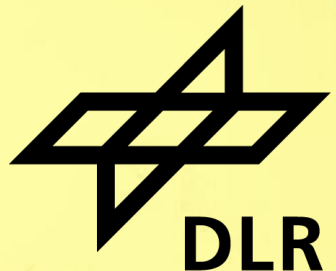


Einführung in **greenius** und Nutzung für die Simulation solarer Prozesswärmeerzeugung

Jürgen Dersch and Javier Inigo Labairu



Agenda



10:30 – 12:30

- Einführung in die Software **greenius**
- Allgemeine Nutzung und Einsatzmöglichkeiten
- Beispielprojekt: Prozesswärmeerzeugung mit Solarthermie gemäß ISO 9806

12:30 – 13:30

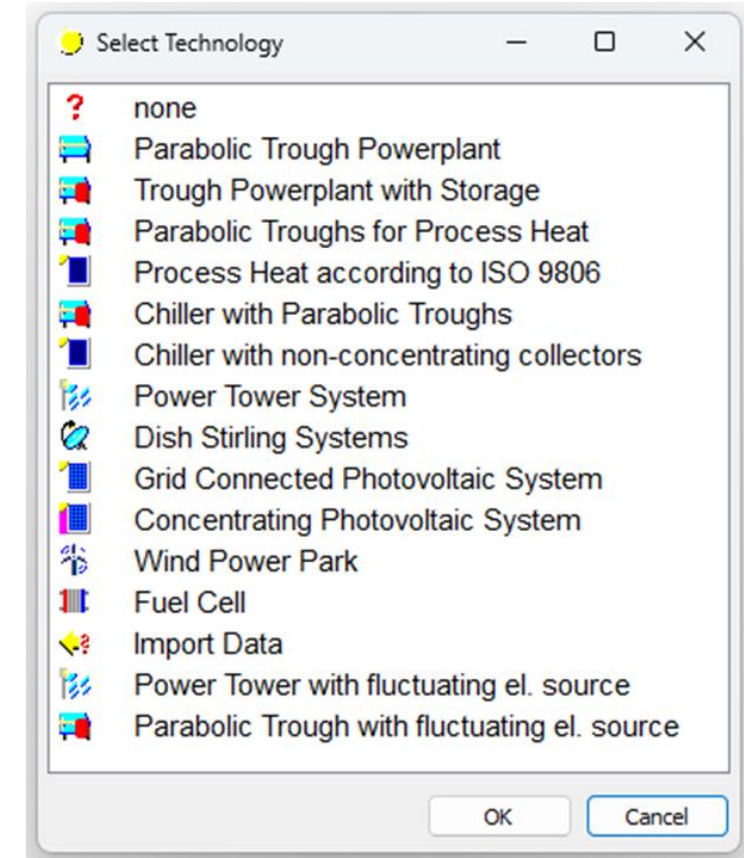
- Mittagspause

13:30 – 15:30

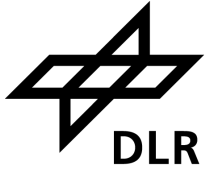
- Übungen zur Simulation von Prozesswärmeanlagen

Die Software tool **greenius**

- Kostenlos und einfach zu bedienen
- Simulation verschiedener erneuerbarer Energiesysteme
- Ausgelegt für schnelle und unkomplizierte Berechnungen
- Basiert auf einer stündlichen Ertragssimulation eines typischen Jahres (minimale Zeitschrittlänge: 10 Minuten)
- Ursprünglich entwickelt für die Simulation erneuerbarer Stromerzeugung mit Schwerpunkt auf konzentrierender Solarthermie
- Einsatzmöglichkeiten: z. B. Machbarkeitsstudien oder Technologievergleiche
- Verfügbar unter: <https://www.dlr.de/en/sf/research-and-transfer/research-services/simulation-and-profitability-assessment/greenius>



greenius bietet:



- Die Kombination aus schnellen technischen Ertragsberechnungen und wirtschaftlichen Analysen
- Umfassende Visualisierungsoptionen zur grafischen Auswertung der Ergebnisse
- Benutzeroberflächen zur Parametereingabe und Ergebnisanalyse
- Integration von meteorologischen Daten und Ertragskennfeldern aus Drittsoftware

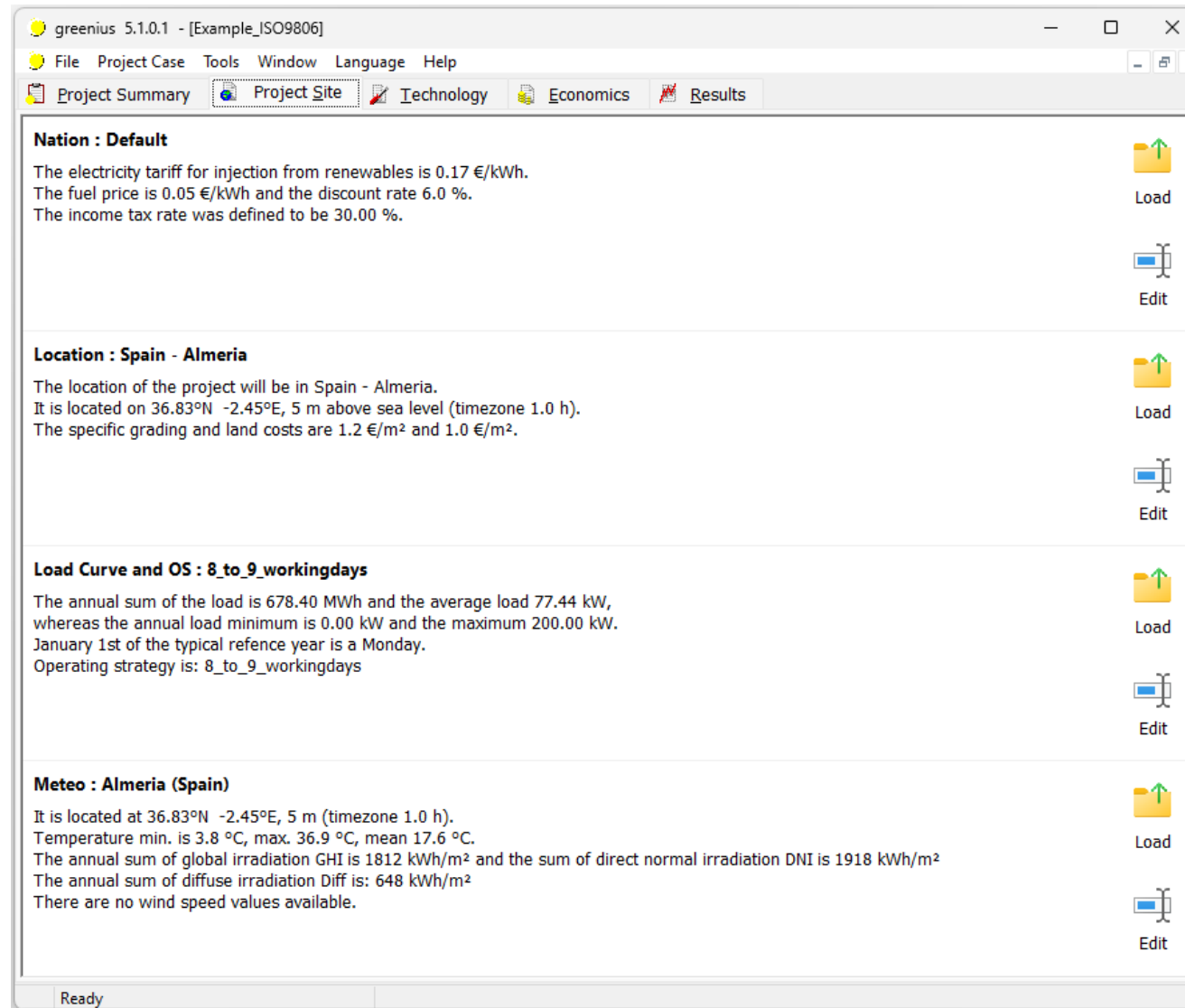
- **Keine** detaillierte Berechnung von Wärmeschaltbildern für Kraftwerksblöcke
- **Keine** Auslegung von Rohrleitungen und Hydrauliksystemen der Anlage
- **Keine** aktuellen Kostendatenbanken für Komponenten

Voraussetzungen und erforderliche Eingabedaten



- Standort (Länge, Breite, Höhe)
 - Anlagengröße (Nennleistung)
 - Meteorologischer Datensatz
 - Lastkurve
 - Technologie
-
- **greenius** kann auch verwendet werden, um verschiedene Technologien und/oder Standorte miteinander zu vergleichen

Definition des Projektstandorts (1)



Definition des Projektstandorts (2)

Spain

File Edit Help

 **Nation**   

National Economics

General

Name Spain

Remuneration Tariffs

Electricity 0.150 €/kWh flat variable

Heat/Cooling 0.080 €/kWh

Tariffs valid for 2024

Fix fossil fuel usage 0.0 %

Prices of Delivery

Fuel price 0.050 €/kWh

Water price 0.050 €/m³

Purchased from the grid 0.150 €/kWh

Prices valid for 2024

Specific Reference Values

	Electricity	Heat
Levelized generation costs	0.100 €/kWh	0.000 €/kWh
CO₂ emissions	0.600 kg/kWh	0.300 kg/kWh

Taxes

Income tax rate 30.00 %

Property tax rate 0.00 %

Tax holidays 0.00 years

Loss forwarded 0.00 years

Discount Rate

for investment costs 6.00 %

for running costs 6.00 %

Escalation Rates

Tariff escalation 0.00 %

O&M price escalation 0.00 %

Replacement escalation 0.00 %

Fuel price escalation 1.80 %

OK Apply Cancel

Spain - Almeria

File Edit Tools Help

 **Location**  

Location

Geographical Location

Name Spain - Almeria

Latitude 36.83 °N Altitude 5 m

Longitude -2.45 °E

Timezone +1 (Middle European Time)

Solar Angles for this Location

Date 24.07.2025 Day Length: 14:10 h

Sunrise at 06:10:37 (Azimuth 64.48°)

Sunset at 20:21:37 (Azimuth 295.35°)

Solar noon at 13:16:16 (Elevation 72.92°)

