt, einer solchen Anlage liegt zwischen 0,55 und 0,7.

Im Vergleich zu Kompressionskältemaschinen mit 15 Jahren Nutzungsdauer beträgt die Nutzungsdauer für Absorptionskältemaschinen meist 20 Jahre. Da Absorptionskältemaschinen bis auf die Lösungsmittelpumpe kaum mechanisch bewegte Teile besitzen, sind sie nahezu wartungsfrei.

Der Modulpreis für eine Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskältemaschine der Firma EAW mit 83 kW_{th} liegt laut Preisliste 2006 bei 58.510 € (COP = 0,75, bei 85°C VL-Temperatur).

Die **Variante 3** besteht aus:

- Elektromotor-Wärmepumpe für Sole/Wasser-Betrieb zum Heizen und Kühlen mit 160 kW_{th} Wärmeleistung und ca. 150 kW_{th} Kälteleistung
- Photovoltaikanlage zur Stromerzeugung (Dimensionierung ggf. seitens CitySolar)

Eine Sole/Wasser Wärmepumpe kann mit einer Leistung von 160 kW sowohl die anfallende Heizlast wie auch Kühllast decken. Insgesamt sind zum Betrieb der WP ca. 2.500 m Bohrung erforderlich – das entspricht 25 Bohrungen á 100 m im gepflasterten Parkplatz-Bereich nahe des Heizraumes am Versand. Wasserrechtliche Einschränkungen liegen in diesem Bereich keine vor!
Die WP generiert aus elektrischem Strom mit einem Verhältnis von ca. 1:3 Wärme, bzw. Kälte.

Details zur Technik

Eine Wärmepumpe kann mit Hilfe einer niedrig temperierten Umgebungswärme Wärme auf ein höheres Temperaturniveau anheben und diese zu Heizzwecken nutzen. Dazu ist hochwertige Antriebsenergie notwendig. Die gewonnene Nutzwärme sollte dabei ein Mehrfaches der Antriebsenergie betragen, um eine vernünftige Betriebsweise zu erhalten. Dieses Verhältnis, auch als Leistungszahl (COP) bekannt, ist von der Temperaturdifferenz der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur des Heizsystems abhängig. Aufgrund dessen sollte die Wärmequelle eine hohe Temperatur aufweisen und das Heizsystem eine möglichst niedrige Vorlauftemperatur besitzen. Großflächige Wärmeübertragungsfläche, wie z. B. Fußboden- oder Wandflächenheizungen, mit einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur bieten sich hierzu an.
Bei der Nutzung des oberflächennahen Erdreichs als Wärmequelle wird nach der Art des verwendeten Wärmetauschers zwischen horizontal und vertikal verlegten Erdreichwärmetauschern (Erdreichwärmekollektor) unterschieden.

