

## Konzeptstudie

zur Wärmeversorgung eines Mehrfamilienhauses durch saisonale  
Wärmespeicherung.

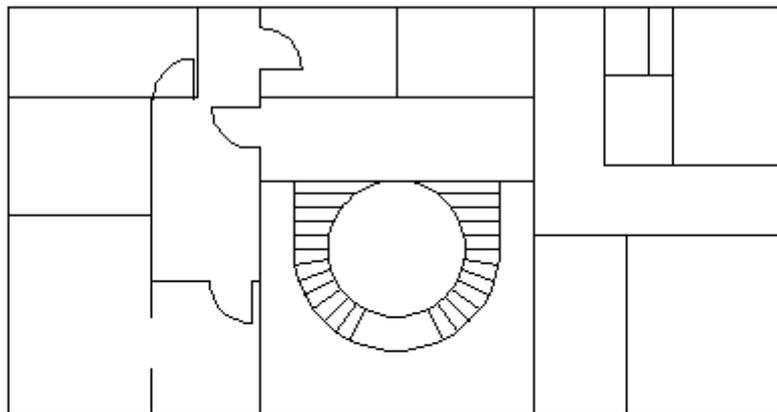
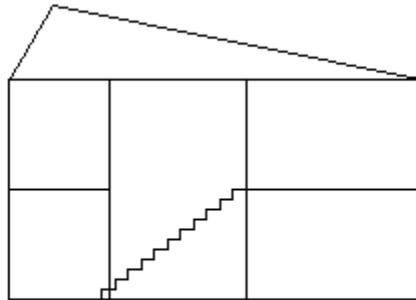




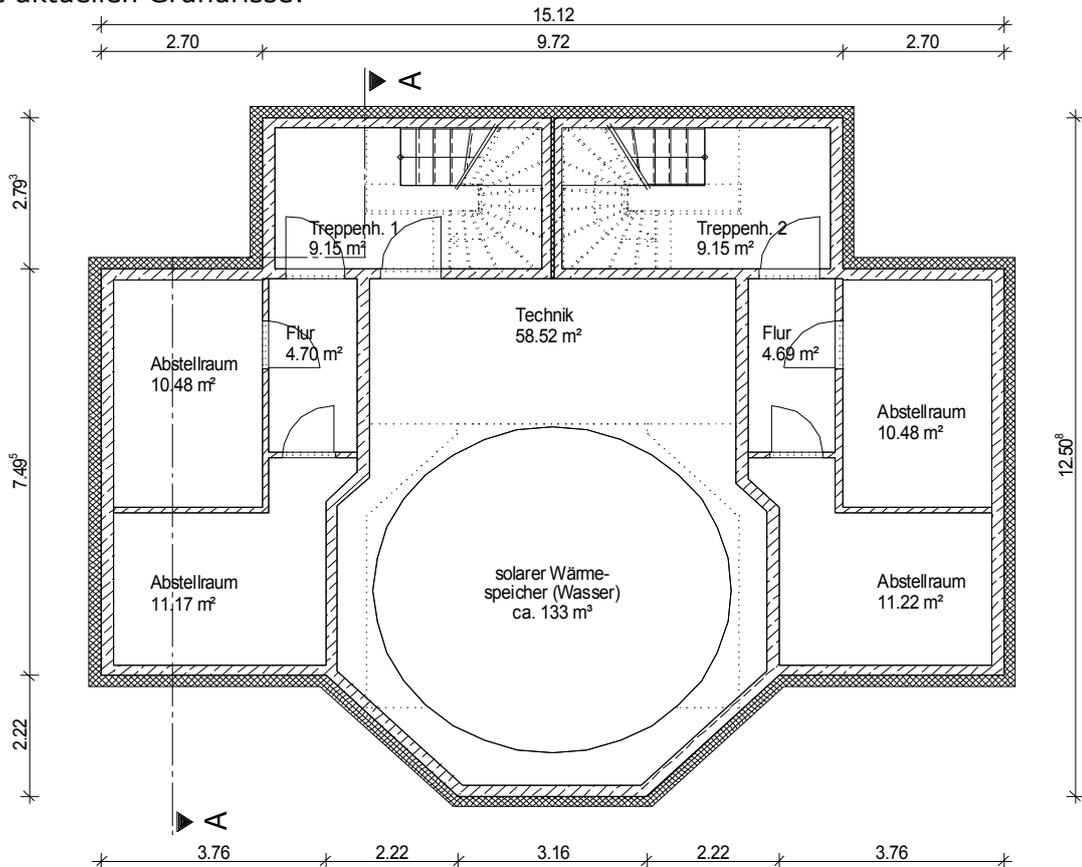
Die hier vorgestellte Projektarbeit zeigt ein Mehrfamilienhaus in Holzbauweise, dessen Wärmebedarf zu rund 95% mit direkter oder saisonal gespeicherter Solarenergie gedeckt wird.

Zusammen mit Michaela Kast erarbeiteten wir ein Raumkonzept, das diesen Anforderungen gerecht werden sollte. Im Besonderen die zentrale Integration des Solarspeichers, der hohe Anspruch an den Wärmeschutz, sowie die Anbringung des Kollektorfeldes stellten die größten Herausforderungen dar. Dazu kamen Ansprüche an eine behindertengerechte Gestaltung und ein variables Raumkonzept. Letzteres erlaubt das Zusammenlegen der zwei Einzelwohnungen pro Etage zu einer großen Wohneinheit.

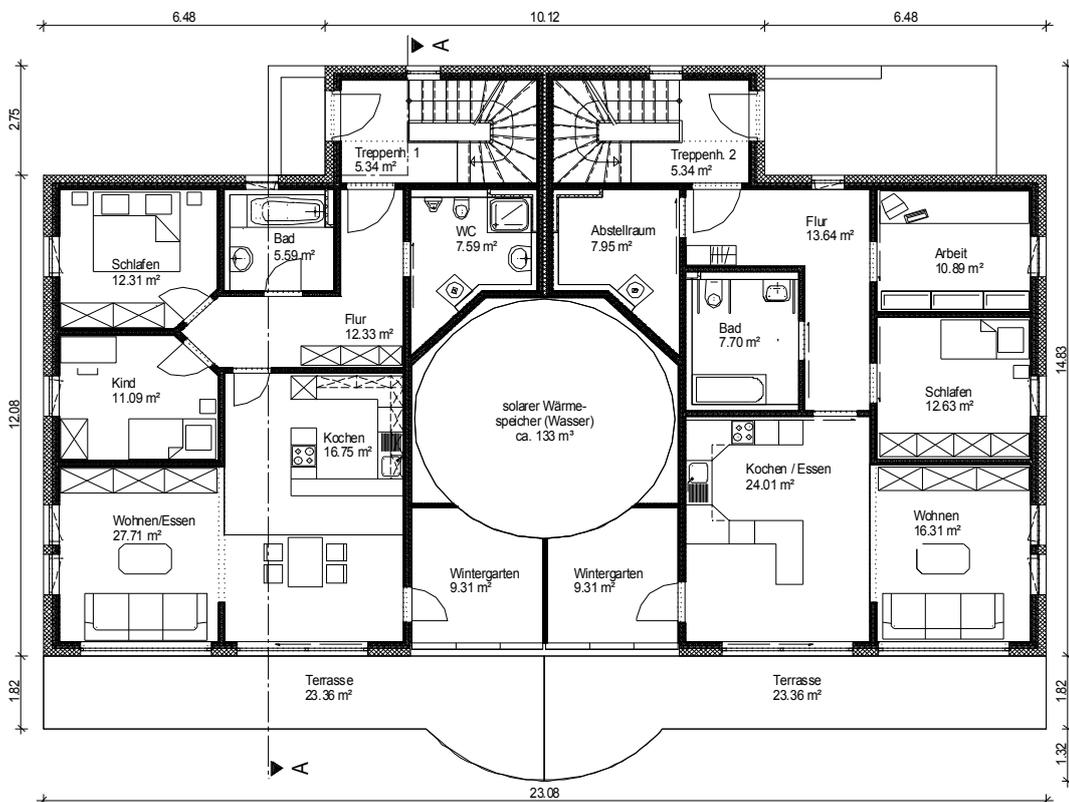
Hier ein erster Entwurf:



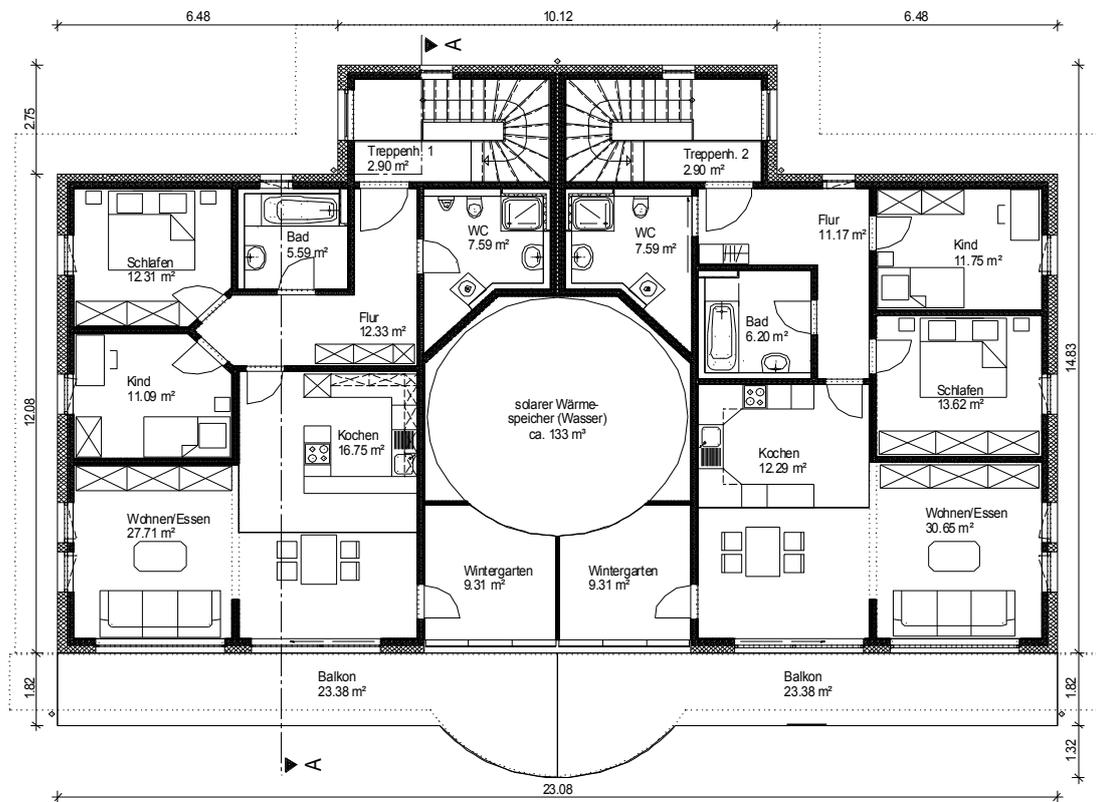
Die aktuellen Grundrisse:



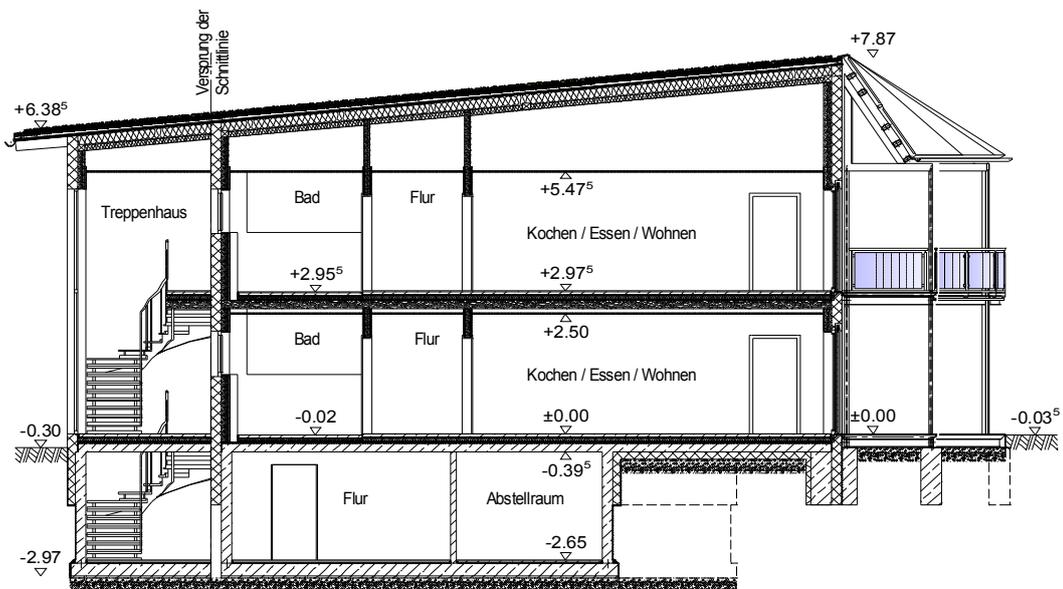
Kellergeschoß



Erdgeschoß

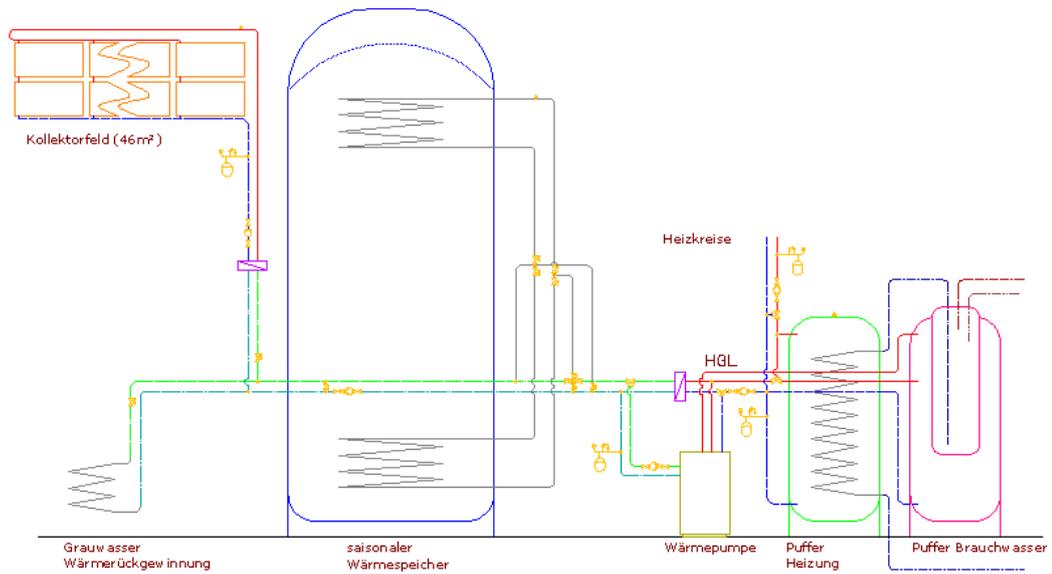


### Obergeschoß

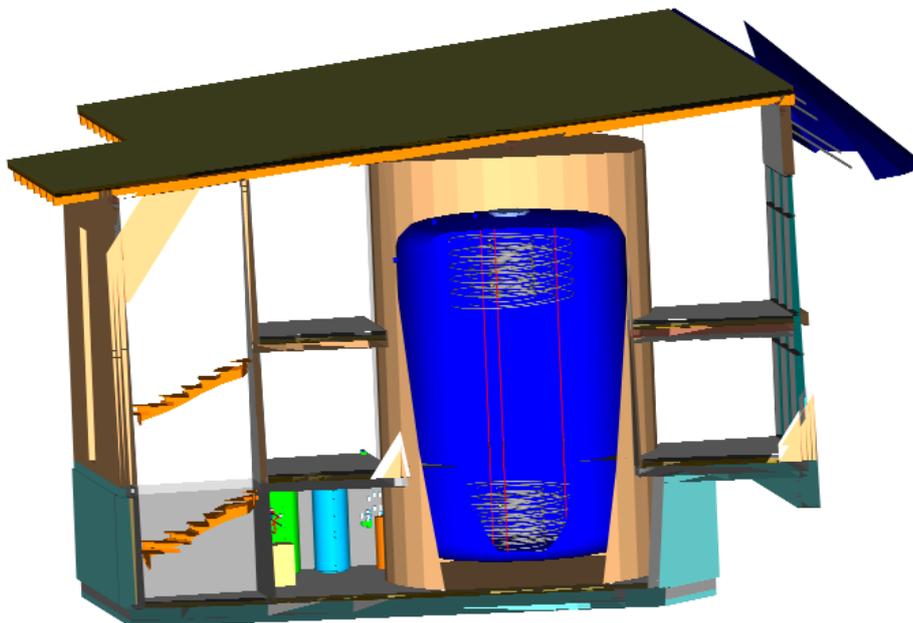


### Schnitt A-A

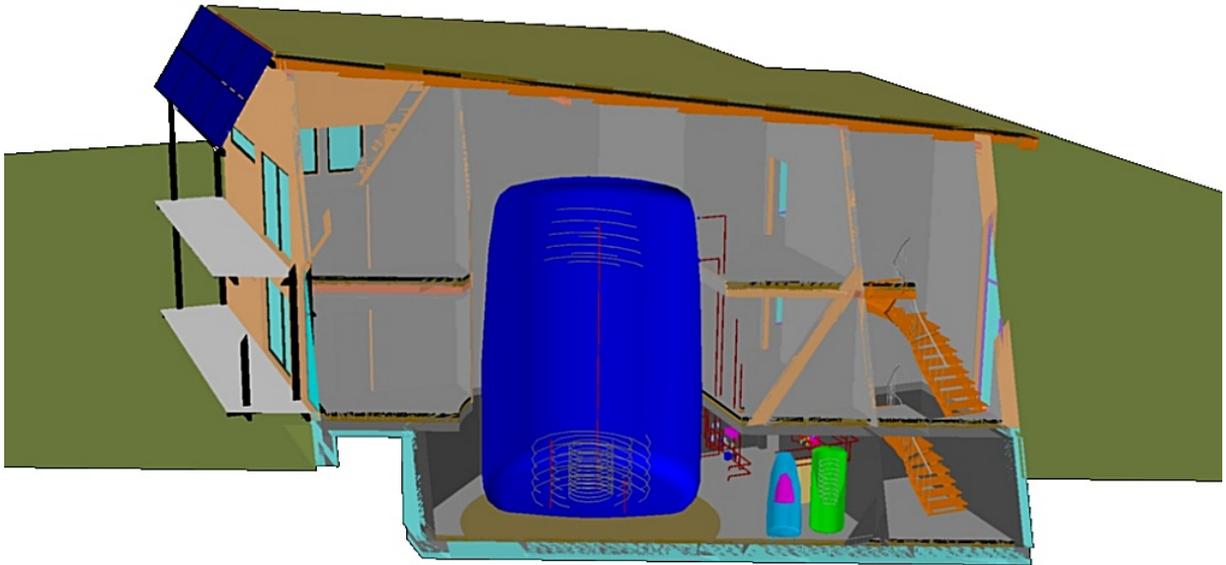
## Solar-Hydraulik



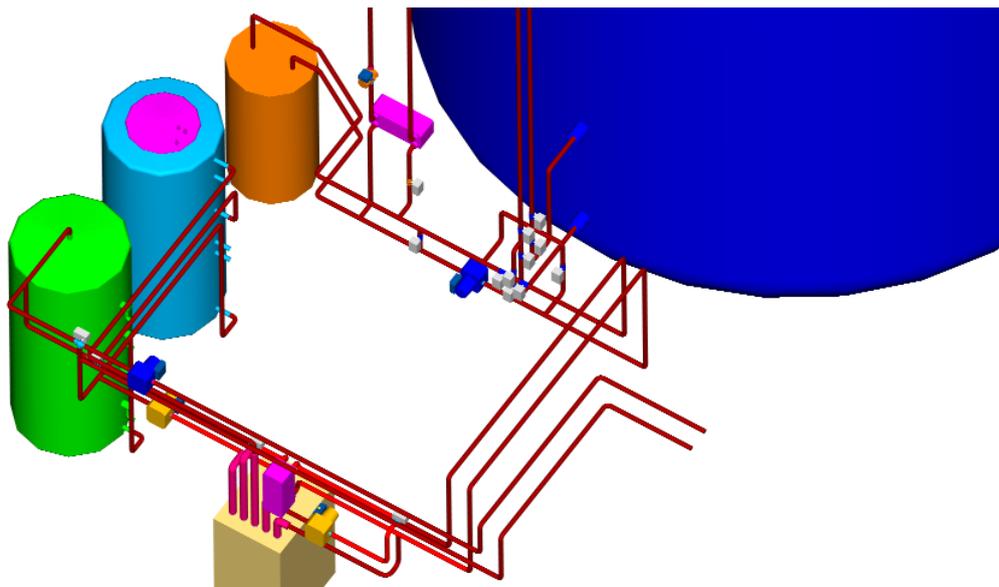
## Anlagenschema



3D-Schnitt 1



3D-Schnitt 2



Technikraum Perspektive

## Solarpuffer

Für die Auslegung von Puffer und Solarkollektoren waren drei zu definierende Größen aufeinander abzustimmen:

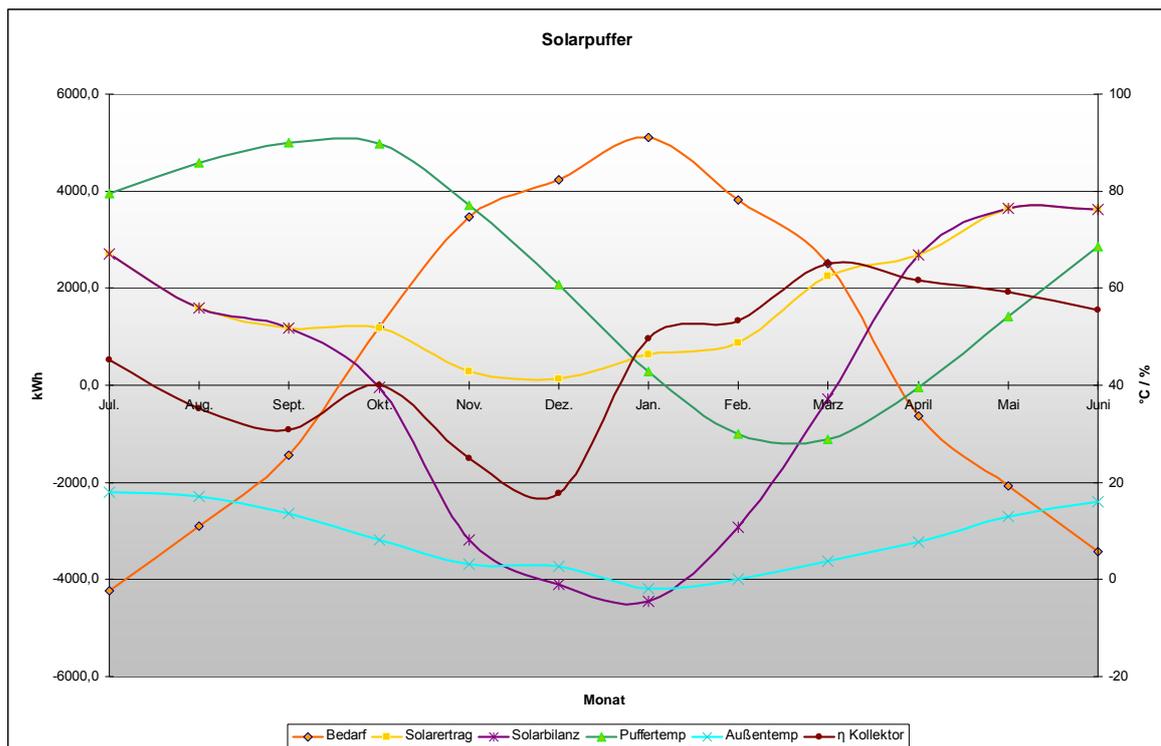
- Das Puffervolumen (Speicherkapazität)
- Die Kollektorfläche
- Der  $H_{\text{Geb}}$ -Wert des Gebäudes (im Rahmen der Projektarbeit Bau)

Ziel der Auslegung war es, Kollektorfläche, Puffergröße und  $H_{\text{Geb}}$ -Wert so überein zu bringen, dass keine nennenswerte Überschüsse / Defizite an Solarenergie bzw. Pufferkapazität entstehen.

Um dabei die Puffergröße in akzeptablen Größen zu halten, soll eine möglichst große Temperaturspanne im Puffer erreicht werden. Dies lässt sich zunächst durch niedrigere Systemtemperaturen für das Heiznetz erreichen.

In der ersten Auslegung (ohne Keller) ergab sich ein  $H_{\text{Geb}}$ -Wert von 403 Watt/K.

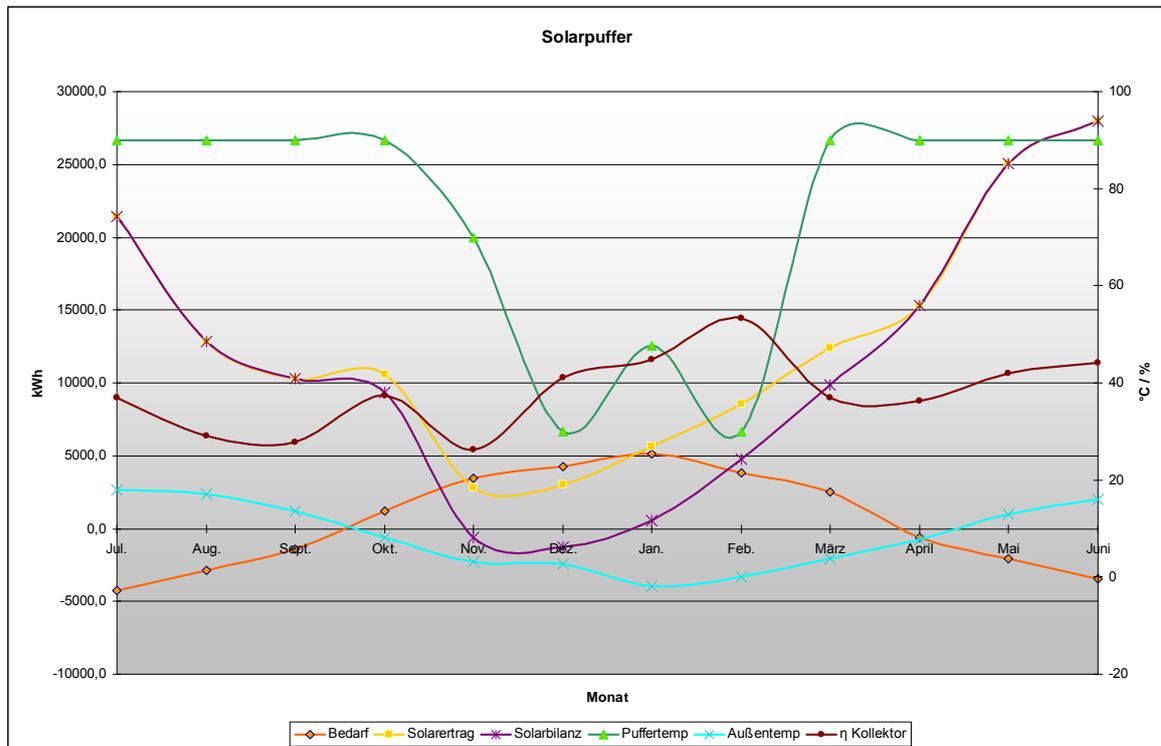
Um den Bedarf bis zu einer maximalen Systemtemperatur von 30°C (Brauchwasser zunächst unberücksichtigt) vollständig und ausschließlich mit saisonaler Solarenergie zu decken, wäre eine Puffer-/Kollektorgröße von:



36m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 215m<sup>3</sup> Puffervolumen,  $\Delta\vartheta$  60K bei optimaler Kombination erforderlich.