Properties of Ground

Ground structure Sand

Roughness length 0.03 m

Albedo factor 0.2

Average slope 3 °

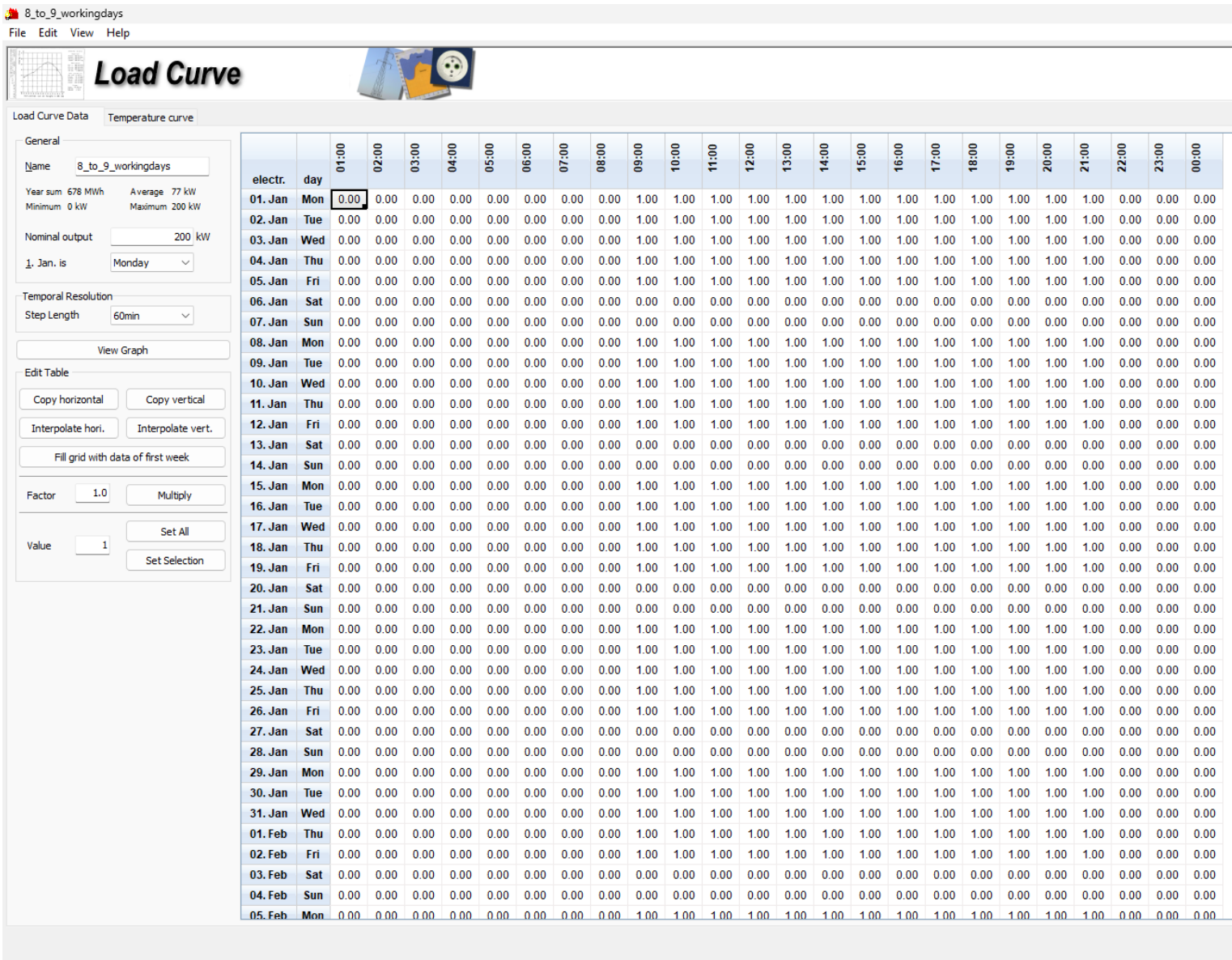
specific Land costs 1 €/m²

Image of Location

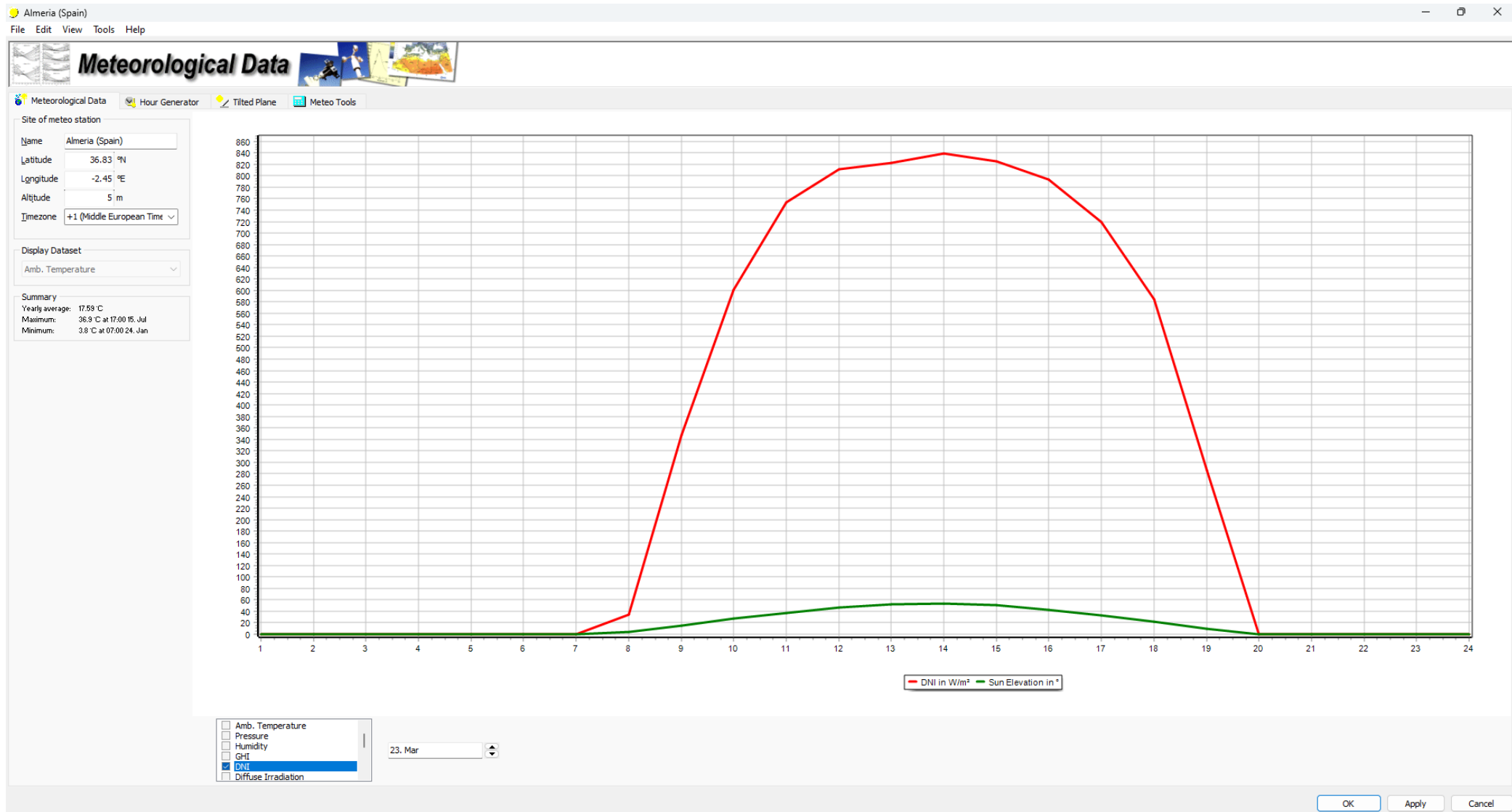


OK Apply Cancel

Definition des Projektstandorts (3)



Definition des Projektstandorts (4)



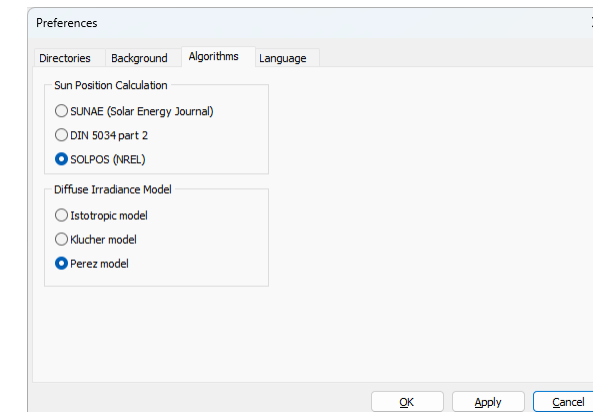
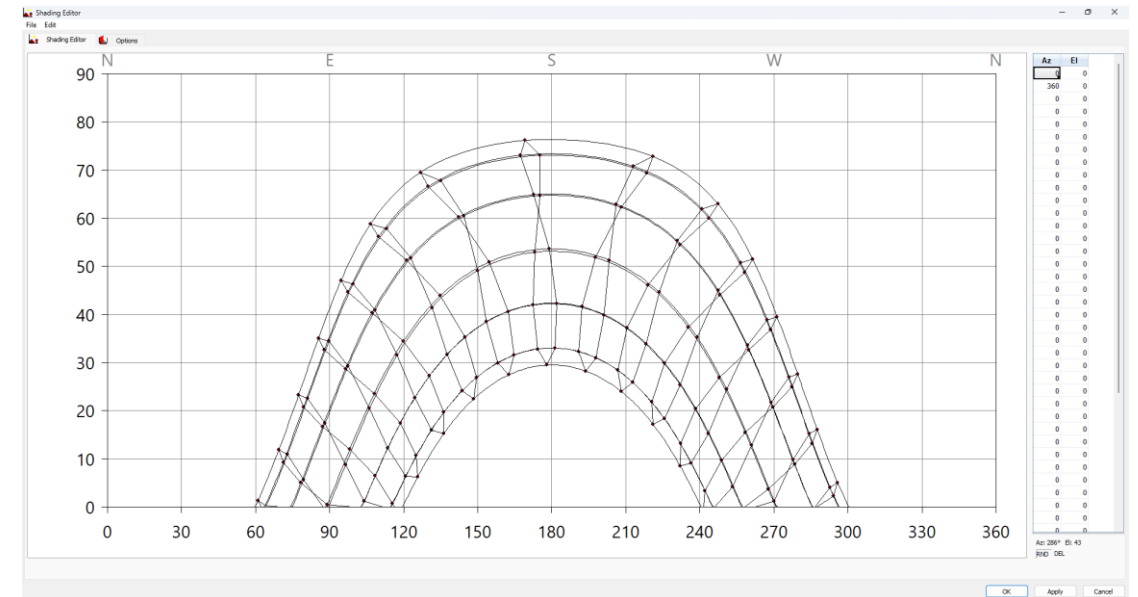
Sonnenstandsberechnung

- In greenius kann der Nutzer zwischen 3 Sonnenstandsmodellen wählen, wobei wir in der Regel SOLPOS verwenden:

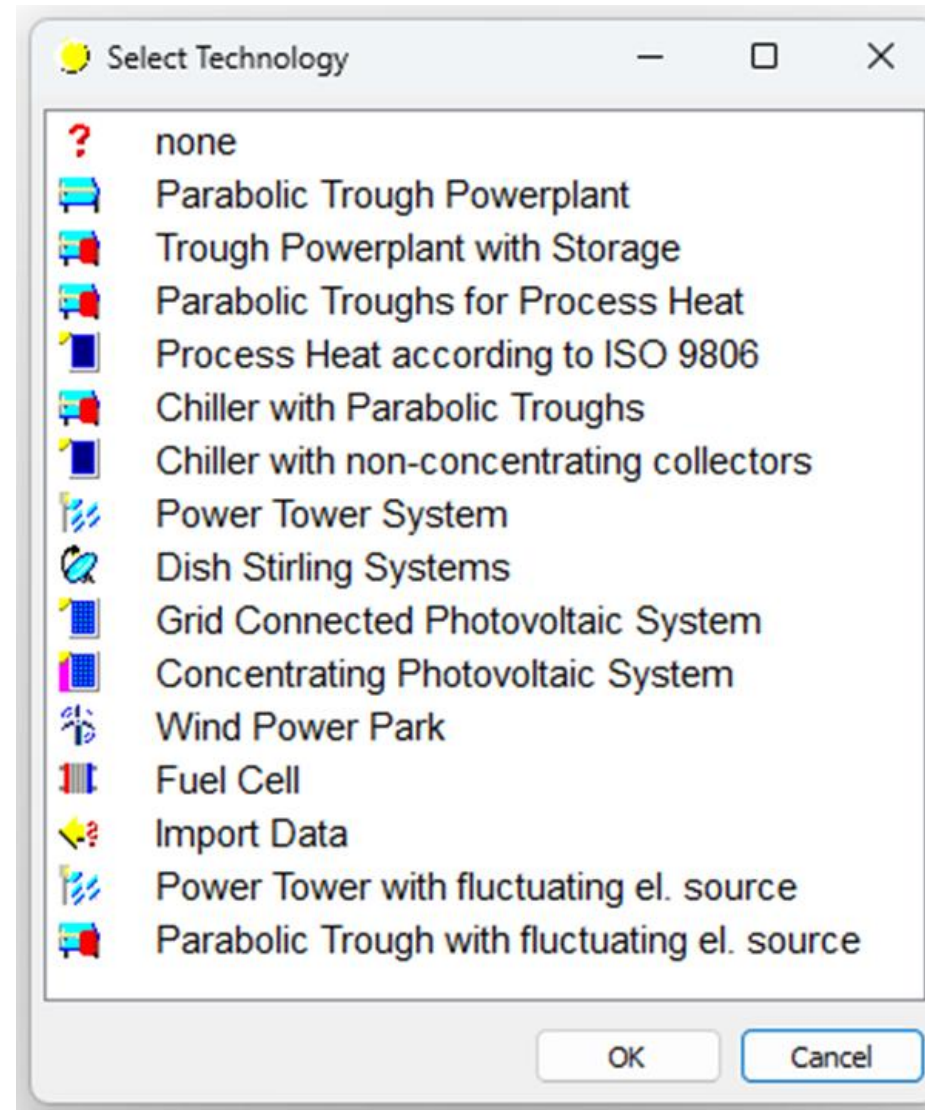
<https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/solpos.html>