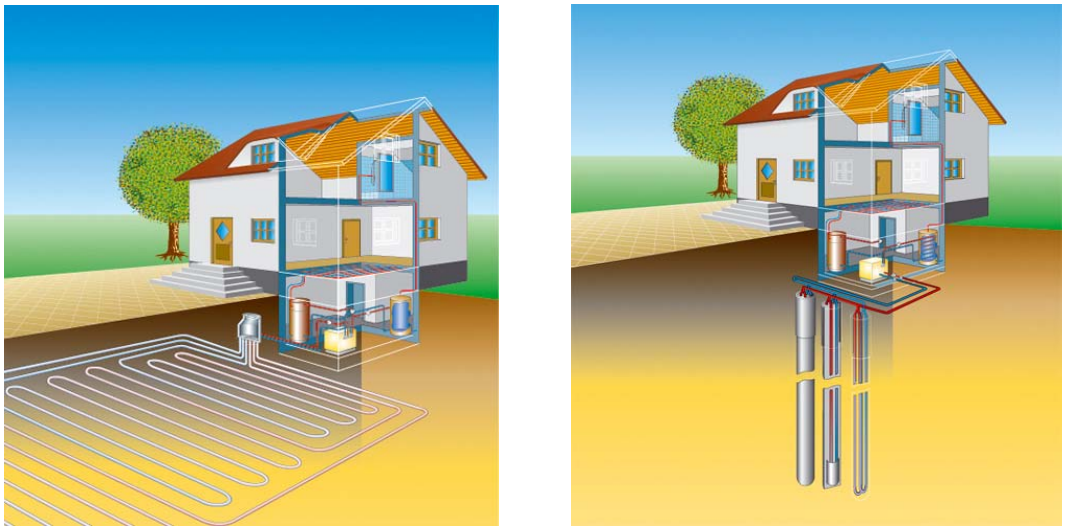

Abbildung 6: Wärmepumpenanlage mit Erdwärmekollektor und Erdwärmesonden(Quelle: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V.)

Vertikale Erdreichwärmetauscher, auch Erdwärmesonden genannt, weisen gegenüber den horizontalen Wärmetauschern einen wesentlich geringeren Flächenbedarf auf und werden deshalb bevorzugt bei kleinen Grundstücken eingesetzt. Der Wärmeentzug erfolgt über einen Sole-Zwischenkreislauf. Die Sole leitet die Wärme vom Erdreich zum Wärmeträgermedium, das sich in einem geschlossenen Kreislauf befindet und die Wärme zur Wärmepumpe transportiert. Erdwärmesonden werden in vertikalen, bis zu 100 m tiefen Bohrungen eingebracht. Um einen guten Wärmeübergang zwischen Erdreich und Sonde zu gewährleisten, werden die Erdwärmesonden hinterfüllt. Hierbei hat sich eine Verpressung mit einer Betonit-Zement-Suspension bewährt.
Anders als bei horizontalen Wärmetauschern, die sich in der heizfreien Zeit durch die solare Einstrahlung regenerieren, ist eine Regeneration des Erdreiches in tieferen Schichten nur bedingt möglich. Daher ist eine genaue Dimensionierung wichtig. Um langfristig den Gleichgewichtszustand zu halten, darf abhängig von den jeweiligen Untergrundeigenschaften, eine jährliche entzogene Wärmemenge zwischen 50 und 180 kWh_{th}/(m a) nicht überschritten werden.
Obwohl in der Regel der Betrieb einer Wärmepumpenanlage zur thermischen Nutzung des Untergrunds nicht zu nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt führt, muss das Arbeitsmittel so ausgewählt werden, dass im Schadensfall keine Umweltschädigung eintritt.
Eine Wärmepumpenanlage mit Nutzung des Untergrundes durch Erdwärmesonden kann im Einzelfall ein erlaubnispflichtiger Benutzungstatbestand nach § 3 Abs. 2 Nr. 2 WHG erfüllt sein unabhängig davon, ob beim Einbau Grundwasser angetroffen wird oder nicht. Es hängt von den technischen Daten der Anlage und den hydrogeologischen Gegebenheiten ab. Wenn ein Einwirken auf das Grundwasser zu erwarten ist, ist eine Bohranzeige nach § 35 WHG in Verbindung mit dem Landesrecht erforderlich.

Die **Variante 4** enthält:

- Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Wärme-/Stromerzeugung mit 44 kW_{th} und 20 kW_{el}
- zusätzlich ein Spitzenlastkessel mit 100 kW_{th}
- Absorptionskälteanlage zur Klimatisierung: 2 x 83 kW -> 166 kW
- zum Betrieb der AKA erforderliche Heizenergie (ca. 85°C): 111.000 kWh

BHKW und Kessel stellen zusammen die erforderliche Heizleistung bereit. Das BHKW deckt die Grundlast an Wärme und erzeugt während 6.640 h Laufzeit ca. 132.750 kWh an elektrischem Strom, der nach KWK-Gesetz mit derzeit ca. 10 Ct/kWh vergütet wird.
Allerdings gilt der Hinweis, dass die ermittelten Leistungsdaten der AKA und des BHKW nicht für einen gemeinsamen Betrieb passen. Das BHKW mit 44 kW Leistung kann nicht die für den Betrieb der AKA erforderliche Heizleistung von 222 kW bereitstellen. Ein größeres BHKW passt nicht mehr in die Wärmeversorgung. Die notwendige AKA-Antriebsleistung ist größer als die Spitzenleistung zum Heizen im Winter.