Optimal bedeutet, dass sich aus der Kollektorfläche keine Überkapazitäten ergeben. Der Puffer ist gerade dann vollständig geladen, wenn bereits seine Entladung beginnt. Zusammen mit dem Kollektor deckt er dann den Bedarf, bis das gemeinsame Kapazitäts-Minimum erreicht ist.

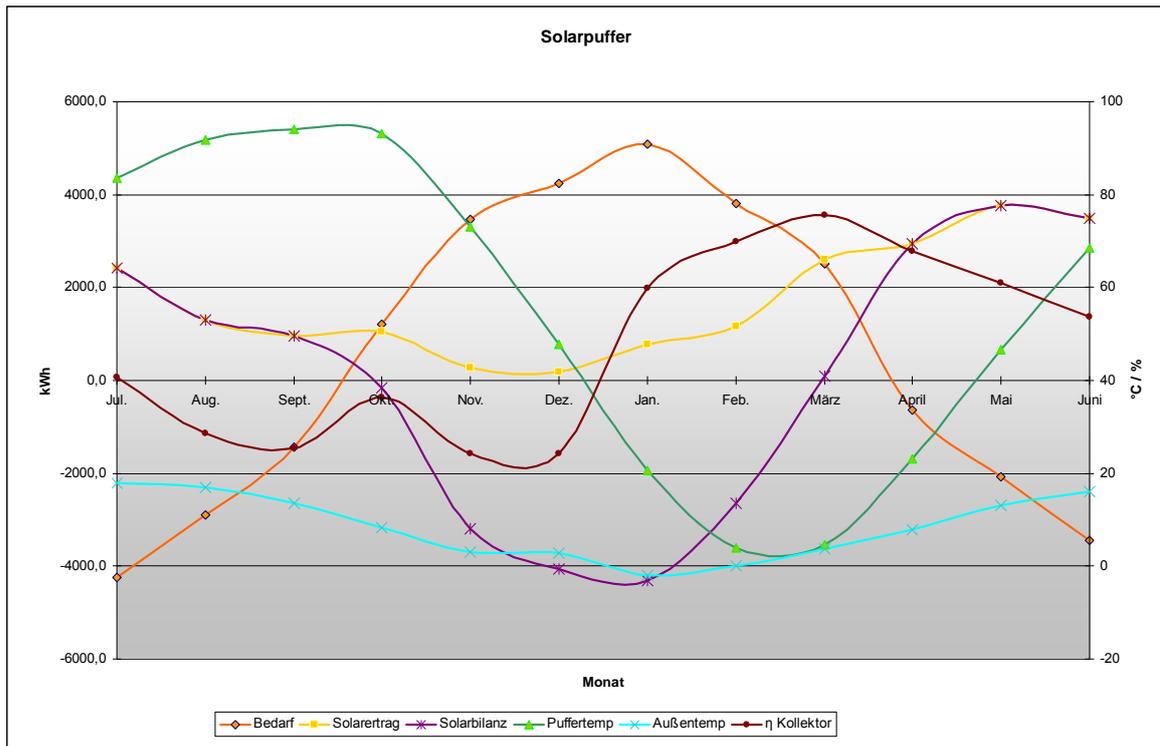
Im Vergleich hierzu eine Kombination, die auf einen möglichst kleinen (bzw. keinen) Puffer abzielt:



350m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 26,6m<sup>3</sup> Puffer, Δθ 60K (ab etwa 540m<sup>2</sup> wäre kein Puffer mehr nötig).

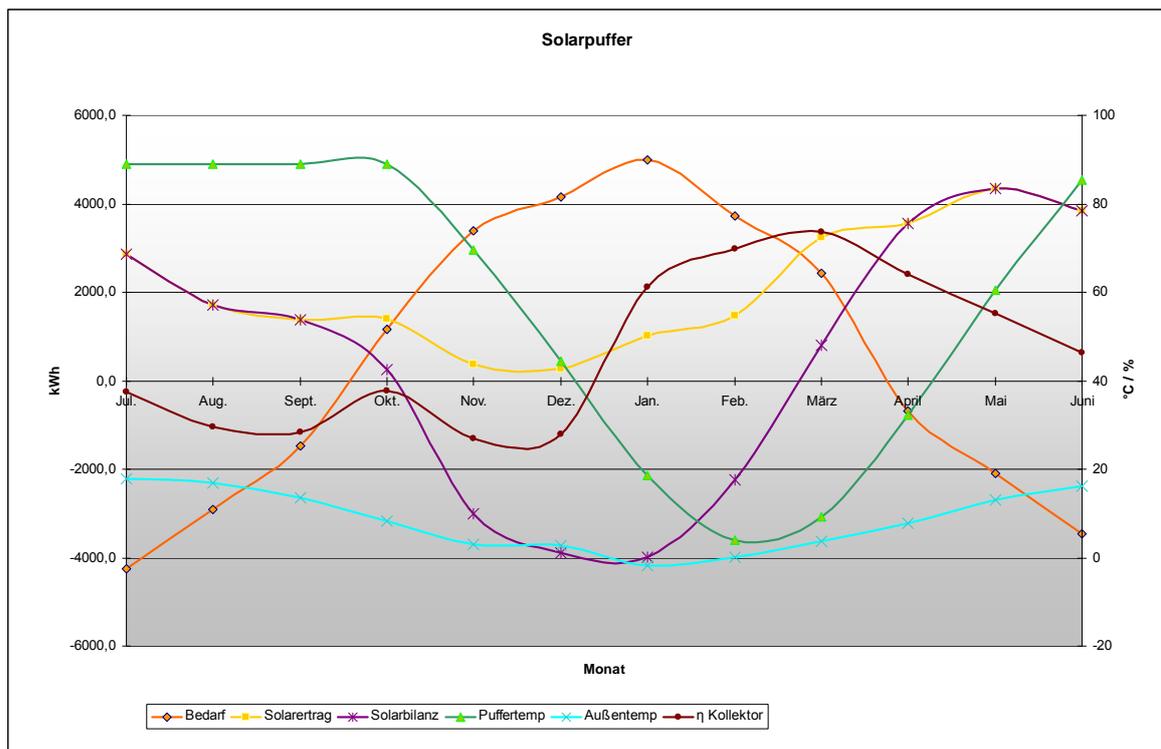
Der Vergleich zeigt, dass sich die Größe des Puffers zwar deutlich verringern lässt, jedoch nur gegen ein entsprechend großes Kollektorfeld und mit dem Nachteil, dass der Kollektor bereits ab März Überkapazität liefert.

Bisher liegt die Mindesttemperatur des Puffers bei der maximalen Systemtemperatur. Die Kapazität des Puffers lässt sich erhöhen, wenn die thermische Spannweite erweitert wird. Das kann jedoch nur erreicht werden, indem das Temperaturniveau bei Bedarf mittels Wärmepumpe hochtransformiert wird. Die wirksame Temperaturspanne im Puffer lässt sich damit auf rund 90K ausdehnen (95°C max / 5°C min), womit sich folgende Kombination ergibt:



36m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 138m<sup>3</sup> Puffervolumen,  $\Delta\vartheta$  90K

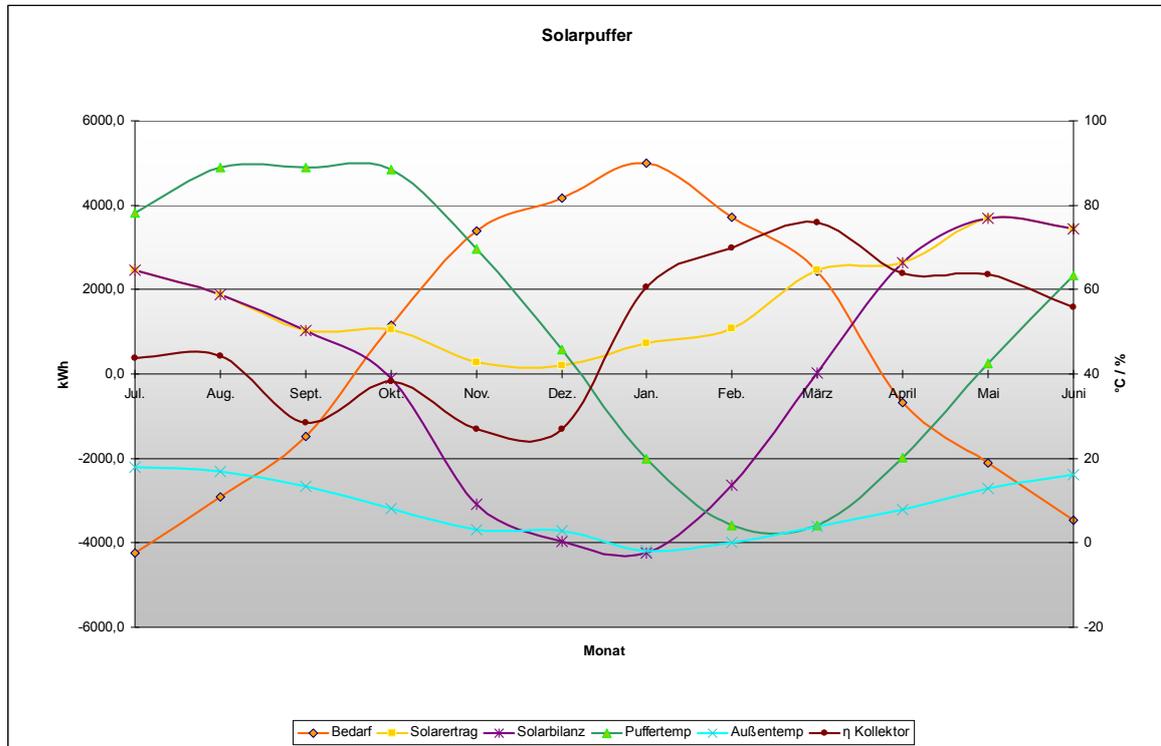
Nach einigen baulichen Veränderungen (Keller + Verbesserung der Dämmung) ergab sich ein neuer  $H_{\text{Geb}}$ -Wert von 396W/K. Die Anbringung des Kollektorfeldes und der Raumbedarf für den Puffer sollten für die Bauplanung festgesetzt werden. Wir einigten uns auf 46m<sup>2</sup> Kollektorfläche und 133m<sup>3</sup> Pufferkapazität bei einer Temperaturspanne von 85K, wodurch sich folgendes Diagramm ergibt:



46m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 133m<sup>3</sup> Puffer,  $\Delta\vartheta$  85K

Der waagrechte Verlauf der Puffertemperatur von Juli bis September zeigt den leichten Überschuss an Solarenergie, der aus der Reserve des Kollektors resultiert.

Zur Ergänzung die Idealkombination:



34m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 142 m<sup>3</sup> Puffervolumen, Δθ 85K

## Wendel-Wärmetauscher

Grundsätzlich kann der saisonaler Speicher ohne integrierte Tauscher betrieben werden. Aus technischem Anspruch wurde das Modell mit Tauscher berechnet.

Beide Wendeltauscher dienen sowohl zum Ein- wie auch zum Ausbringen von Wärmeenergie, wobei die Leistung des Kollektorfeldes hauptsächlich vom unteren Tauscher übertragen werden muss. Bei ausgekühltem Puffer soll ein Teil der Kollektorleistung durch den oberen Tauscher übertragen werden, um rasch ein höheres, direkt nutzbares Temperaturniveau zu erreichen.

Die Leistung des Kollektortauschers (Systemtrenner) wurde mit 43 KW bei  $\Delta\vartheta$  5K angesetzt. Dieser Wert wird zunächst für den Wendeltauscher übernommen, so dass im Gesamten ein  $\Delta\vartheta$  von 10K zwischen Kollektoren und Puffer erforderlich ist, um die Leistung zu übertragen.

$$P = U * A * \Delta\vartheta; U = 1/(1/\alpha_i + d/\lambda R + 1/\alpha_a)$$

$$\lambda \sim 70 \text{ W/mK (Stahl)}$$

$$\alpha_i 600 \text{ W/m}^2\text{K (erzwungenen Strömung, Wasser, ungünstig, Tabelle)}$$

$$\alpha_a 200 \text{ W/m}^2\text{K (freie Strömung, Wasser, ungünstig, Tabelle)}$$

$$P = 43 \text{ KW}$$

$$\Delta\vartheta = 5\text{K}$$

$$s \text{ Stahl} = 2 \text{ mm}$$

$$A = P / (U * \Delta\vartheta)$$

$$A = 43000 \text{ Watt} / ((1/(1/600 \text{ W/m}^2\text{K} + 0,002\text{m}/70\text{W/mK} + 1/200\text{W/m}^2\text{K}))*5\text{K})$$

$$A = 57,6 \text{ m}^2$$

Bei einem Rohr 28x2 (0,0880m<sup>2</sup>/m) würden somit: 57,6m<sup>2</sup> / 0,0880m<sup>2</sup>/m = **655m** Rohr erforderlich.

Bei günstiger Betrachtung:

$$\alpha_i 2000 \text{ W/m}^2\text{K (erzwungenen Strömung, Wasser, ungünstig, Tabelle)}$$

$$\alpha_a 800 \text{ W/m}^2\text{K (freie Strömung, Wasser, ungünstig, Tabelle)}$$

$$P = 43 \text{ KW}$$

$$\Delta\vartheta = 5\text{K}$$

$$A = 43000 \text{ Watt} / ((1/(1/2000 \text{ W/m}^2\text{K} + 0,002\text{m}/70\text{W/mK} + 1/800\text{W/m}^2\text{K}))*5\text{K})$$

$$A = 15,29 \text{ m}^2$$

$$15,29 \text{ m}^2 / 0,0880\text{m}^2/\text{m} = \mathbf{173\text{m}}$$

Konstruktiv kann der Wendeltauscher aus drei parallelen Rohrwendeln unterschiedlichen Durchmessers und unterschiedlicher Steigung bestehen, so dass die Drei Wendeln gleiche Länge haben und nach Tichelmann verschaltbar sind.

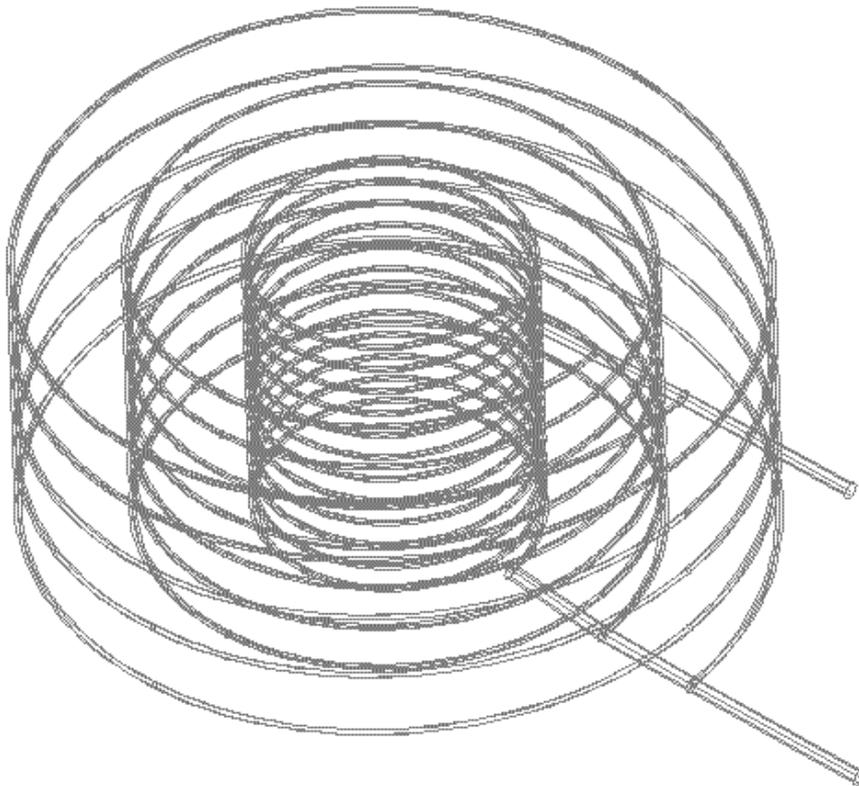
Gemäß der Zeichnung:

Wendellänge: 39m

Anzahl Wendeln: 3

Gesamtlänge: 117m

Gesamt-Oberfläche (28x2): 10,3 m<sup>2</sup>



Die Formeln zur Wärmeübertragung im Excel-Sheet, ergänzt durch Formeln zur Berechnung des inneren Wärmeübergangskoeffizienten:

|                                 |                |                   |        |
|---------------------------------|----------------|-------------------|--------|
| Leistung [W]                    | <b>43000</b>   |                   |        |
| Volumenstrom [l/h]              | <b>1433</b>    |                   |        |
| $\alpha_i$ [W/m <sup>2</sup> K] | <b>4244</b>    | v [m/s]           | 0,88   |
| $\alpha_a$ [W/m <sup>2</sup> K] | <b>600</b>     | ln $\emptyset$    | 0,15   |
| $\lambda$ [W/mK]                | <b>60</b>      | ln $\vartheta$    | 77,47  |
| $\vartheta_a$ [K]               | <b>75</b>      | U-Wert            | 44,48  |
| $\vartheta_i$ [K]               | <b>80</b>      | $\Delta\vartheta$ | 5,00   |
| da [mm]                         | <b>28</b>      |                   | 0,03   |
| di [mm]                         | <b>24</b>      |                   | 0,02   |
|                                 |                |                   | 0,0005 |
| Länge [m] ?                     | <b>193,337</b> |                   |        |

|                                 |             |                                 |
|---------------------------------|-------------|---------------------------------|
|                                 | Re>2320     | $\vartheta < 100^\circ\text{C}$ |
| $\alpha_i$ [W/m <sup>2</sup> K] | 4244,43731  | Schack                          |
| $\alpha_i$ [W/m <sup>2</sup> K] | 10738,5074  | Stender/Merkel                  |
| $\alpha_a$ [W/m <sup>2</sup> K] | freie Konv. | 600...2000                      |
| $\lambda$ [W/mK]                | Stahl       | 46...70                         |

|                                 |                  |                   |       |
|---------------------------------|------------------|-------------------|-------|
| Länge [m]                       | <b>120</b>       |                   |       |
| $\alpha_i$ [W/m <sup>2</sup> K] | <b>4244</b>      |                   |       |
| $\alpha_a$ [W/m <sup>2</sup> K] | <b>600</b>       | ln $\emptyset$    | 0,15  |
| $\lambda$ [W/mK]                | <b>60</b>        | ln $\vartheta$    | 78,93 |
| $\vartheta_a$ [K]               | <b>75</b>        | U-Wert            | 44,48 |
| $\vartheta_i$ [K]               | <b>83</b>        | $\Delta\vartheta$ | 8,00  |
| da [mm]                         | <b>28</b>        |                   | 0,03  |
| di [mm]                         | <b>24</b>        |                   | 0,02  |
| Leistung [W] ?                  | <b>42702,705</b> |                   |       |

Wie daraus ersichtlich wird lässt sich die Leistung beim gegebenen Tauscher nur zu Lasten des  $\Delta\vartheta$  übertragen.