- Für die Berechnung der Diffusstrahlung in der Kollektorapertur (relevant für PV und nicht- bzw. schwach konzentrierende Systeme) gibt es ebenfalls 3 Optionen. In der Regel wird das Modell von Perez genutzt:

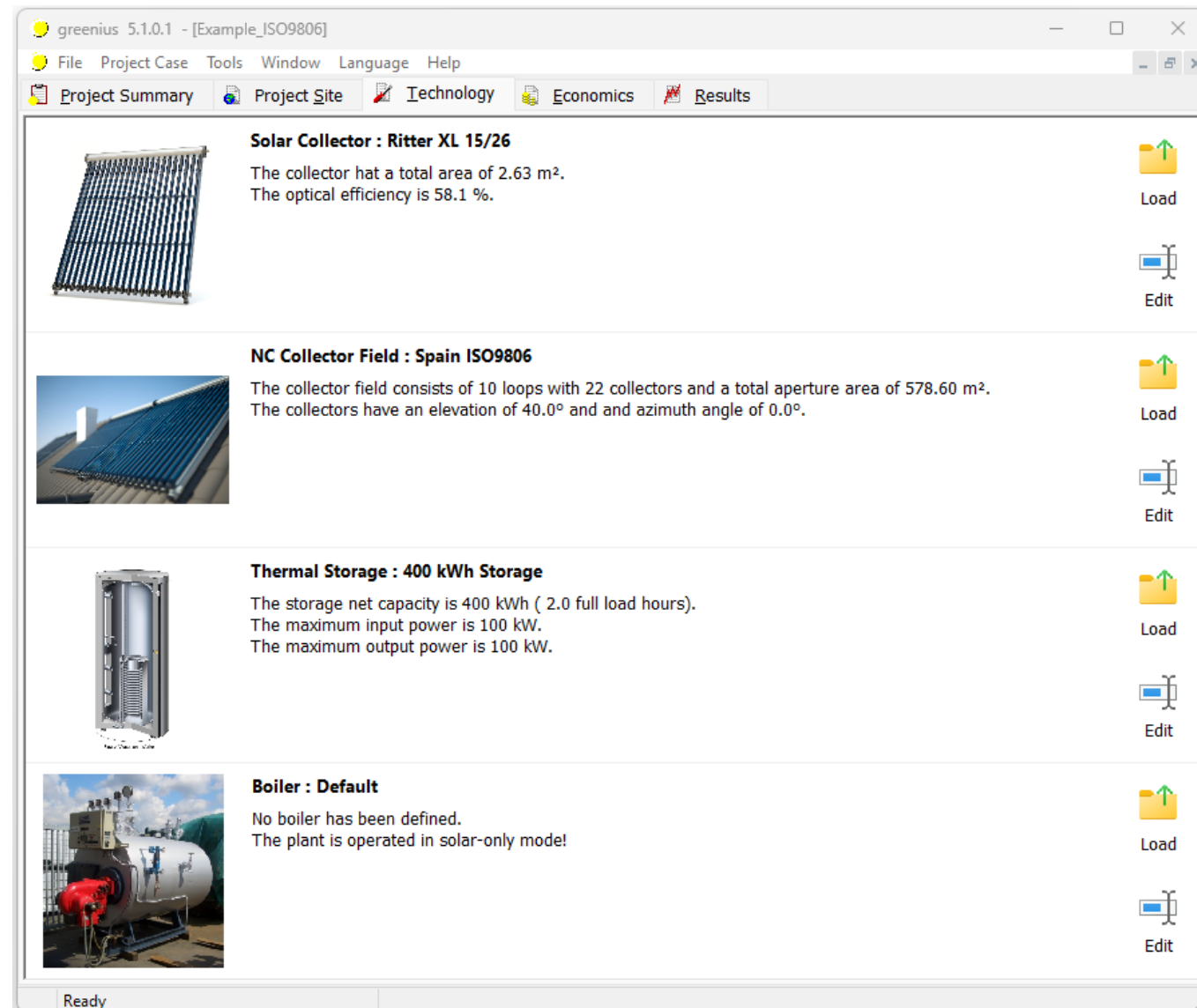
<https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/1-weather-design-inputs/plane-of-array-poa-irradiance/calculating-poa-irradiance/poa-sky-diffuse/perez-sky-diffuse-model/>



Definition der Technologie (1)



Definition der Technologie (2)



Definition der Technologie (3)

Ritter XL 15/26

File Edit View Help

Solar Collector

Solar Collector Database

General

Name: Ritter XL 15/26

Total length: 1.616 m

Total width: 1.627 m

Length: vertical, Width: horizontal

Gross area: 2.629 m²

Max. Temperature: 160.0 °C

Collector Efficiency

Test standard: ISO 9806

η_0, b : 0.581

η_0, hem : 0.582

Coefficient a1: 0.339 W/(m² K)

Coefficient a2: 0.0090 W/(m² K²)

Coefficient a3: 0.0000 J/(m³ K)

Coefficient a4: 0.0000 -

Coefficient a5: 8620.0 J/(m² K)

Coefficient a6: 0.0000 s/m

Coefficient a7: 0.0000 W/(m² K⁴)

Coefficient a8: 0.0000 W/(m² K⁴)

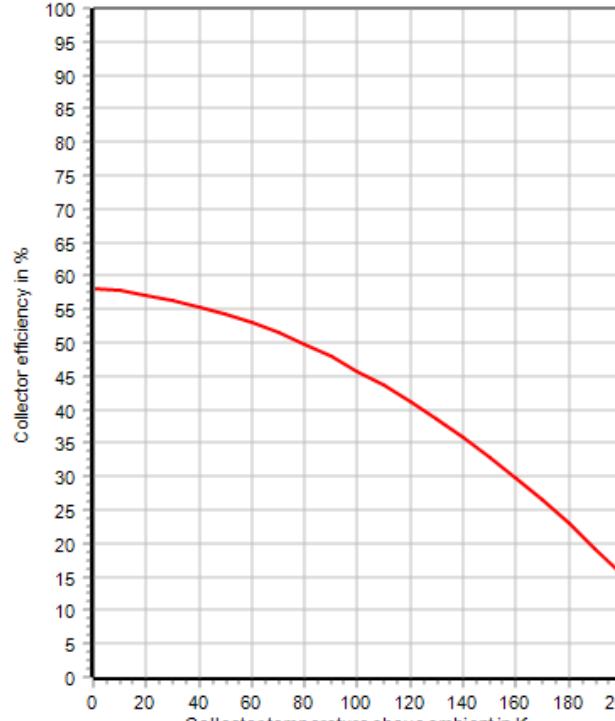
Incidence Angle Modifier

°	long	trans
0	1.000	1.000
10	0.980	1.010
20	0.960	1.020
30	0.940	1.030
40	0.910	1.030
50	0.880	0.990
60	0.760	1.080
70	0.710	1.310
80	0.360	0.660
90	0.000	0.000

Collector Type: Evacuated tube

Kd: 1.011

Collector efficiency in %



Collector temperature above ambient in K

OK Apply Cancel

Definition der Technologie (4)

Ritter XL 15/26

File Edit View Help

Solar Collector

Solar Collector Database

Excerpt from the SolarKeymark. For details and the full list see: <https://solarkeymark.eu/database/>

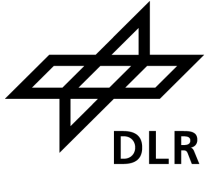
ID	Company	Type	Name	Standard	Tmax	Lcol
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 10	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 12	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 14	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 15	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 16	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 18	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 20	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 21	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 22	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 24	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 25	EN ISO 9806	230	198
4217	2-Improve Energy	Evacuated tubular collector	Prisma Pro 28	EN ISO 9806	230	198
489	3S Swiss Solar Solutions AG	Flat plate collector	ThermiePanel TS	EN ISO 9806	100	93
731	Smith Water Products Company	Flat plate collector	AOSP 240 V	EN ISO 9806	199	200

Find next Find previous

Load SolarKeymark Database Copy Selection to Collector Form

OK Apply Cancel

Berechnung des Ertrags nach der Norm ISO 9806



- Die aufgenommene Wärme und die Verluste der Kollektoren werden nach ISO 9806 berechnet

$$\dot{Q} = A_G \left[\begin{array}{l} \eta_{0,b} K_b (\theta_L, \theta_T) G_b + \eta_{0,b} K_d G_d - a_1 (\vartheta_m - \vartheta_a) - a_2 (\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - a_3 u' (\vartheta_m - \vartheta_a) \\ a_4 (E_L - \sigma T_a^4) - a_5 (d\vartheta_m / dt) - a_6 u' G - a_7 u' (E_L - \sigma T_a^4) - a_8 (\vartheta_m - \vartheta_a)^4 \end{array} \right]$$

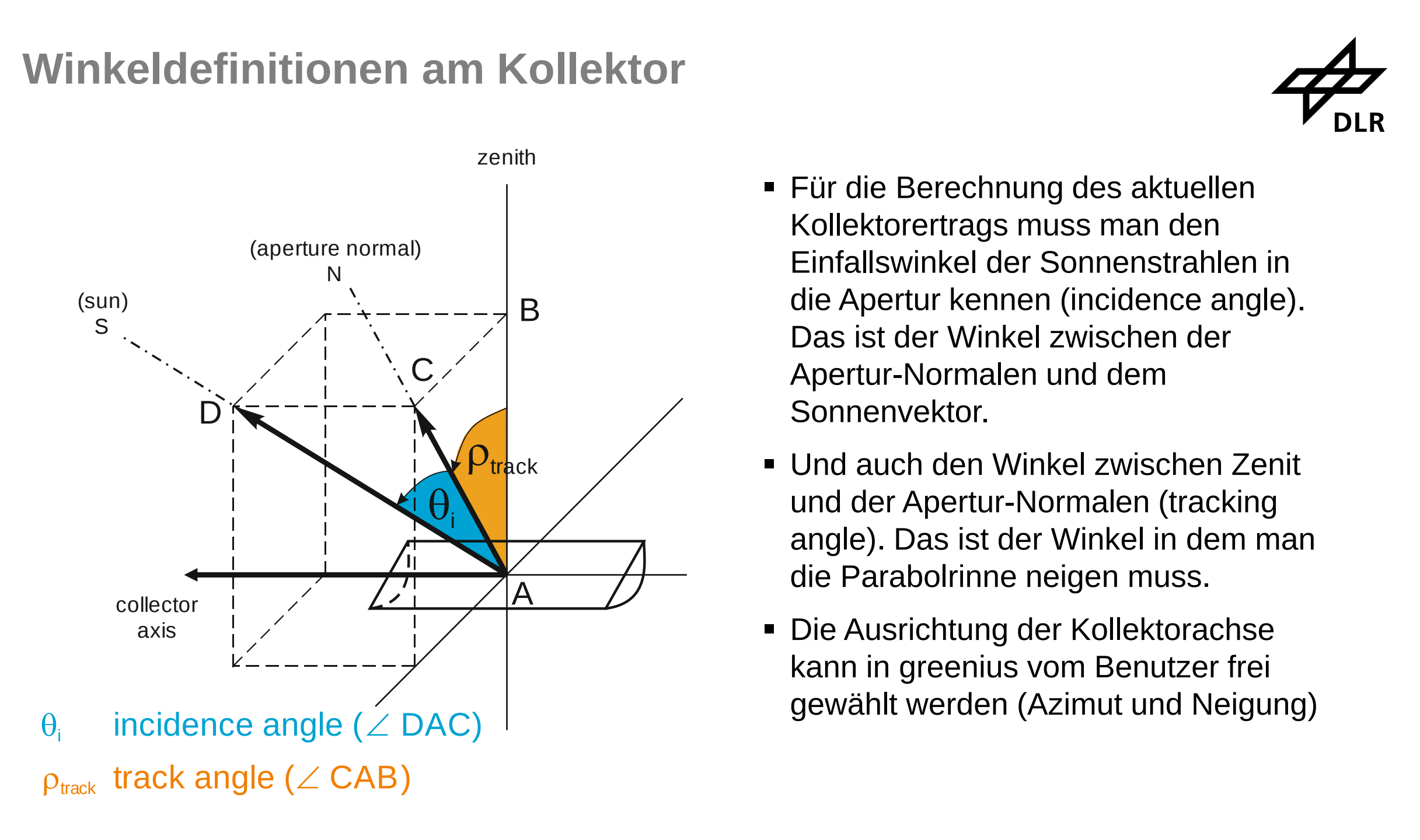
- Die Wärmeverluste in den Rohrleitungen können mit zwei Methoden berechnet werden:

- Abhängig von der Länge der Rohrleitungen

$$\dot{Q}_{pipe} = l_{pipe} \cdot k_{length} \cdot (\vartheta_C - \vartheta_A)$$

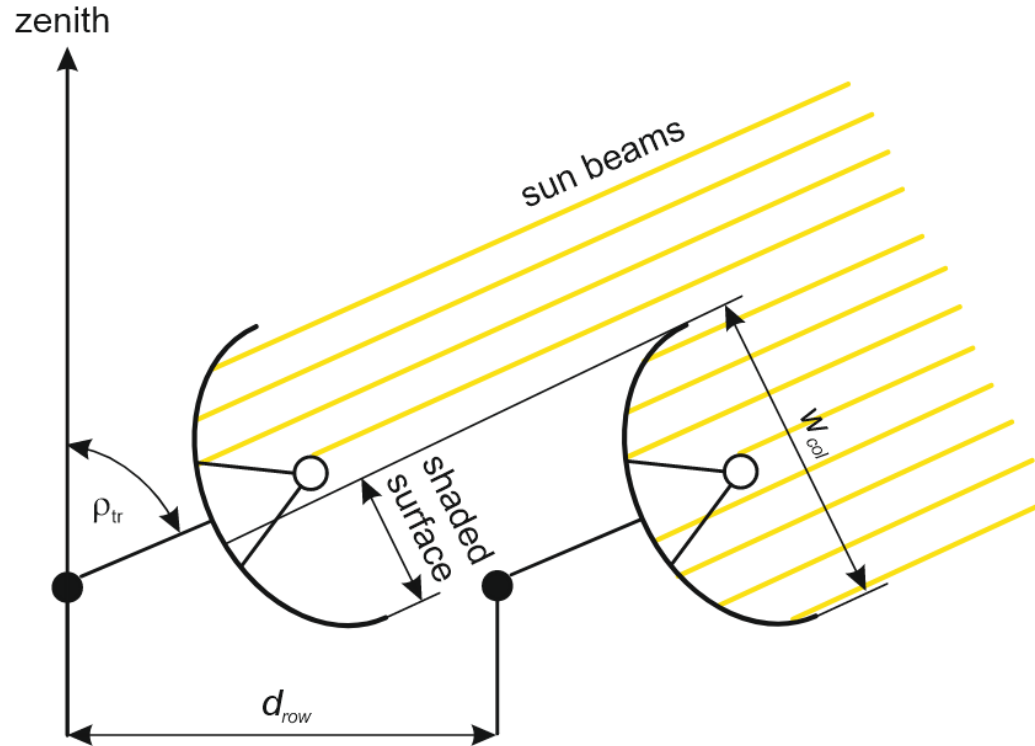
- Abhängig von der Fläche des Solarfelds

$$\dot{Q}_{pipe} = n \cdot A_{collector} \cdot k_{area} \cdot (\vartheta_C - \vartheta_A)$$



- # Winkeldefinitionen am Kollektor
-
- The diagram illustrates the geometry of a solar collector. A vertical line represents the zenith. A horizontal line represents the collector axis. A dashed line represents the aperture normal (N). A dashed line represents the sun vector (S). The angle between the sun vector and the aperture normal is the incidence angle θ_i (blue shaded area). The angle between the zenith and the aperture normal is the tracking angle ρ_{track} (orange shaded area). The collector is shown as a rectangular surface with a curved end, tilted at an angle relative to the horizontal.
- Für die Berechnung des aktuellen Kollektorertrags muss man den Einfallswinkel der Sonnenstrahlen in die Apertur kennen (incidence angle). Das ist der Winkel zwischen der Apertur-Normalen und dem Sonnenvektor.
 - Und auch den Winkel zwischen Zenit und der Apertur-Normalen (tracking angle). Das ist der Winkel in dem man die Parabolrinne neigen muss.
 - Die Ausrichtung der Kollektorachse kann in greenius vom Benutzer frei gewählt werden (Azimut und Neigung)

Abschattungsverluste zwischen den einzelnen Reihen



$$\eta_{shading} = 1 - \frac{n_{loops} \cdot n_{rows} - n_{unshaded\ rows}}{n_{loops} \cdot n_{rows}} \cdot \frac{H_s}{length_{collector}}$$

$$H_s = l_{eff} \cdot \left(1 - \frac{d_{row} + l_{eff} \cdot \cos(col_{elev})}{l_{eff} \cdot \left(\cos(col_{elev}) + \frac{\sin(col_{elev}) \cdot \cos(sun_{azim} - col_{azim} + 180^\circ)}{\tan(sun_{height})} \right)} \right)$$

$$l_{eff} = length_{collector} - \frac{height_{difference}}{\sin(col_{elevation})}$$

$$\eta_{shadow} = \begin{cases} \frac{d_{row}}{w_{coll}} \cos \varrho ; & \text{für } 0 \leq \frac{d_{row}}{w_{coll}} \cos \varrho < 1 \\ 1 ; & \text{für } \frac{d_{row}}{w_{coll}} \cos \varrho \geq 1 \\ 0 ; & \text{für } \frac{d_{row}}{w_{coll}} \cos \varrho < 0 \end{cases}$$

Definition der Technologie (5)

Spain ISO9806

File Edit Costs Help

Collector Field

Collector Field

General

Name: Spain ISO9806

Collector name: Solar Collector 1

No. of loops: 10

No. of rows per loop: 1

No. of collectors per row: 22

Field size (gross area): 578.6 m²

Nominal field power ^{*}: 83.9 kW

^{*} 1000 W/m² solar irradiance, 20°C ambient temperature

Distance between rows: 3.24 m

No. unshaded rows: 1

Land use factor: 2.50

Land use: 1446.5 m²

Specif. Parasitics: 0.050 W_{el}/W_{th}

Orientation and Operation

Azimuth: South 0.0 °

Elevation: 40.0 °

Height difference: 0.0 m

Inlet temperature: 40.0 °C

Outlet-temperature: 80.0 °C

Design temperature: 60.0 °C

Pipes

Heat loss based on: Pipe length

Total length: 40.0 m

Diameter: 70.0 mm

Specific mass: 8.00 kg/m

Heat capacity: 0.109 Wh/(kgK)

Piping loss coefficient: 0.2 W/(m K)

Heat Transfer Fluid

Type: Water/Glycol

density	heat cap.	temp.
kg/m ³	Wh/(kgK)	°C
1060	0.9806	20
1036	1.0083	60
1009	1.0361	100

OK Apply Cancel

Definition der Technologie (6)

400 kWh Storage

File Edit Costs Help

 **Storage** 

Storage

General Information

Name: 400 kWh Storage

Type: Single Tank

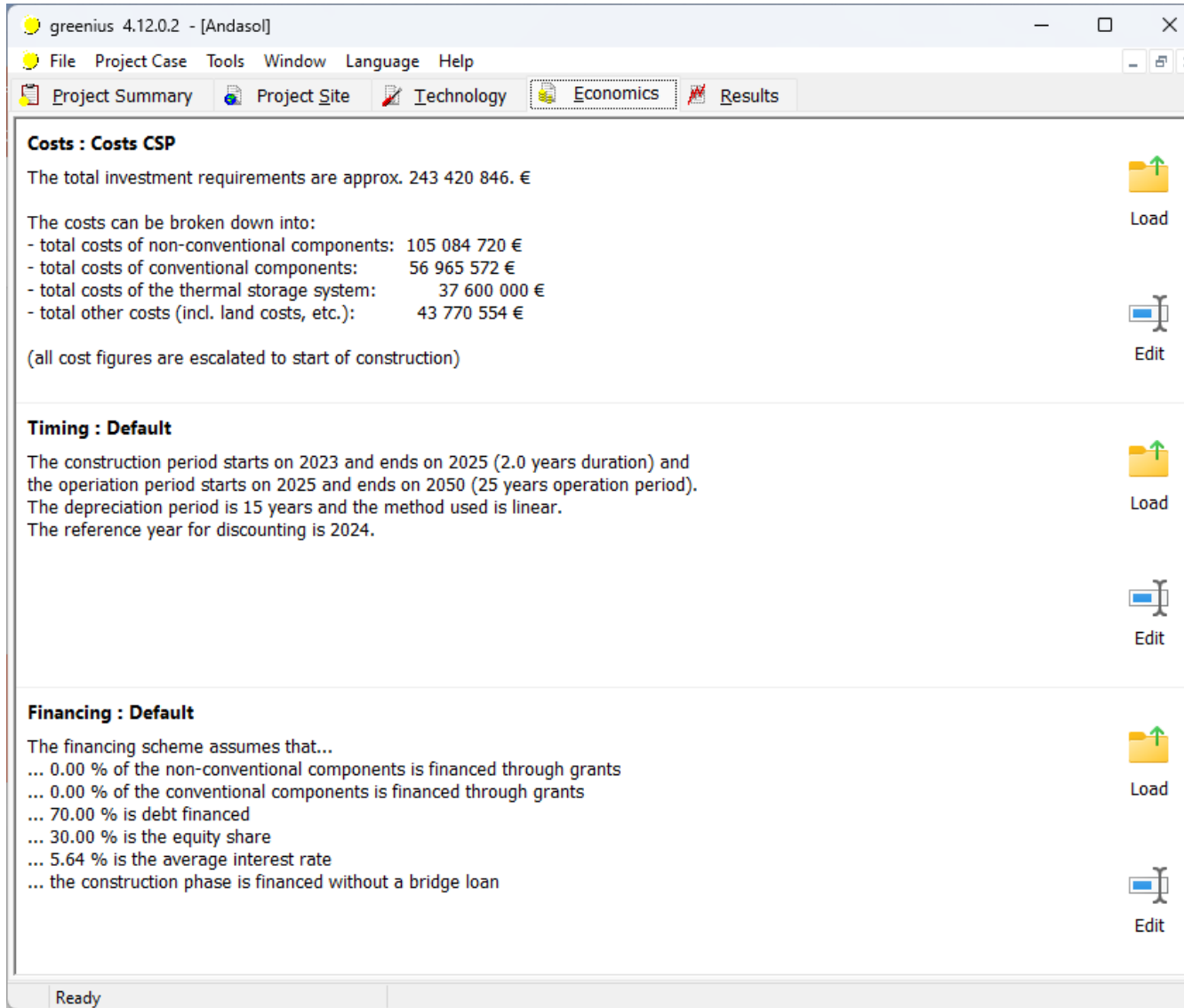
Technical data

Net Capacity	400 kWh
Consumer design demand	200 kW
Full load hours	2.0 h
Nominal field excess	205 kW
Maximal charging	100 kW
Maximal discharging	100 kW
Time constant	70.00 h
50 % loss in	48.5 h
Input temp. difference	11.0 °C
Output temp. difference	11.0 °C
Pumping parasitics	0.003 Wcl/Wth



OK Apply Cancel

Definition der Wirtschaftlichkeit (1)



greenius 4.12.0.2 - [Andasol]

File Project Case Tools Window Language Help

Project Summary Project Site Technology **Economics** Results

Costs : Costs CSP

The total investment requirements are approx. 243 420 846. €

The costs can be broken down into:

- total costs of non-conventional components: 105 084 720 €
- total costs of conventional components: 56 965 572 €
- total costs of the thermal storage system: 37 600 000 €
- total other costs (incl. land costs, etc.): 43 770 554 €

(all cost figures are escalated to start of construction)

Load Edit

Timing : Default

The construction period starts on 2023 and ends on 2025 (2.0 years duration) and the operation period starts on 2025 and ends on 2050 (25 years operation period).
The depreciation period is 15 years and the method used is linear.
The reference year for discounting is 2024.

Load Edit

Financing : Default

The financing scheme assumes that...