Die **Variante 5** enthält:

- solare Beheizung über 500m² Kollektorfläche (Vakuum-Röhrenkollektor Wagner, VC 16) und einem saisonalen Kies/Wasserspeicher mit 1.750 m³ Inhalt
- Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Wärme-/Stromerzeugung mit 29 kW_{th} und 13 kW_{el}
- zusätzlich ein Spitzenlastkessel mit 100 kW_{th}
- Absorptionskälteanlage zur Klimatisierung: 2 x 83 kW -> 166 kW
- zum Betrieb der AKA erforderliche Heizenergie (ca. 85°C): 111.000 kWh

Das BHKW sollte in dieser Variante zusammen mit der Solarthermie den Betrieb der AKA sicherstellen können. In 6.690h BHKW-Laufzeit werden ca. 93.670 kWh an elektrischem Strom erzeugt, die nach KWK-Gesetz mit derzeit ca. 10 Ct/kWh vergütet werden. Hier wäre auch denkbar, statt Neukauf eines Spitzenlastkessels den vorhandenen Heizkessel als Spitzenkessel weiterhin zu erhalten.

Die **Variante 6** enthält:

- solare Beheizung über 500m² Kollektorfläche (Vakuum-Röhrenkollektor Wagner, VC 16) und einem saisonalen Kies/Wasserspeicher mit 1.750 m³ Inhalt (oder alternativ einem Natrium-Acetat-Speicher)
- ein BHKW mit 29 kW_{th} und 13 kW_{el} (10% Deckung Wärme, 38 % Deckung Kühlung)
- Elektromotor-Wärmepumpe für Sole/Wasser-Betrieb zum Heizen mit 125 kW_{th}
- Absorptionskälteanlage zur Klimatisierung: 2 x 83 kW -> 166 kW
- zum Betrieb der AKA erforderliche Heizenergie (ca. 85°C): 111.000 kWh

Das BHKW sollte in dieser Variante zusammen mit der Solarthermie den Betrieb der AKA sicherstellen. In 2.160 Stunden BHKW-Laufzeit werden ca. 30.310 kWh an elektrischem Strom erzeugt, die nach KWK-Gesetz mit derzeit ca. 10 Ct/kWh vergütet werden. Die Abwärme der AKA wird über die Erdsonden im Erdreich gespeichert und von der WP im Winter wieder nutzbar gemacht. Statt des Kies-Wasser-Speichers wäre ein Natrium-Acetat-Speicher für die überschüssig in der Heizperiode durch die Solaranlage erzeugte Wärme denkbar. Eine entsprechende sinnvolle Einbindung wird noch geprüft.

6.1 Energiebilanz

		Basisvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Wärmebedarf, gesamt	$kWh_{th}a$	226.300	226.300	226.300	226.300	226.300	226.300	226.300
Wärmeleistung, gesamt	kW_{th}	150	150	150	160	144	130	155
Kälteleistung	kW_{th}	%	%	166	150	166	166	166
Jahresnutzungsgrad Erdgaskessel	%	92	92	92		92	92	
Leistungszahl WP					3			
Gesamteffizienz BHKW	%					96	95	95
Erdgas-Bedarf	kWh_{Ho}/a	270.200	61.250	61.250		540.090	415.120	108.080
Strom-Bedarf	kWh_{el}/a	2.260	2.260	14.760	105.160	14.760	15.840	16.520
Strom-Erzeugung BHKW	kWh_{el}/a					132.750	93.670	30.310
el. Notstrom-Leistung	kW					20	13	13

Tabelle 8: Energiebilanz-Übersicht

Die Varianten 4, 5 und 6 mit dem BHKW haben im Vergleich zu den übrigen Varianten einen recht hohen Energiebedarf (Erdgas), was daran liegt, dass das BHKW jeweils auf eine hohe Laufzeit und damit eine große Stromproduktion ausgelegt ist, um eine gute Wirtschaftlichkeit erzielen zu können.