Auch deutlich zu sehen: Die Unterschiede zu den reinen Tabellenwerten.

Es entsteht ein wirksames  $\Delta\vartheta$  zwischen Kollektor und Pufferinhalt von  $5+8 = 13$  K.

Als Konsequenz ergibt sich daraus:

Der Korrekturfaktor für die Kollektorauslegung muss auf 13K erhöht werden (siehe Pufferauslegung4).

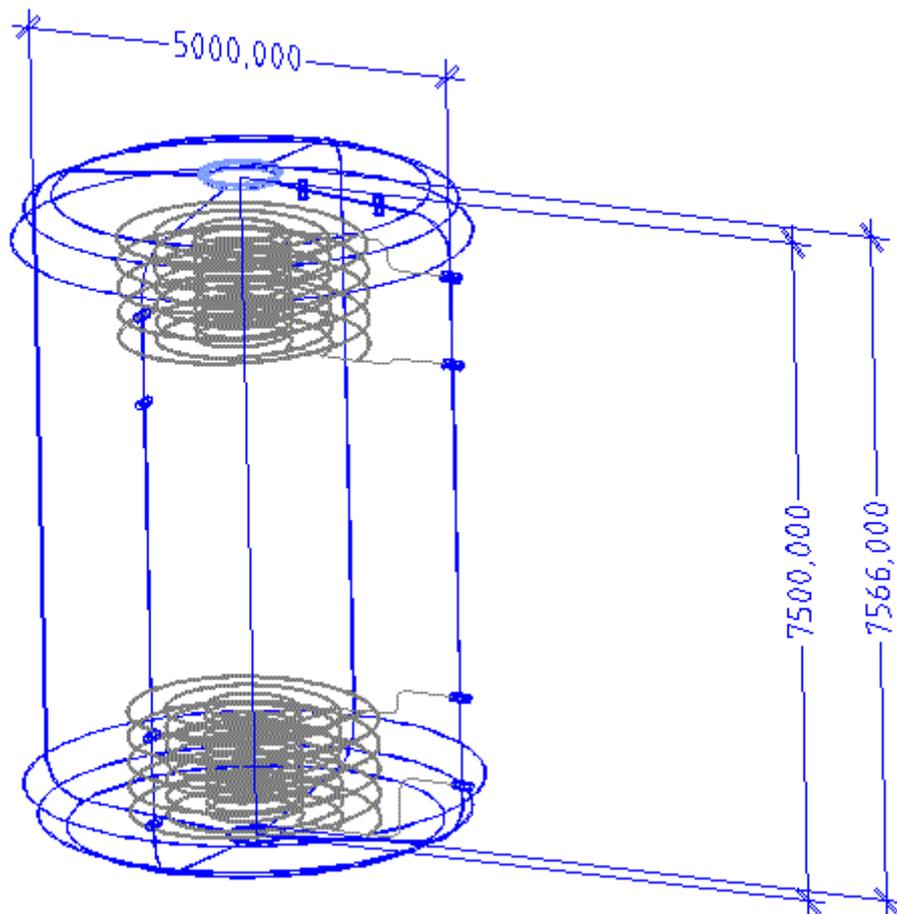
## Pufferdaten

Höhe Puffer: 7,50 m  
Höhe Puffer total: 7,566 m  
Durchmesser: 5,0 m

erforderliches Ausdehnungsvolumen (90K): 5700 Liter  
Bruttovolumen: 139000 Liter  
Nettovolumen: 133300 Liter

thermische Speicherkapazität (85K, Wasser): 13187 kWh

Oberfläche: 145,48 m<sup>2</sup>



Schichtaufbau mit Dämmung:

Stahl, Lambda 60 W/mK: 3 mm

Armaflex-Dämmung, Lambda 0,030 W/mK: 30 mm

mineralische Dämmung, Lambda 0,030 W/mK: 500 mm

Holzfasерplatte, Lambda 0,060 W/m: 20 mm

Sperrholzplatte, Lambda 0,150 W/mK: 10 mm

U-Wert: 0,063 W/m<sup>2</sup>K

maximal wirksame Temperaturdifferenz: (85-20) 65K

Speicherverlust pro Tag bei voller Ladung:

$$((0,055 \text{ W/m}^2\text{K} * 145,48 \text{ m}^2 * 65 \text{ K} * 24 \text{ h}) / 1000 \text{ W/KW}) = 12,48 \text{ kWh/d}$$

## SOLARKOLLEKTOR

Vergleich verschiedener Kollektoren:

Die Auslegung der Hydraulik erfolgt auf highflow, da die für lowflow erforderlichen Temperaturdifferenzen mit zunehmender Ladung des Puffers nicht mehr erreicht werden.

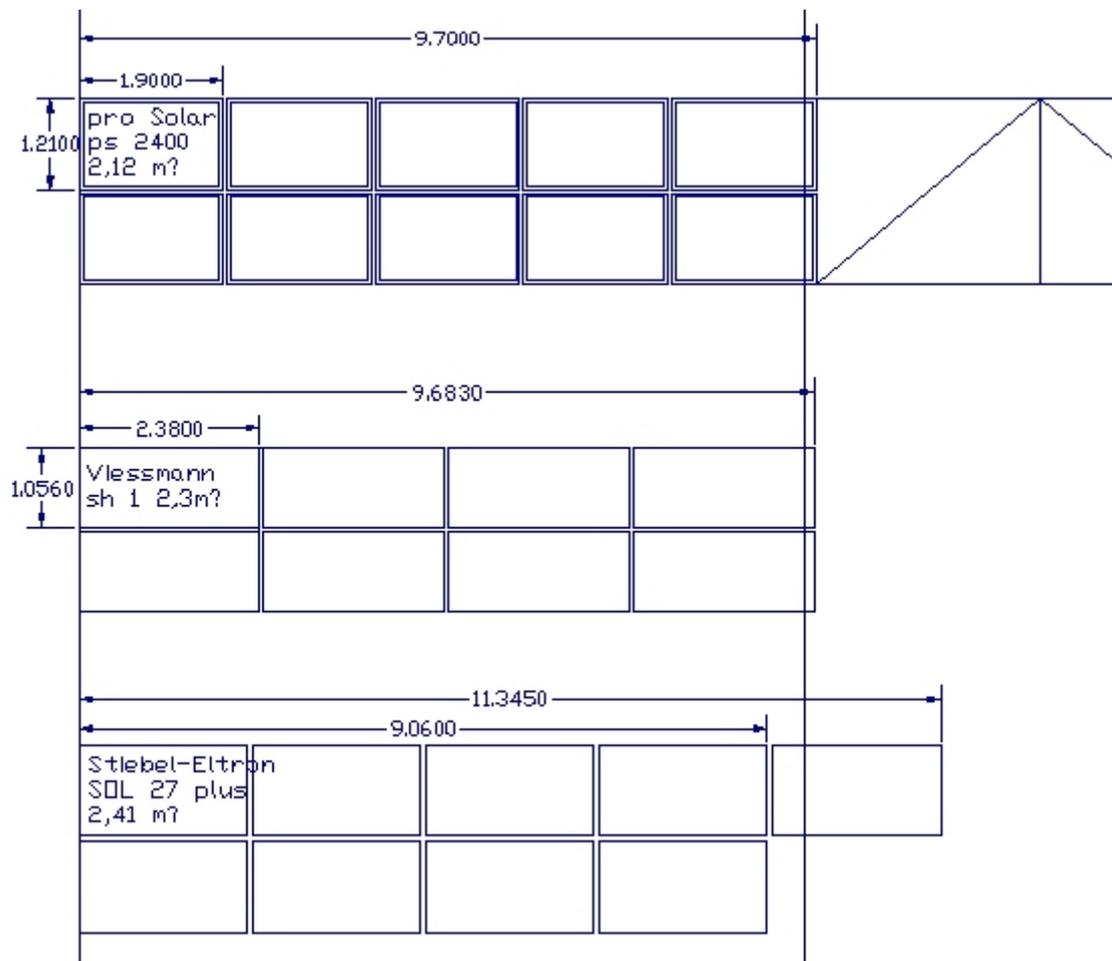
Zudem soll bei niedrigerem Temperaturniveau des Puffers die Temperatur des Kollektors nicht unnötig erhöht werden, woraus sich ein besserer Kollektor-Wirkungsgrad ergibt.