- ... 0.00 % of the non-conventional components is financed through grants
- ... 0.00 % of the conventional components is financed through grants
- ... 70.00 % is debt financed
- ... 30.00 % is the equity share
- ... 5.64 % is the average interest rate
- ... the construction phase is financed without a bridge loan

Load Edit

Ready

Definition der Wirtschaftlichkeit (2)

Default

File Edit Help

Costs

€ Investment Costs € Additional Running Costs

General

Name: Default *) given at start of construction
2) escalated to start of construction

Major Equipment Costs (EPC)

Non-conventional components *)	173 580 €	▶
Conventional components *)	0 €	▶
Storage *)	14 000 €	▶
I. Total major equipment costs (EPC)	187 580 €	

Other Costs

Land Costs 2)	1 547 €	▶
Infrastructure Requirement Costs *)	0 €	
Project Development	5.0 % of I.	9 379 €
Insurance during Construction	1.0 % of I.	1 876 €
Supervision and Startup	3.0 % of I.	5 627 €
II. Total Other Costs	18 429 €	
Contingencies	5.0 % of I. + II.	10 300 €
Total Investment Costs	216 309 €	

OK Apply Cancel

Technology Specific Costs

General

Collector Field 2

*) Reference year: 2018

Land Use *) : 1 447 m²

Investment Costs 2)

Field Size	579 m ²
Specific costs	300.0 €/m ²
Total investment costs	173 700 €

2) given at start of construction

O&M Costs *)

Specific O&M costs	4.00 €/m ² ·yr
Total O&M costs	2 316 €/a
Specific replacement costs	0.20 %/a
Total replacement costs	347 €/a
Guarantee period	0.00 yr
Specific insurance costs	1.00 %/a
Total insurance costs	1 737 €/a

Costs allocation for LEC calculation of co-generation systems

Annual efficiency ratio: % Electricity: % Heat: 100.0 %

OK Apply Cancel

Definition der Wirtschaftlichkeit (3)

Default

File Edit Help

Timing

Project Schedule

General

Name: Default

Reference year of discounting: 2024

Construction Phase

Construction Period: 2 years

Start of Construction: 2023

Operation Phase

First Operation Year: 2025

Operation Period: 25 years

End of Operation: 2050

Depreciation Phase

Methods of Depreciation

☒ Linear ☐ Degressive

Depreciation Period: 15

Cost Distribution during construction:

year	share
0.5	0.2500
1.0	0.2500
1.5	0.2500
2.0	0.2500

OK Apply Cancel

Default

File Edit Help

Financing

Financing Sources Debt Financing

General

Name: Default

Minimum req. IRR: 12 %

Sources of Financing

Grant Funding

0.0 % of non-conventional parts

0.0 % of conventional parts

Total grant payment

Debt Funding

70.0 %

Equity Funding

30.0 %

Total Funding

(*) without banking fees and interest during construction

OK Apply Cancel

Default

File Edit Help

Financing

Financing Sources Debt Financing

Debt Financing

A Add Delete

Terms of Credit:

Share	60.00 % within loan portfolio	102 236 755 €
Interest rate	5.40 % p.a.	
Debt term	10 years	
Upfront fee	0.00 % of amount drawn	0 €
Commitment fee	0.40 % of amount drawn	408 947 €/a
Grace period	0 years for repayments	

Special Debt Financing during Construction

☒ No Bridge Loan available

☐ Special Bridge Loan during construction

Terms of Credit:

Initial capital requirements		243 420 846 €
Upfront fee	2.00 % of amount above	4 868 417 €
Commitment fee	1.00 % of amount above	2 434 208 €/a
Interest rate	8.00 % p.a.	

OK Apply Cancel

Berechnung und Ergebnisanalyse

greenius 5.0.0.3 - [Example_ISO24194]

File Project Case Tools Window Language Help

Project Summary Project Site Technology Economics Results

Typical Operation Year

The thermal output of the collector field is 590.72 MWh/a.
The specific thermal output is 1021 kWh/m² collector area.
The annual solar share (gross) is 63.2 %.

Details

Cash Flow

The calculated project has an Internal Rate of Return (IRR) on Equity of 12.57 %
The Present Value (PV) of the investment is 0.071 million €.
and the equity investment is amortized after 10.23 years.
The required heat price is 0.0789 €/kWh to match the minimum required IRR of 12.0 %.

Key Results

The levelized heat costs (LHC) based on the nation discount rates are 0.065 €/kWh.
The total incremental costs are 301 385 € (0.035 €/kWh).
143.9 t CO₂ are avoided per year with costs of 163.8 €/tCO₂

Details

Ready

Calculating...

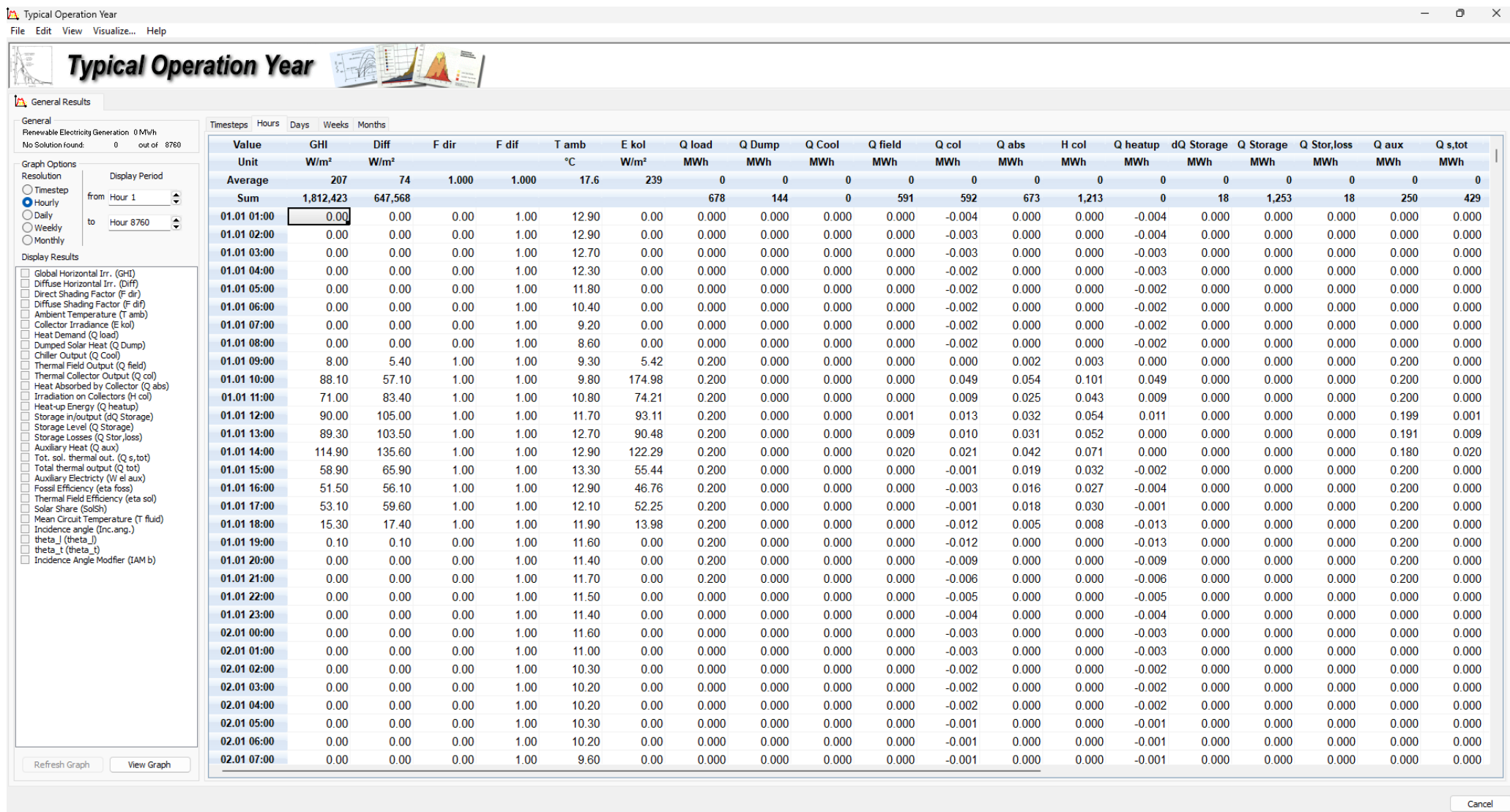
Process Heat System Operation...

100%

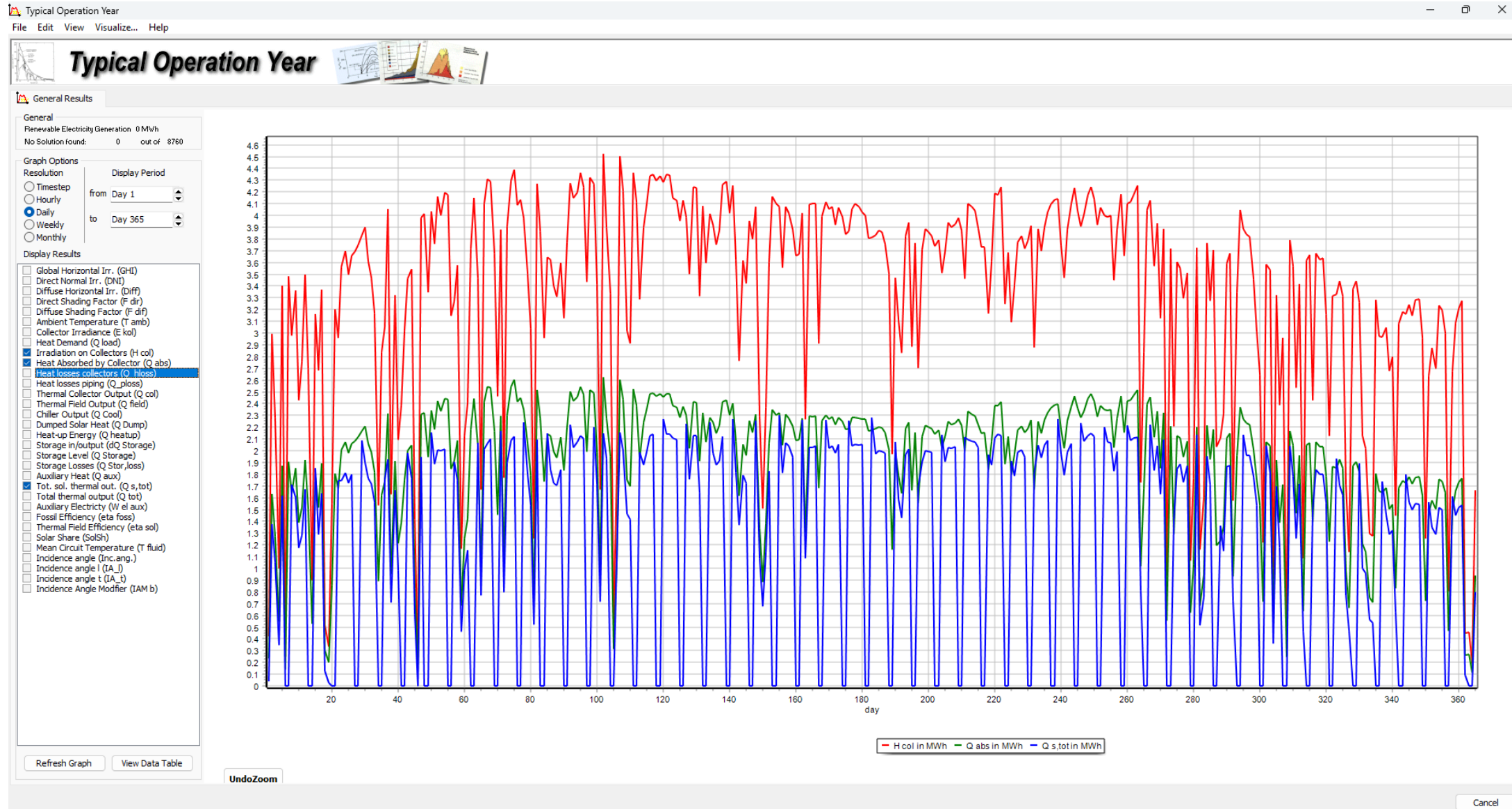
Passed calculation time: 0.21 s Remaining calculation time: 0.00 s