6.2 CO_2-Emissionsbilanz

In der folgenden Tabelle ist der CO_2-Ausstoß der jeweiligen Variante aufgelistet – ermittelt aus dem jeweiligen Energieverbrauch und dessen CO_2-Äquivalenten.

Variante	IST-Zustand	Basisvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Erdgasbedarf kWh_{Ho}/a	515.720	270.200	61.250	61.250	0	540.090	415.120	108.080
Heizstrombedarf kWh_{el}/a	3.710	2.260	2.260	14.760	105.160	14.760	15.840	16.520
Stromerzeugung BHKW kWh_{el}/a						132.750	93.670	30.310
CO_2-Emissionen t CO_2/a	**122**	**64**	**16**	**24**	**72**	**79**	**56**	**76**

Tabelle 9: CO_2-Emissionen – Tabelle

Die Ergebnisse sind im folgenden Diagramm noch einmal grafisch dargestellt:

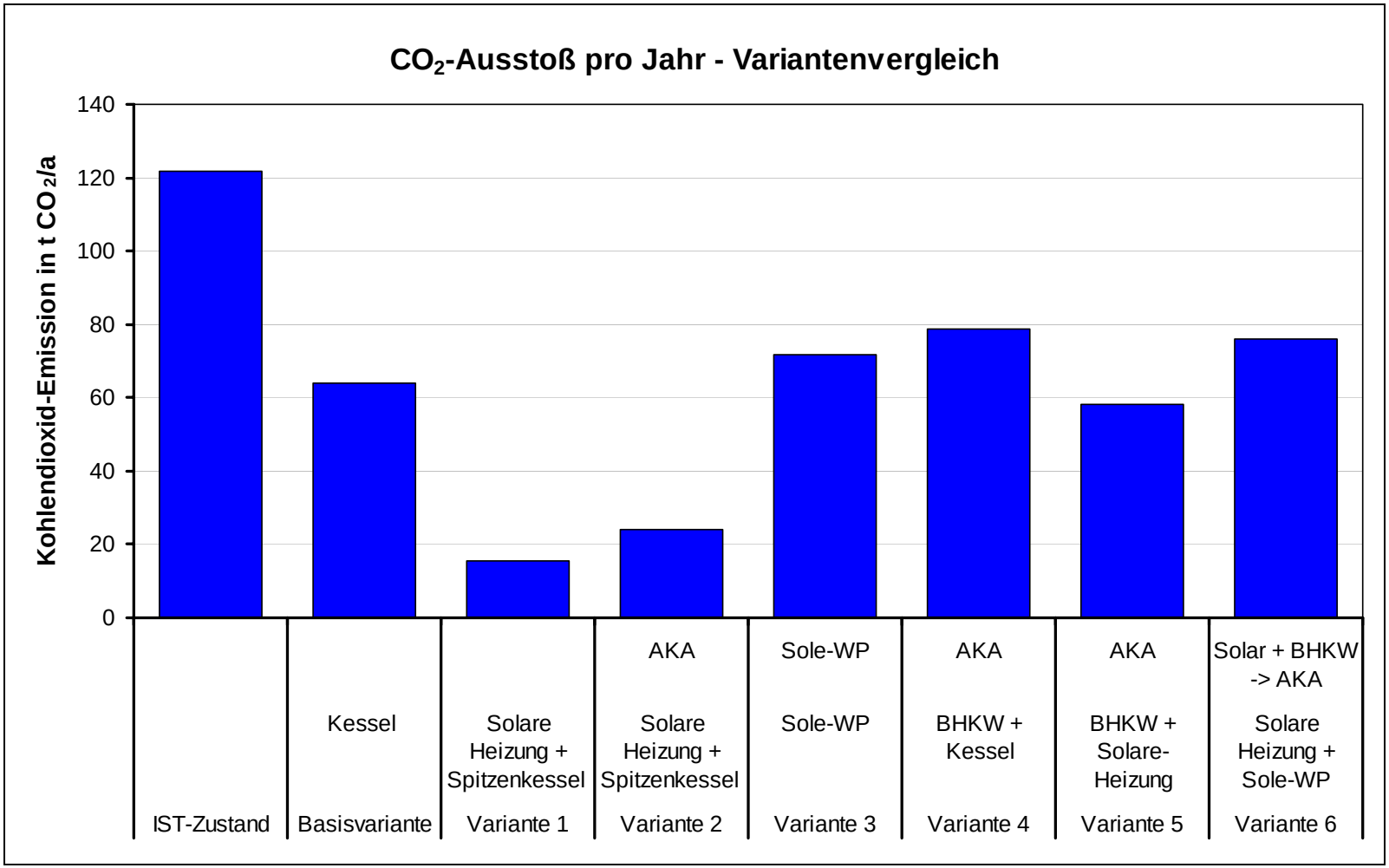

Abbildung 5: CO_2-Emissionsbilanz

Das vorstehende Diagramm zeigt deutlich, dass aus ökologischer Sicht die Varianten mit solarer Beheizung die sinnvollsten sind. Die CO_2-Emissionen, die hier anfallen stammen lediglich aus dem Strom, der für Nebenaggregate (Pumpen, Peripherie der AKA, etc.) benötigt wird.
Der nächst niedrige CO_2-Ausstoß wird von Variante 5 erzielt, da die um den CO_2-Äquivalenten des erzeugten Stromes verminderten Emissionen des BHKW in Zusammenhang mit den kleinen CO_2-Emissionen der solaren Beheizung einen niedrigeren Wert ergeben als beim Zusammenspiel von BHKW und Kessel.
Die beiden Varianten mit der Sole-Wärmepumpe haben etwas höhere CO_2-Emissionen, weil hier Strom zur Beheizung eingesetzt werden muss.
Den höchsten Schadstoffausstoß weist die Basisvariante auf, weshalb deren unter ökologischen Gesichtspunkt Umsetzung keinesfalls zu empfehlen ist.