Ermittlung des Massenstroms:  $(45 \text{ kW} * 3600 \text{ s/h}) / (c 3,8 \text{ kJ/KgK} * 10 \text{ K}) = 4264 \text{ l/h}$   
~4300 l/h

4300 l/h / 16 Kollektoren = 268,75 l/Kollektor

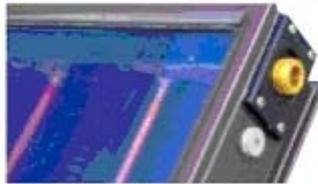
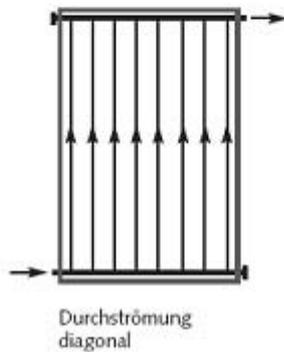
4300 l/h / 20 Kollektoren = 215 l/Kollektor

Vergleich der Abmessungen:



pro-Solar:

### Montagehinweise für ps 2400 HighLine



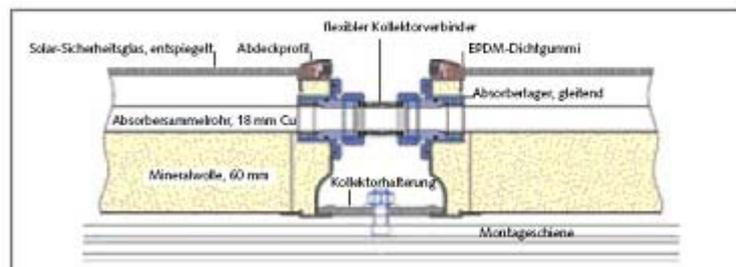
Gleitend gelagertes Absorbersammelrohr 3/4" AG



Flexible Kollektorverbindung

Der Hochleistungs-Flachkollektor ps 2400 HighLine eignet sich für die Flachdach- oder Wandmontage ebenso wie für die Installation auf dem Schrägdach. Bei Bedarf ist auch die Aufständering auf einem flach geneigten Dach möglich. Neben der standardmäßigen Montage im Hochformat ist jederzeit die Quermontage möglich.

| Technische Daten: HighLine |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| Maße (LxBxH)               | 1,90 m x 1,21 m x 0,10 m |
| Leergewicht                | 40 kg                    |
| Kollektorfläche            | 2,30 m <sup>2</sup>      |
| Absorberfläche             | 2,12 m <sup>2</sup>      |
| Flüssigkeitsinhalt         | 1,5 l                    |



Schematische Darstellung ps 2400 HighLine

eta: 0,83

Preis: 349,-/m<sup>2</sup> Absorberfläche

Inhalt: 20x 1,5 l = 30 l

Insgesamt 20 Kollektoren möglich; GesamtabSORberfläche: 42,4 m<sup>2</sup>

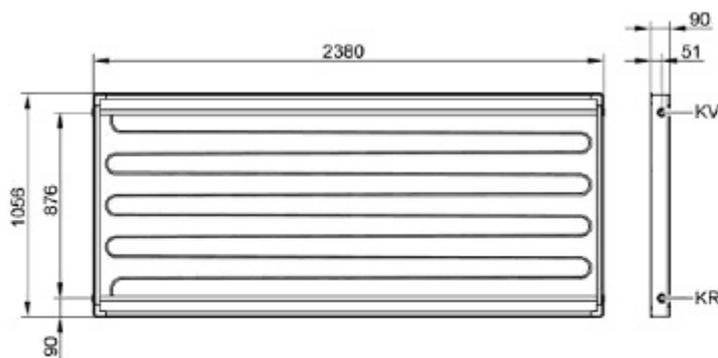
Gewicht: (41,5 Kg \* 20) = 830 Kg

Viessmann:

### Technische Angaben Vitosol 100, Typ SV1 und SH1

#### Technische Daten

| Typ   |                                      | SV1  | SH1    |
|---|--------------------------------------|--|--------|
| Bruttofläche* <sup>1</sup>                    | m <sup>2</sup>                       | 2,51   | 2,51   |
| Absorberfläche                                | m <sup>2</sup>                       | 2,30   | 2,30   |
| Aperturfläche* <sup>2</sup>                   | m <sup>2</sup>                       | 2,32   | 2,32   |
| <b>Abmessungen</b>                            |                                      |  |        |
| Breite  | mm                                   | 1056   | 2380   |
| Höhe  | mm                                   | 2380   | 1056   |
| Tiefe   | mm                                   | 90   | 90     |
| Optischer Wirkungsgrad* <sup>3</sup>          | %                                    | 81   | 81     |
| Wärmeverlustbeiwert $k_1$ * <sup>3</sup>      | W/(m <sup>2</sup> · K)               | 3,48   | 3,48   |
| Wärmeverlustbeiwert $k_2$ * <sup>3</sup>      | W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> ) | 0,0164   | 0,0164 |
| Wärmekapazität                                | kJ/(m <sup>2</sup> · K)              | 6,4  | 6,4    |
| Gewicht                                       | kg                                   | 52   | 52     |
| Inhalt Flüssigkeit<br>(Wärmeträgermedium)     | Liter                                | 1,83   | 2,48   |
| Zul. Betriebsdruck* <sup>4</sup>              | bar                                  | 6  | 6      |
| Max. Stillstandtemperatur* <sup>5</sup>       | °C                                   | 221  | 221    |
| Anschluss                                     | Ø mm                                 | 22   | 22     |
| Anforderungen an Untergrund und Verankerungen |                                      | für angreifende Windkräfte ausreichend belastbare Dachkonstruktion |        |



Typ SH1

KR Kollektorrücklauf (Einlauf)  
 KV Kollektorvorlauf (Auslauf)

eta: 0,81

Preis: 278,13/m<sup>2</sup> Absorberfläche

Inhalt: 16x 1,83 l = 29,28 l

Insgesamt 16 Kollektoren möglich; Gesamtabsoberfläche: 36,8 m<sup>2</sup>

Gewicht: (44 Kg \* 16) = 704 Kg

## Stiebel-Eltron



| Typ           |                     |
|---------------|---------------------|
| Typ           | SOL 27 plus         |
| Bestell-Nr.   | 220455              |
| Gewicht       | 48 kg               |
| Gesamtfläche  | 2,63 m <sup>2</sup> |
| Aperturfläche | 2,41 m <sup>2</sup> |

| Technische Daten                   |                |
|------------------------------------|----------------|
| Max. Leistungsvermögen (W/Kollekt) | 2000           |
| Stillstandstemperatur max.         | 213 °C         |
| Flüssigkeitsinhalt                 | 1,65 l         |
| Kollektoranschluss                 | 3/4 Zoll außen |
| Zul. Betriebsüberdruck             | 6 bar          |
| Nennvolumenstrom                   | 50-300 l/h     |
| Druckverlust bei 300 l/h           | 0,04 bar       |
| Aufstellwinkel                     | 20° bis 90°    |
| Höhe                               | 2.205 mm       |
| Breite                             | 1.195 mm       |
| Tiefe                              | 106 mm         |

eta: 0,81

Preis: 294,63/m<sup>2</sup> Absorberfläche

Inhalt: 16x 1,65 l = 26,4 l

Insgesamt 16 Kollektoren möglich; Gesamtabsorberfläche: 38,56 m<sup>2</sup>

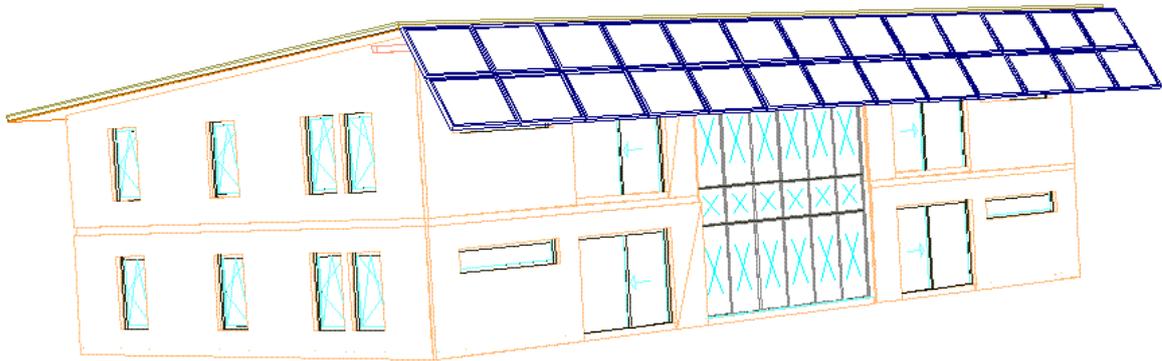
Gewicht: (50 Kg \* 16) = 800 Kg

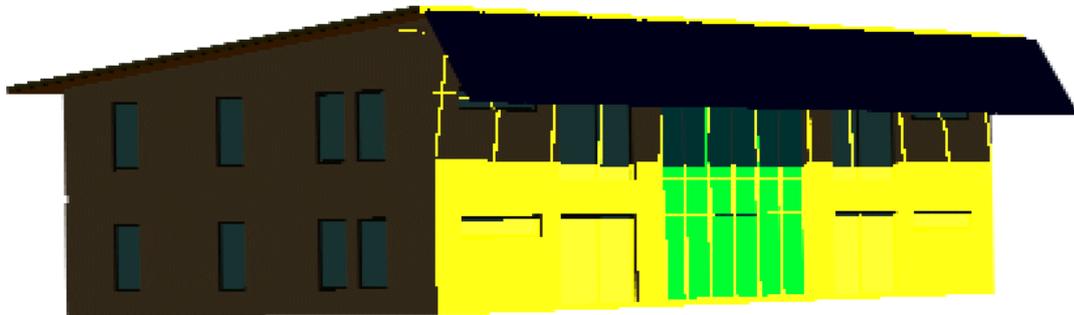
## SOLARWINKEL

Große Bedeutung wurde der Anbringung des Kollektorfeldes zuteil. Um Wärmebrücken zu vermeiden wurde eine direkte Montage am Gebäude verworfen. Gegen die Montage auf dem Dach sprachen architektonische Ansprüche und die Windlasten. Blieb also nur der Weg über eine eigenständige Konstruktion, die an das Gebäude lediglich angelehnt ist.