Break Calculations

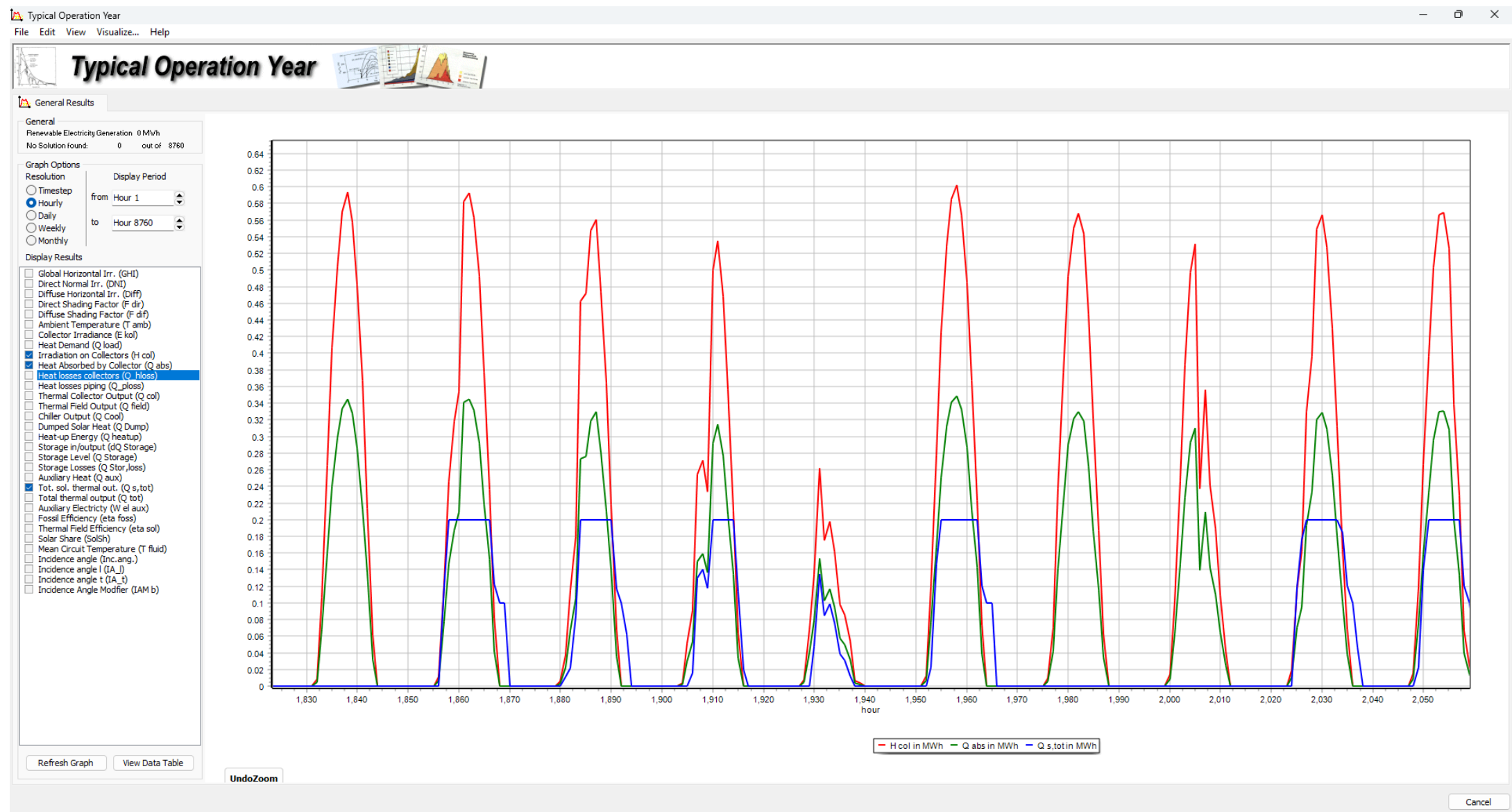
Ergebnisanalyse (1): Tabelle



Ergebnisanalyse (2): Jahresdiagramm mit täglicher Auflösung



Ergebnisanalyse (3): Zoom auf die Stundenauflösung



Ergebnisanalyse (4)

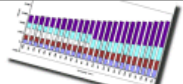


Cash Flow

File Edit Help



Cash Flow



Summary

Operation

Construction

Debt Service

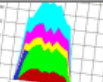
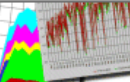
Depreciation and Taxes

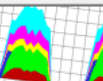
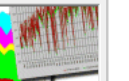
	unit	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Total Revenues	€	0	0	54,272	54,272	54,272	54,272	54,272	54,272	54,272	54,272	54,272	54,272
Total Running Costs	€	0	0	23,820	24,089	24,363	24,643	24,927	25,216	25,511	25,811	26,116	26,427
Net Operating CF	€	0	0	30,452	30,183	29,909	29,629	29,345	29,056	28,761	28,461	28,156	27,845
Investment Costs	€	108,155	111,342	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pre-Finance CF	€	-108,155	-111,342	30,452	30,183	29,909	29,629	29,345	29,056	28,761	28,461	28,156	27,845
Grant Funding	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equity Funding	€	32,446	32,446	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Debt Drawing	€	75,708	78,896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Debt Service	€	0	0	-22,830	-22,031	-21,232	-20,433	-19,634	-18,835	-18,036	-17,236	-16,437	-15,638
Post Finance CF	€	0	0	7,623	8,152	8,677	9,197	9,711	10,221	10,725	11,225	11,718	12,207
Tax Liability (Saving)	€	0	0	-2,895	-3,054	-3,211	-3,367	-3,522	-3,675	-3,826	-3,976	-4,124	-4,270
Post Tax CF	€	0	0	4,728	5,098	5,466	5,829	6,190	6,546	6,900	7,249	7,595	7,936
Dividends Paid	€	0	0	4,728	5,098	5,466	5,829	6,190	6,546	6,900	7,249	7,595	7,936
Discounted CF	€	0	0	4,208	4,281	4,329	4,356	4,364	4,354	4,329	4,291	4,241	4,181
Disc. Equity Inj.	€	32,446	30,610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Net Present Value	€	74,133											
Equity/Dividends	€	-32,446	-32,446	4,728	5,098	5,466	5,829	6,190	6,546	6,900	7,249	7,595	7,936
IRR on equity	%	12.87											
ADSCR		n/a	n/a	1.21	1.23	1.26	1.29	1.32	1.35	1.38	1.42	1.46	1.51
min. ADSCR		1.21											
Payback Period	yrs.	10.08											
Disc.Payback Period	yrs.	12.33											

Cancel

Cancel

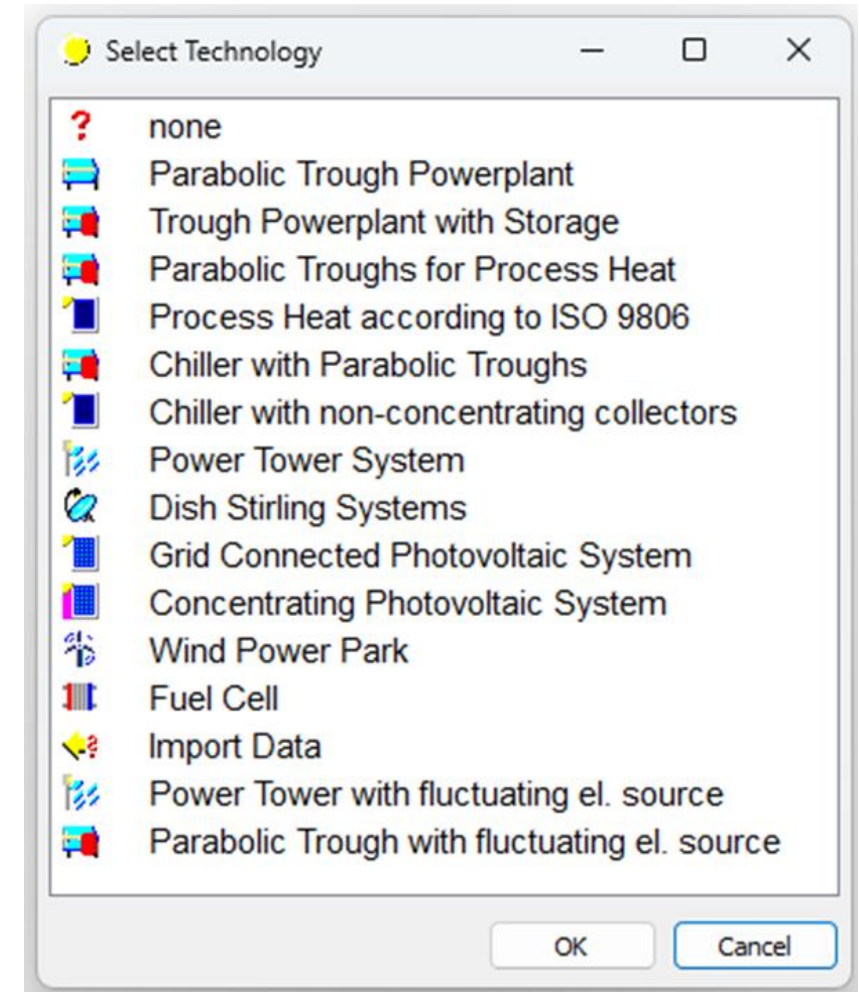
Ergebnisanalyse (5)

Key Results 3		
File Edit Help		
 Key Results   		
Technology Economics		
Technical Key Results		
Global irradiation on collector plane	kWh/(m ² ·a)	2096.10
Mean annual ambient temperature	°C	17.56
Diffuse irradiance model	Perez	
Site Position and Orientation:		
Site	Spain - Almeria	
Latitude	°N	36.83
Longitude	°E	-2.45
Fixed installation (no tracking)		
Azimuth angle	°	0.00
Elevation angle	°	40.00
Collector Field Dimension:		
Collector:	Ritter XL 15/26	
Number of collectors		220
Effective Collector Area	m ²	578.6
Land use	m ²	1546.5
Simulation Results:		
Annual solar heat generation	MWh _{th}	618
Annual fossil heat delivered	MWh _{th}	230
Total annual heat delivered	MWh _{th}	678
Specific thermal field output	kWh _{th} /m ²	1068.25
Mean annual field efficiency	%	50.96
Mean system efficiency	%	55.82
Solar share	%	66.17
CO ₂ emissions	t CO ₂	54.83
Cancel		

Key Results 22		
File Edit Help		
 Key Results   		
Technology Economics		
Economic Key Results		
Financial Input Parameters:		
Heat Tariff	€/kWh _{th}	0.0800
Grant Proportion (Renewable)	%	0.00
Debt-Equity-Ratio	%	70.00
Average Interest Rate	%	5.64
Simulation Results:		
Internal Rate of Return (IRR) on Equity	%	12.87
Net Present Value	€	74,133
Payback Period	yrs.	10.08
Discounted Payback Period	yrs.	12.33
Total Incremental Costs	€	295,977
Minimum ADSCR		1.21
Required Tariff for min. IRR	€/kWh	0.0783
Incremental LHC	€/kWh _{th}	0.0341
Calculation of LHC		
Levelized Heat Costs (LHC)	€/kWh _{th}	0.0641
Total Investment Costs (IC)	€	216,309
Annuity of IC		0.0782
NPV of Running Costs (OC)	€	339,835
Annuity of OC		0.0782
Environmental Aspects:		
Annual CO ₂ Reduction	t CO ₂	148.69
Cancel		