7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	5 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinentechnik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik, Nahwärmeleitungen	30 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Erdgaspreis, Stand 01.01.2006 (Gasliefervertrag CitySolar – Stadtwerke Bad Kreuznach)

- Arbeitspreis	3,95 Ct/kWh$_{Ho}$
- Leistungspreis für 100 kW	1.278,24 €/Jahr
jedes weitere kW	10,20 €/kW a
Strompreis (gerundet aus HT und NT)	10 Ct/kWh$_{el}$

Strompreis für Wärmepumpe (Anfrage Stadtwerke Bad Kreuznach vom 23.08.06)

- Leistungspreis	10,44 Ct/kWh
- Arbeitspreis	5,20 €/Monat

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel:	2 % der Investition (Heizanlage)
Personalkosten	35 €/h (inkl. MwSt.)

Planung/Unvorhergesehenes	15 % d. Gesamtinvestition

7.1 Investitionskosten

Zunächst werden hier in tabellarischer Form die Investitionskosten (ohne MwSt.) zur Umsetzung der im vorigen Kapitel aufgezeigten Wärme- (und Kälte-) Versorgungsvarianten aufgelistet. Zu beachten gilt, dass nur die Varianten 2 – 6 einen Kälteerzeuger enthalten, also nur sie untereinandervergleichbar sind.

		Basisvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Demontage Heizkessel	€	1.530	1.530	1.530	1.530	1.530	1.530	1.530
Wärmeerzeuger								
Erdgas-NT-Kessel	€	33.750	33.750	33.750		14.740	14.740	
Sole/Wasser - Wärmepumpe	€				53.110			53.110
Erdgas-BHKW	€					36.610	32.860	32.860
solarthermische Anlage	€		719.280	719.280			719.280	719.280
Kälteerzeuger								
Absorptionskälteanlage	€			157.980		157.980	157.980	157.980
Bautechnik								
saisonaler Wärmespeicher	€		262.500	262.500			262.500	262.500
Erdsonden-Bohrungen	€				150.280			150.280
Planung/Unvorhergesehenes	€	5.290	152.560	176.260	30.740	31.630	178.330	206.630
Gesamt-Investitionskosten	**€**	**40.570**	**1.169.620**	**1.351.300**	**235.660**	**242.490**	**1.367.220**	**1.584.170**