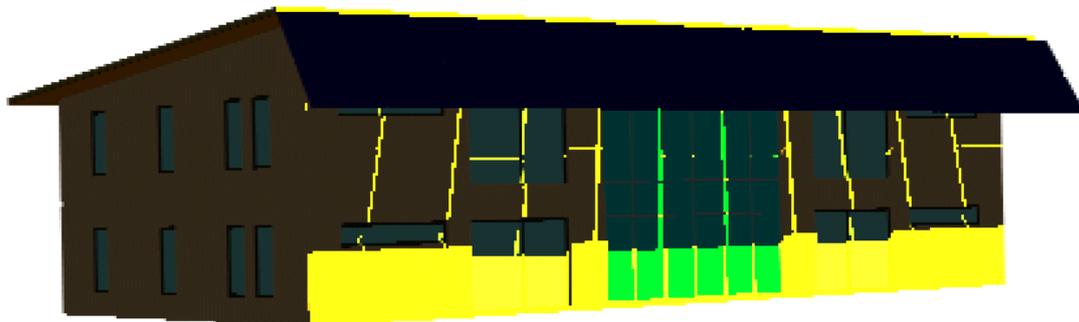
Hier eine kleine Sequenz zur Ausrichtung des Kollektorfeldes. Neben der optimalen Südausrichtung für Wintersonne ( $58^\circ$  Aufstellwinkel) sollte gleichzeitig eine direkte Solarnutzung im Winter, aber auch eine hohe Beschattung für den Sommer erreicht werden.

Der erste Versuch zeigt schon vor dem Rendern, dass das Kollektorfeld tief in die Fenster der oberen Etage reichen. Das Rendern bestätigt eine zu hohe Beschattung im Winter- als auch im Sommerfall:



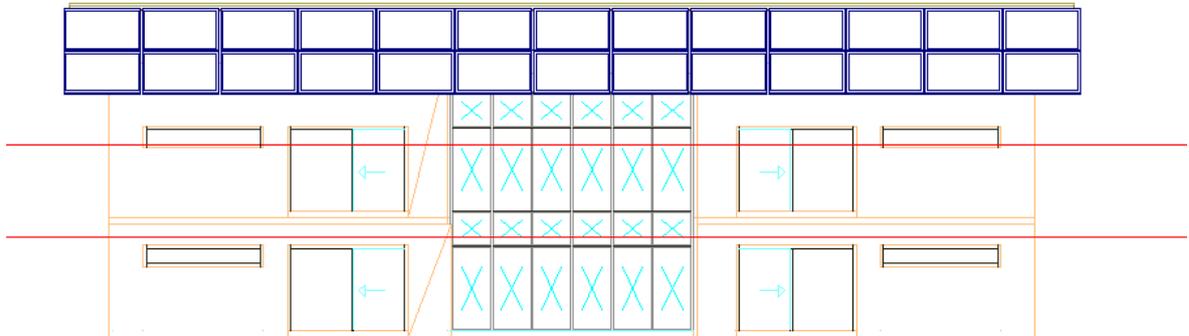


Sonnenstand Mittag Winter

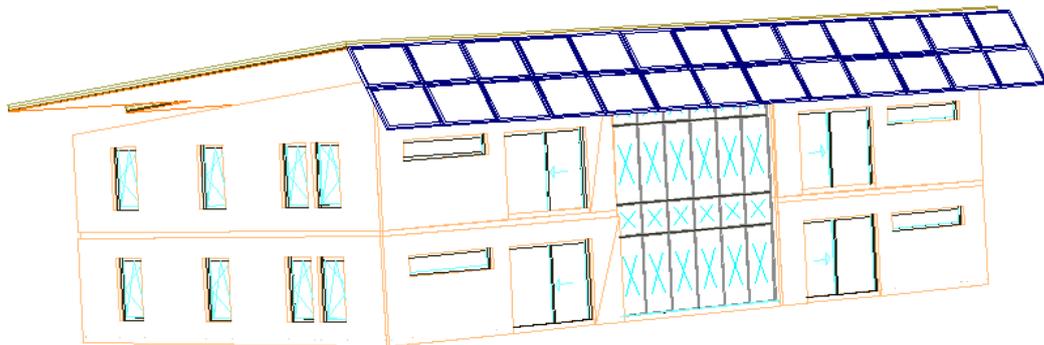


Sonnenstand Mittag Sommer

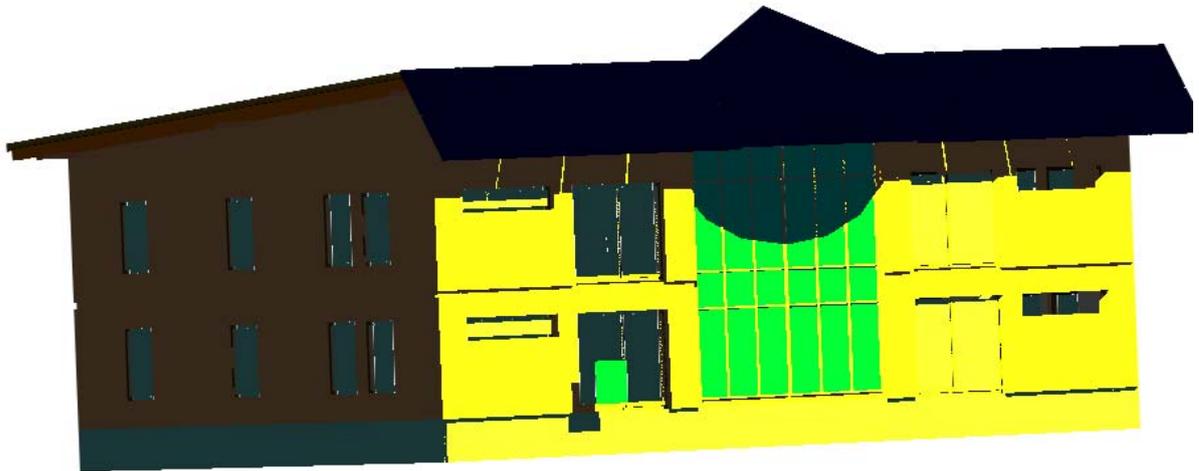
Um im Winter einen hohen Anteil direkter Strahlung, im Sommer dennoch einen hohen Schutz zu erreichen, wurde das gesamte Dach um 90 cm nach oben versetzt. Zudem erhielt die Kollektoranbindung einen kleinen Versatz vorne.



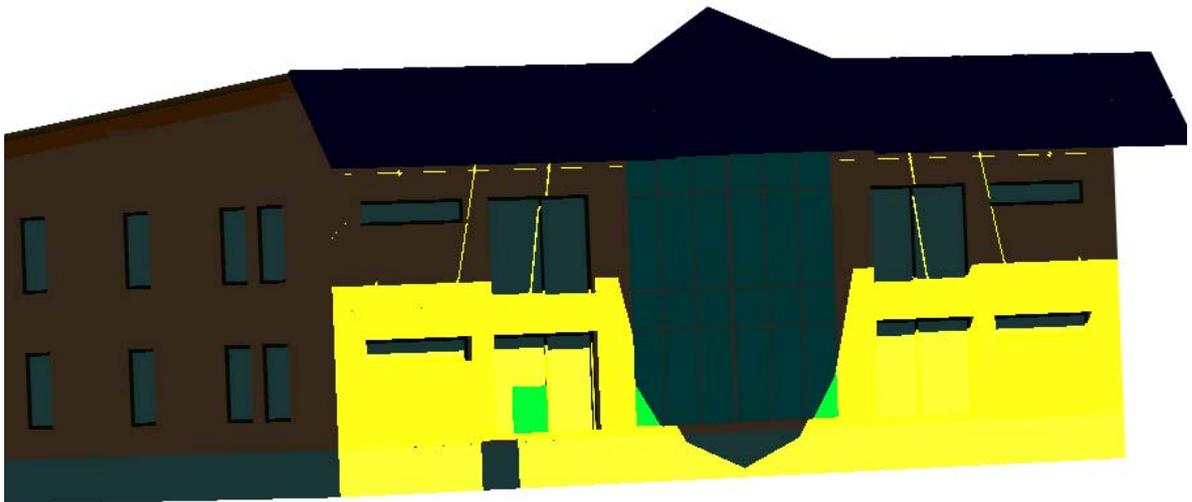
Rote Linie oben: Schattenkante Wintersonne Mittag  
Rote Linie unten: Schattenkante Sommersonne Mittag



Als gestalterisches Element wurde in die Mitte des Kollektorfeldes noch eine Rundung eingebracht. Dadurch erhöht sich die Schattenfläche vor dem Wintergarten.



Renderbild Wintersonne Mittag.



Renderbild Sommersonne Mittag.

Michaela Kast: Bau und Architektur  
Christian Brenner: Heizungs- und Solartechnik

Augsburg im Juli 2007