Tabelle 10: Investitionskosten

Die Kesselpreise entstammen aktuellen Preislisten für das Jahr 2006 und enthalten Zubehör und Montage. Der Preis für die Sole-Wasser-Wärmepumpe ist ebenfalls ein angefragter Listenpreis für die Wärmepumpe selbst, incl. einem entsprechend großen Speicher (2000 l) mit elektrischem Zuheizer sowie sonstigem Zubehör incl. Montage. Die Preise der BHKWs sind ebenfalls aktuelle Listenpreise incl. Montage/Inbetriebnahme. So auch der Preis für die solarthermische Anlage, der Aufständerung, Kollektoren und sonstiges Zubehör enthält.
Auch bei der Absorptionskälteanlage wurde ein Listenpreis zzgl. Zubehör und Montage angesetzt.
Die Baukosten für den saisonalen Wärmespeicher wurden anhand des Kennwertes 150 €/m³ berechnet.

7.2 Wirtschaftlichkeit

Die folgende Tabelle zeigt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der vorgestellten Varianten.

		IST-Zustand	Basisvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Nennwärmeleistung	kW_{th}	305	150	150	150	160	144	130	155
Investitionskosten	**€**		**40.570**	**1.169.620**	**1.351.300**	**235.660**	**242.490**	**1.367.220**	**1.584.170**
Kapitalkosten	€/a		3.910	104.470	117.030	18.000	18.420	118.560	134.760
Verbrauchskosten	€/a	24.110	12.690	4.450	5.920	12.910	22.100	17.060	12.680
Betriebskosten	€/a	2.700	1.400	16.000	16.700	1.800	4.200	17.900	19.400
Erlöse aus Stromeinspeisung	€/a						17.000	12.000	4.000
Jahreskosten f. Heizen und Kühlen	**€/a**	**26.810**	**18.000**	**124.920**	**139.650**	**32.710**	**27.720**	**141.520**	**162.840**

Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit

Tatsächlich miteinander vergleichbar hinsichtlich der Jahreskosten und damit in ihrer Wirtschaftlichkeit sind nur die Varianten 2 bis 6, da nur sie Beheizung und Klimatisierung gleichzeitig beinhalten. Die Basisvariante und Variante 1 enthalten ein reines Beheizungskonzept.
Es fällt deutlich ins Auge, dass einzig die Varianten 3 (Sole-WP) und 4 (BHKW+Kessel+AKA) Jahreskosten in „diskutabler“ Höhe erzielen können. Dies liegt hauptsächlich darin begründet, dass die Installation einer solarthermischen Anlage von 500 m² Kollektorfläche sowie die zusätzliche Installation eines saisonalen Kies/Wasser-Speichers mit 1.750 m³ Inhalt erhebliche Investitionskosten mit sich bringen, die sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Zur Variante 3 gilt die Anmerkung aus Kapitel 4 zu wiederholen, dass diese Anlagenkonstellation technisch nicht realisierbar ist, da das BHKW mit einer thermischen Leistung von 44 kW_{th} nicht die für den Betrieb der AKA erforderliche Heizleistung von 222 kW bereitstellen kann und ein größeres BHKW nicht mehr in die Wärmeversorgung passt.
Somit bleibt als technisch sinnvolle und wirtschaftlichste Lösungsmöglichkeit die Variante 3 mit der Sole/Wasser-Wärmepumpe übrig.
Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung finden sich im folgenden Diagramm noch einmal visualisiert:

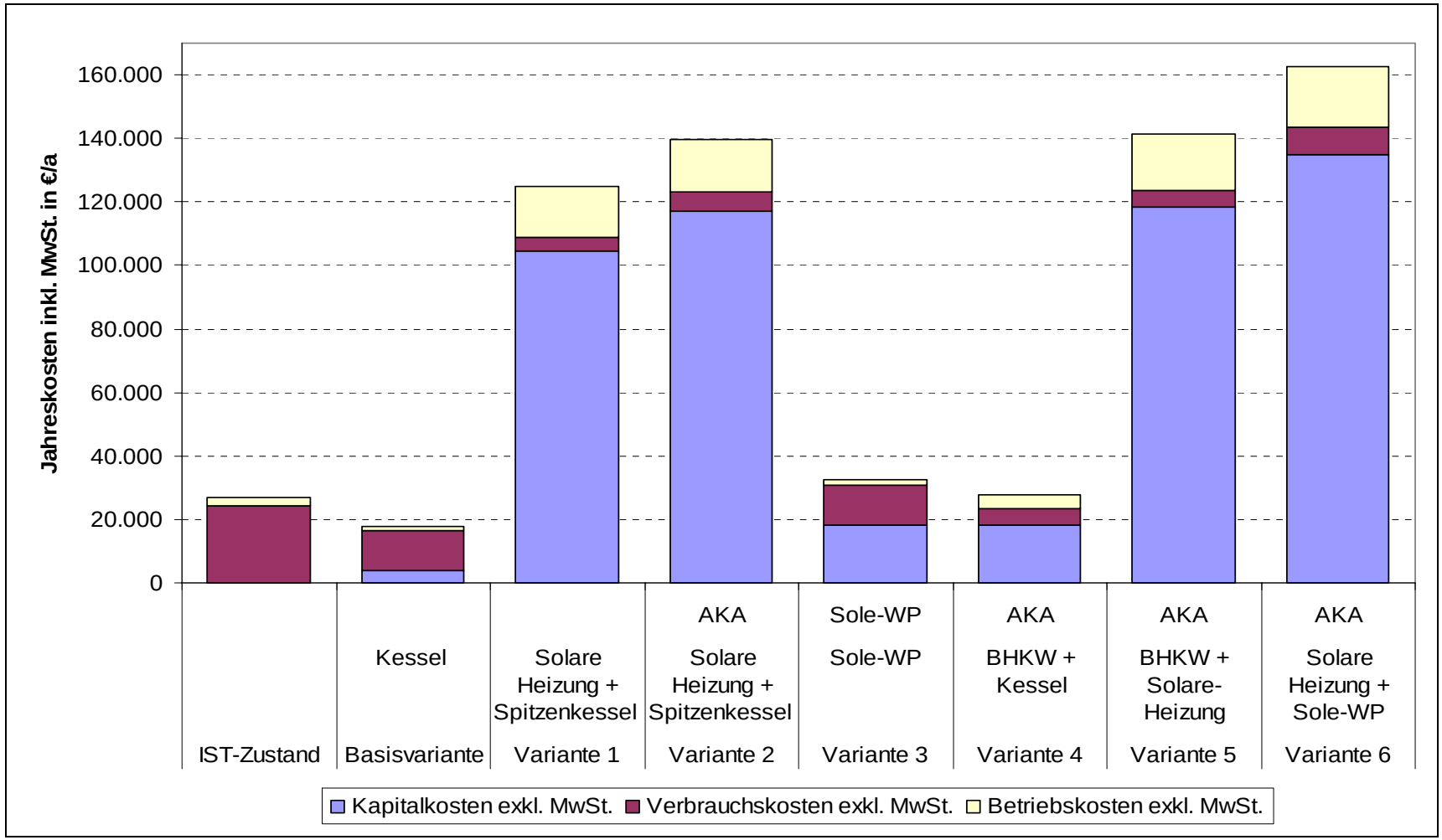

Abbildung 6: Wirtschaftlichkeit - Diagramm

8 Bewertung/Zusammenfassung

Eine Wärmedämmung wird entsprechend der am Standort gegebenen baulichen Möglichkeiten vorgenommen. Das heißt, dass im Bereich der Vorhangfassade im Obergeschoss und der Brüstung im Untergeschoss nur begrenzte Dämmstärken realisierbar sind, ohne einen unwirtschaftlichen Komplett-Austausch der Fassade. Es kommen hier als Materialien Mineralfaser mit WLG 035 und Polyurethan mit WLG 025 zum Einsatz. Im Bereich der Fenster werden die Rahmen mit entsprechenden Elementen gedämmt und das Glas wird gegen Glas mit U = 1,1 W/(m²K) ausgetauscht. Das Dach erhält eine Dämmung aus feuchte-resistentem Polyurethan der WLG 030.

Bezüglich Energieversorgung ist aus wirtschaftlicher Sicht eindeutig die Variante 3 mit der Sole/Wasser-Wärmepumpe zu empfehlen. Sie bringt die niedrigsten Jahreskosten mit sich, ist technisch realisierbar und beinhaltet ein vergleichsweise einfaches Konzept zur gleichzeitigen Gebäude-Beheizung und –Kühlung.
Die Variante 4 hat zwar noch niedrigere Jahreskosten – was aber eigentlich nur in der Strom-Vergütung für den BHKW-Strom begründet liegt – ist aber in dieser Form (s.o.) technisch nicht realisierbar.
Alle Varianten, die eine solare Beheizung beinhalten sind aufgrund der hohen Investitionskosten für die solarthermische Anlage und den saisonalen Speicher zunächst einmal wirtschaftlich nicht sinnvoll. Diese hohen Investitionskosten stehen in keinem Verhältnis zu den sonst sehr günstigen Verbrauchskosten. Die Grafik zeigt auch, dass mit zunehmender Anlagen-Anzahl innerhalb einer Variante die Kosten für den Betrieb stark ansteigen, was ebenfalls in besagten Varianten erkennbar wird.
Zudem sollte bei der simultanen Verwendung mehrerer Wärmeerzeugungsanlagen darauf geachtet werden, dass diese sich durch deren Betriebscharakteristik nicht gegenseitig beeinflussen. Dies hätte „unter dem Strich“ vergleichsweise hohe Mehrkosten an Investitionen bei gleichzeitig nur marginal höherem Mehrnutzen zum Ergebnis (Bsp: gleichzeitige Installation von Wärmepumpe und BHKW).

Aus ökologischer Sicht wären die Varianten mit solarer Wärmeversorgung durchaus zu befürworten, da sie insgesamt die niedrigsten CO_2-Emissionen haben.

Um ein wirtschaftlich sinnvolles und technisch vergleichsweise leicht zu beherrschendes Wärmeversorgungskonzept zu installieren wäre die Variante 3 zu empfehlen. Deren Nachteile hinsichtlich CO_2-Emissionen und Strom-Kosten könnten durch die Installation einer PV-Anlage gemindert werden. Für die Gewährleistung einer elektrischen Versorgungssicherheit im Verwaltungsgebäude der CitySolar AG ist die Installation eines entsprechenden Notstrom-Aggregates denkbar.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wärmebedarf IST-Zustand 4
Tabelle 2: U-Werte nach Dämmung 8
Tabelle 3: Einsparpotential nach Dämmung 9
Tabelle 4: Wärmebedarf nach Dämmung 9
Tabelle 5: Kälte nach Dämmung 10
Tabelle 6: Bedarf gesamt nach Dämmung 10
Tabelle 7: Varianten-Übersicht 11
Tabelle 8: Energiebilanz-Übersicht 19
Tabelle 9: CO_2-Emissionen – Tabelle 20
Tabelle 10: Investitionskosten 24
Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit 25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wärmeverluste nach Baugruppen - Verwaltungsgebäude 7
Abbildung 2: Wirkungsgrad verschiedener Systeme (Quelle: Öko-Institut) 13
Abbildung 3: Vakuum-Röhrenkollektor 14
Abbildung 4: Schemazeichnung Absorptionskältemaschine (Quelle: BHKW-Infozentrum) ... 15
Abbildung 5: CO_2-Emissionsbilanz 21
Abbildung 6: Wirtschaftlichkeit - Diagramm 26

9 Anlage: EnEV-Berechnung