Andere Technologieoptionen

- Mit **greenius** können auch Solarturmsysteme oder PV-Anlagen simuliert werden
- Details dazu finden sich im **greenius** -Handbuch, das im Installationspaket enthalten ist und in den Installationsordner von **greenius** kopiert wurde
- Die Simulation der Prozesswärmeerzeugung mit Parabolrinnen wird in der Nachmittagssitzung gezeigt
- Die Prozesswärmeerzeugung mit Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren ist ebenfalls möglich



solarthermische Kollektoren

nicht-konzentrierend



Flachkollektor

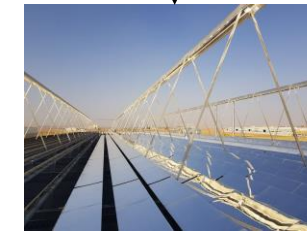


Vakuumröhren-
kollektor

konzentrierend



Parabolrinne

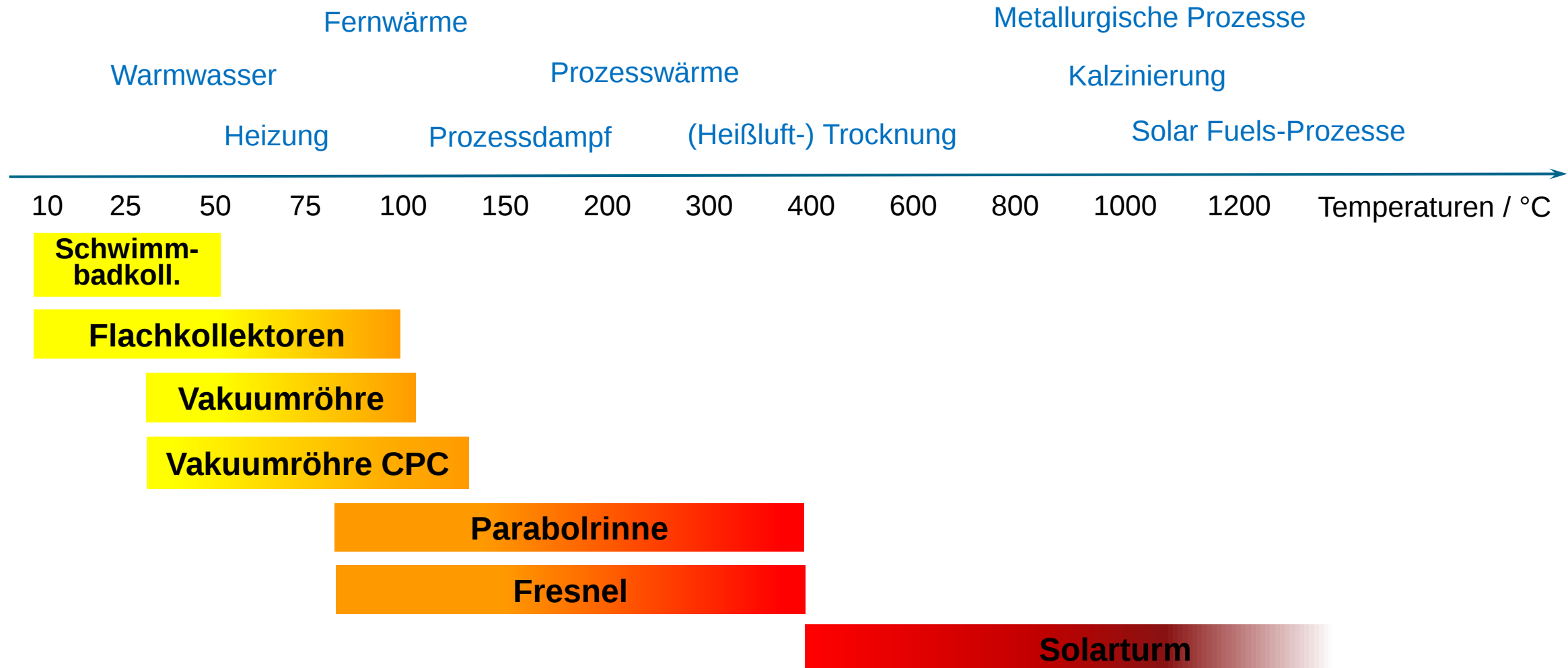
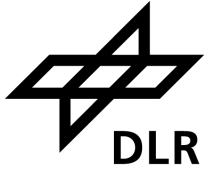


Fresnel-
Kollektor

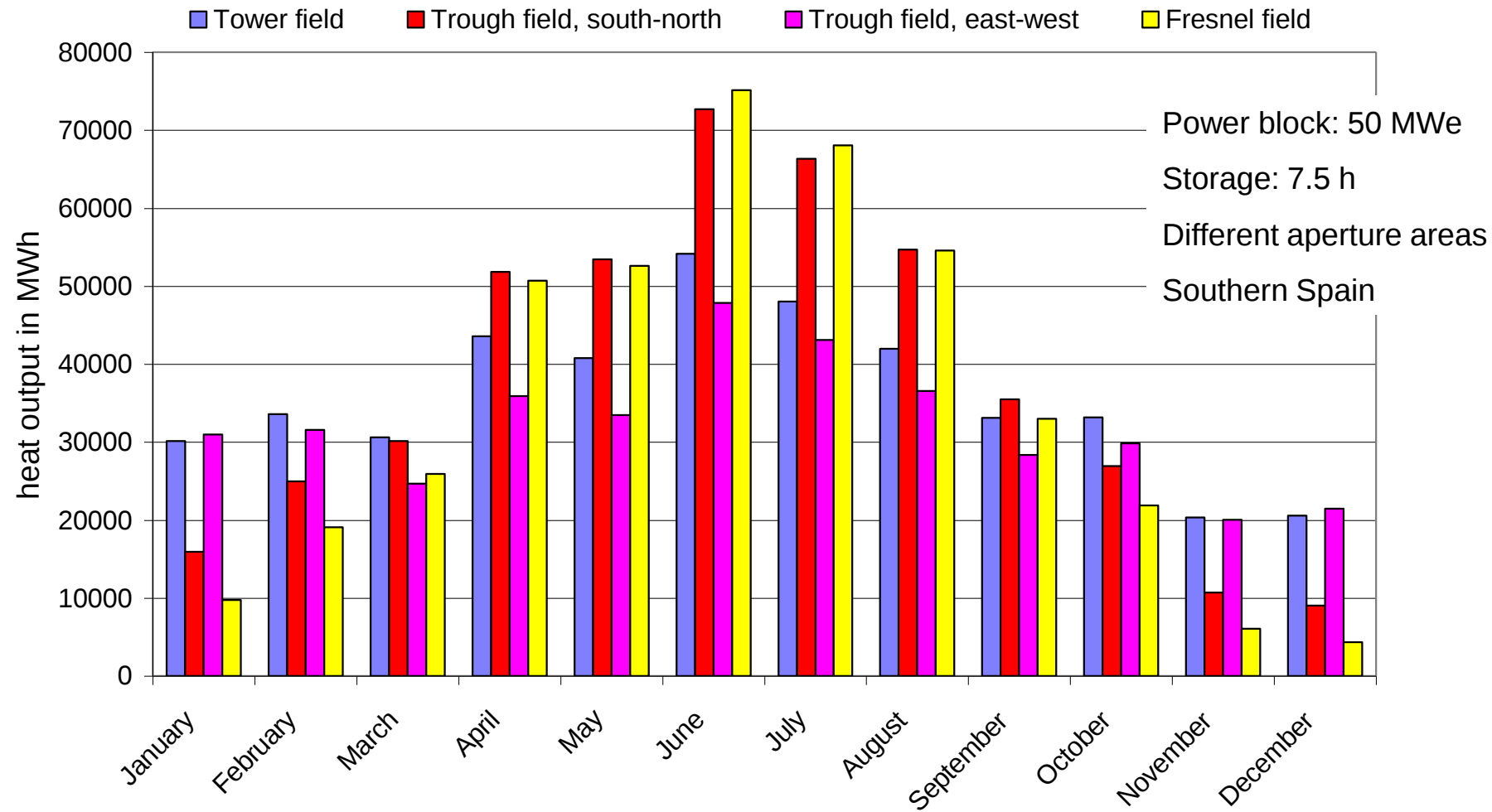


Solarturm

Temperaturbereiche

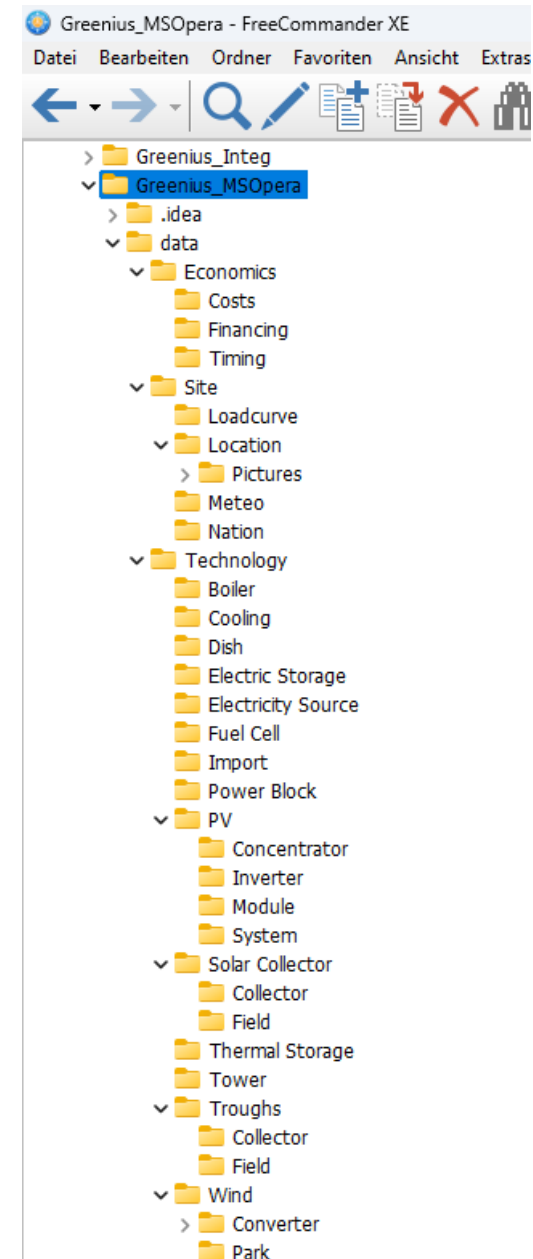


Unterschiedlicher jährlicher Ertrag



Struktur des greenius-Verzeichnisses

- Auf der Festplatte können mehrere Installationen von greenius vorhanden sein, jeweils in einem eigenen Ordner
- Das greenius-Stammverzeichnis enthält die ausführbare Datei und benötigte DLLs
- Das Datenverzeichnis enthält alle Datensätze, sowohl die mit greenius gelieferten als auch selbst erstellte
- Unterverzeichnisse im Ordner „data“ sind nach der entsprechenden Komponente/Form benannt
- greenius -Projekte werden als *.gpj-Dateien gespeichert, Standardverzeichnis ist das „data“-Verzeichnis
- Diese *.gpj-Dateien enthalten nur die Namen der *.gpa-Dateien, die für das jeweilige Projekt verwendet werden müssen
- Alle *.gpa-Dateien sind ASCII-Dateien und können mit einem Texteditor angezeigt werden
- Für den Austausch ganzer Projekte bietet greenius die Funktionen „Export“ und „Import“



Projektdateistruktur in greenius



- Alle Datensätze in greenius werden als ASCII-Dateien gespeichert und können mit einem Texteditor angezeigt werden
- Projektdateien haben die Erweiterung:: *.gpj
- Komponentendateien heißen: *.gpa
- Sie enthalten Datensätze in folgender Form:

Parametername <TAB> Value

- Nicht alle Komponenten müssen angegeben werden → Standarddateien
- %CMPDATADIR ist ein Platzhalter für das Standard-Komponentenverzeichnis (unterschiedlich je nach Komponententyp)
- Das Speichern des Projekts speichert nicht die Komponentendaten!

```
C:\Projects\greenius\data\Example_ISO9806.gpj - Notepad++
Datei Bearbeiten Suchen Ansicht Codierung Sprache Einstellungen Werkzeuge
Makros Ausführen TextFX Plugins Fenster ?
Example_ISO9806.gpj
1 Technology 4
2 Project_name Example_ISO9806
3 Created 39632.3136905671
4 Last_saved 45771.4100826736
5 Nation
6 Location %CMPDATADIR\Spain - Almeria.gpa
7 Loadcurve %CMPDATADIR\8_to_9_workingdays.gpa
8 Meteo %CMPDATADIR\Spain - Almeria.gpa
9 Costs
10 Timing
11 Financing
12 NCCollector %CMPDATADIR\Ritter XL 15_26.gpa
13 NCColField %CMPDATADIR\Spain_ISO9806.gpa
14 Storage %CMPDATADIR\400 kWh Storage.gpa
15 Boiler
16

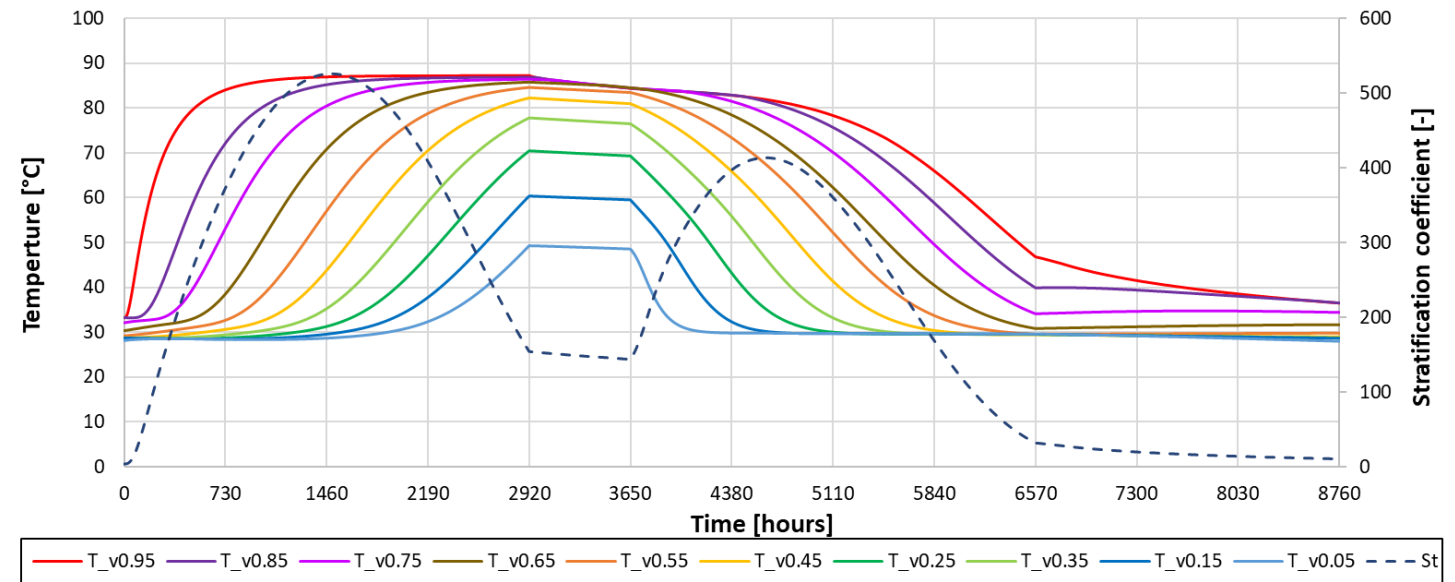
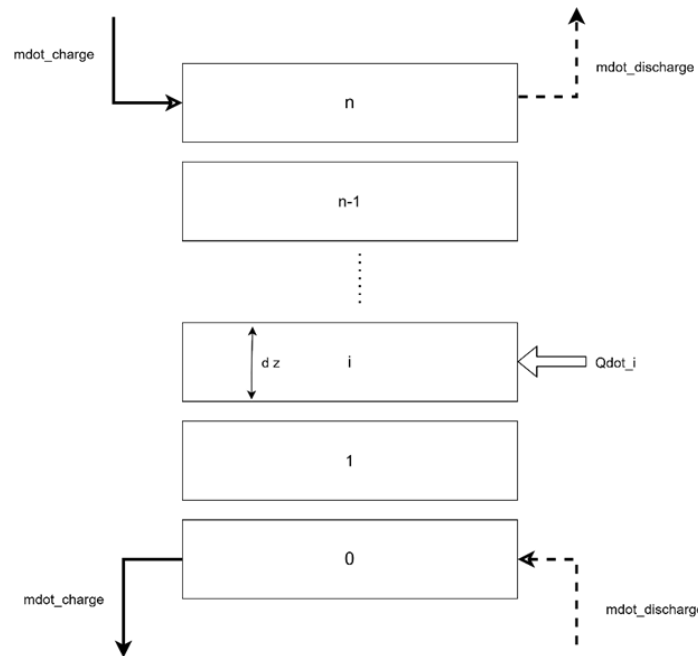
Ln : 1 Col : 1 Pos : 1 Windows (CR LF) UTF-8

C:\Greenius (Copias, proyectos, notas)\Greenius_5.1.0.3\Greenius\data\
Datei Bearbeiten Suchen Ansicht Codierung Sprache Einstellun
Eurotrough_PTR70.gpa
1 info_greeniusVersion 4.13.0.2
2 name Eurotrough PTR70
3 source DLR
4 contact greenius Team
5 collector_type 2
6 collector_length 5.76
7 collector_width 148.5
8 collector_area 855.36
9 max_temp 500
10 test_standard 1
11 eta_0b 0.7168
12 eta_0hem 0.0
13 factor_a1 0.03152
14 factor_a2 0
15 factor_a3 0
16 factor_a4 0
17 factor_a5 2860
18 factor_a6 0
19 factor_a7 0
20 factor_a8 1.30E-9
21 Kd 0.0
22 heat_cap 2.86
23 htf_vol 539
24 IAM_1
25 1
26 0.9899
27 0.9740
28 0.9521
29 0.9242
30 0.8899
31 0.8483
32 0.7971
33 0.7244
34 0.0
35 IAM_t
36 1
37 1
38 1
39 1
40 1
41 1
42 1
43 1
44 1
45 0
46
```

- **greenius** bietet umfangreiche Visualisierungsmöglichkeiten zur grafischen Auswertung der Ergebnisse
- Ergebnisdateien können im Microsoft Excel-Format exportiert und weiterverarbeitet werden
- Alle Eingabeparameter sind mit sinnvollen Standardwerten vorbelegt
- Benutzer können sowohl einzelne Datensätze als auch komplette Projekte im ASCII-Format speichern
- Zwei oder mehr Projekte lassen sich parallel öffnen und miteinander vergleichen
- Für die Archivierung kann die Exportfunktion genutzt werden. Sie speichert sämtliche Eingabedaten und Parameter des aktuellen Projekts in einer einzigen Datei

Ausblick: Saisonaler Speicher

- Implementierung saisonaler Speicher als Schichtspeicher
- Integration mit Wärmepumpen für Prozesswärme und Fernwärmesysteme



Ausblick: Strukturelle Verbesserungen



- Softwarestruktur-Update: Neue Energiesysteme integrieren, Benutzerfreundlichkeit verbessern
- Kraft-Wärme-Kopplungssimulation: Gleichzeitige Modellierung von Strom und Wärme
- Strompreisgestaltung: Stundenbasierte Preisverläufe und Netzintegration
- Parameter-Variationen: Automatisierte Sensitivitätsanalysen für schnellere Auslegung
- Verbreitung von greenius: Schulungen, Webinare, Workshops, Newsletter, Community-Building
- Modellierungsempfehlungen: Standardisierte Dokumentation und Parametersätze für solarthermische Prozesswärmesysteme

- Hybride CST-Systeme mit Wärmespeicher, Power-to-Heat und Backup-Brennstoffen
- Power-to-Heat-Systeme: Elektrifizierung der Prozesswärme mit PV, Wärmepumpen oder Elektroheizern
- Schichtspeicher & Rohrverluste: Simulation von Schichtspeichern und Wärmeverlusten in der Verteilung
- CO₂-Vermeidung: Direkte Emissionen und Minderungs-Potenzial bewerten
- Aktualisierte Komponentendatensätze: Neueste Technologieparameter für präzise techno-ökonomische Analysen
- Integration mit Industrie und internationalen Organisationen: Nutzerfeedback, Leitlinienbeiträge, Community-Building

- Die Funktionen und die typische Nutzung von **greenius** wurden vorgestellt
- Der Schwerpunkt dieses Teils lag auf Solarthermie-Anlagen
- In den folgenden Teilen wird **greenius** durch praktische Übungen kennengelernt
- Diese Übungen dienen gleichzeitig als Einführung in die solare Prozesswärmeerzeugung

- Entwicklung kosteneffizienter Komponenten von Parabolrinnenkollektorfeldern → Senkung der Wärmegestehungskosten
- Evaluierung von bestehenden Anlagen
- Erarbeitung von Konzepten für die Einbindung von konzentrierenden Kollektorfeldern in Wärmenetze und Prozesswärmesysteme
- Planung und Kostenermittlung von Wärmespeichern
- **Weiterentwicklung marktgängiger Auslegungstools für Planer und Industrie**
- Wissensvermittlung (Workshops, Vor-Ort-Besichtigungen von Anlagen, Schulungen, Publikationen)



Laufzeit: Mai 2024 bis April 2027

Gefördert durch:

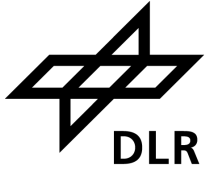


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Akteure von ProSolNetz



Projektpartner:



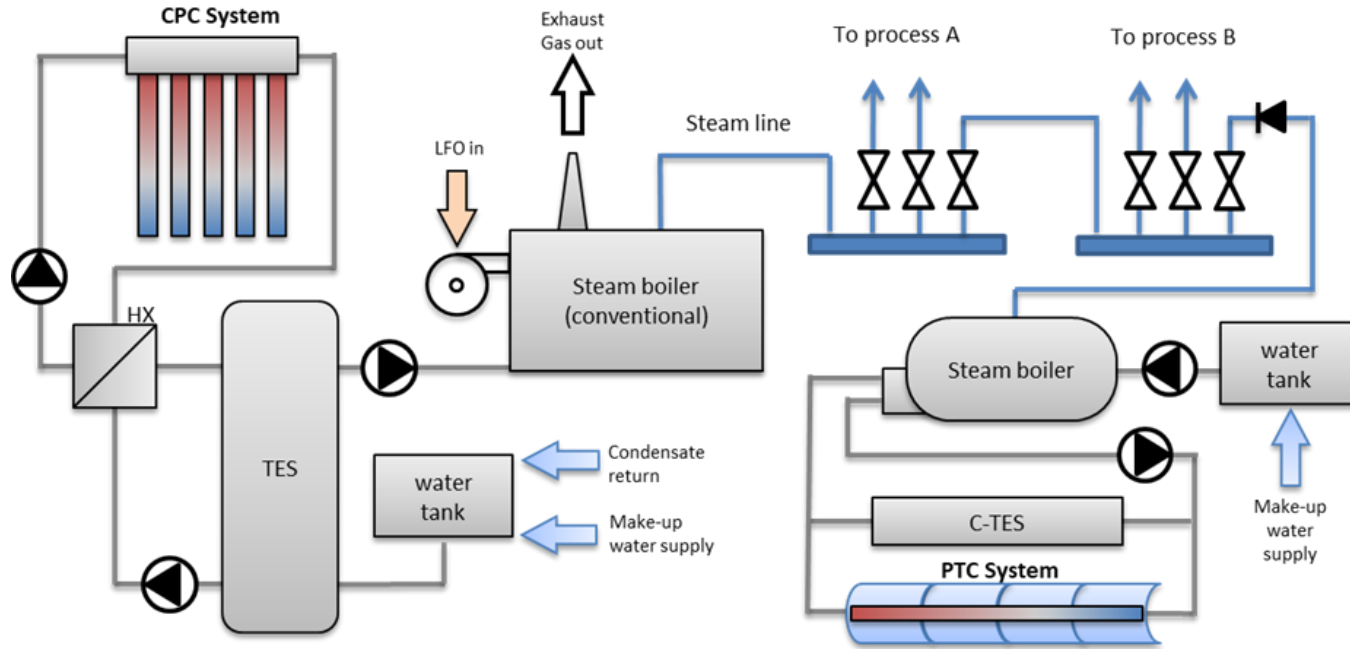
Im Auftrag:



Beirat:



Integration von Solarwärme in ein Dampfnetz in der Getränkeindustrie auf Zypern



Dampfnetz mit Solarkollektoren



Parabolrinnenkollektor von Protarget (Foto: Protarget)

Wärmeleistung 140 kW, Betonspeicher mit max. 380 °C, Wärmeträgermedium Silikonflüssigkeit, Erzeugung von Sattedampf bei 190 °C, Inbetriebnahme 2019

Solare Prozesswärme für einen Chemiebetrieb

- Parabolrinnenfeld mit 5.540 m² Aperturfläche in 3 Schleifen und einer Gesamtleistung von 2,5 MW
- Typ: EuroTrough-Kollektoren
- Silikonöl im Solarfeld (280–380 °C)
- Mineralöl (260-280/300 °C) auf der Verbraucherseite
- Beton-Wärmespeicher
- Energie-Contracting

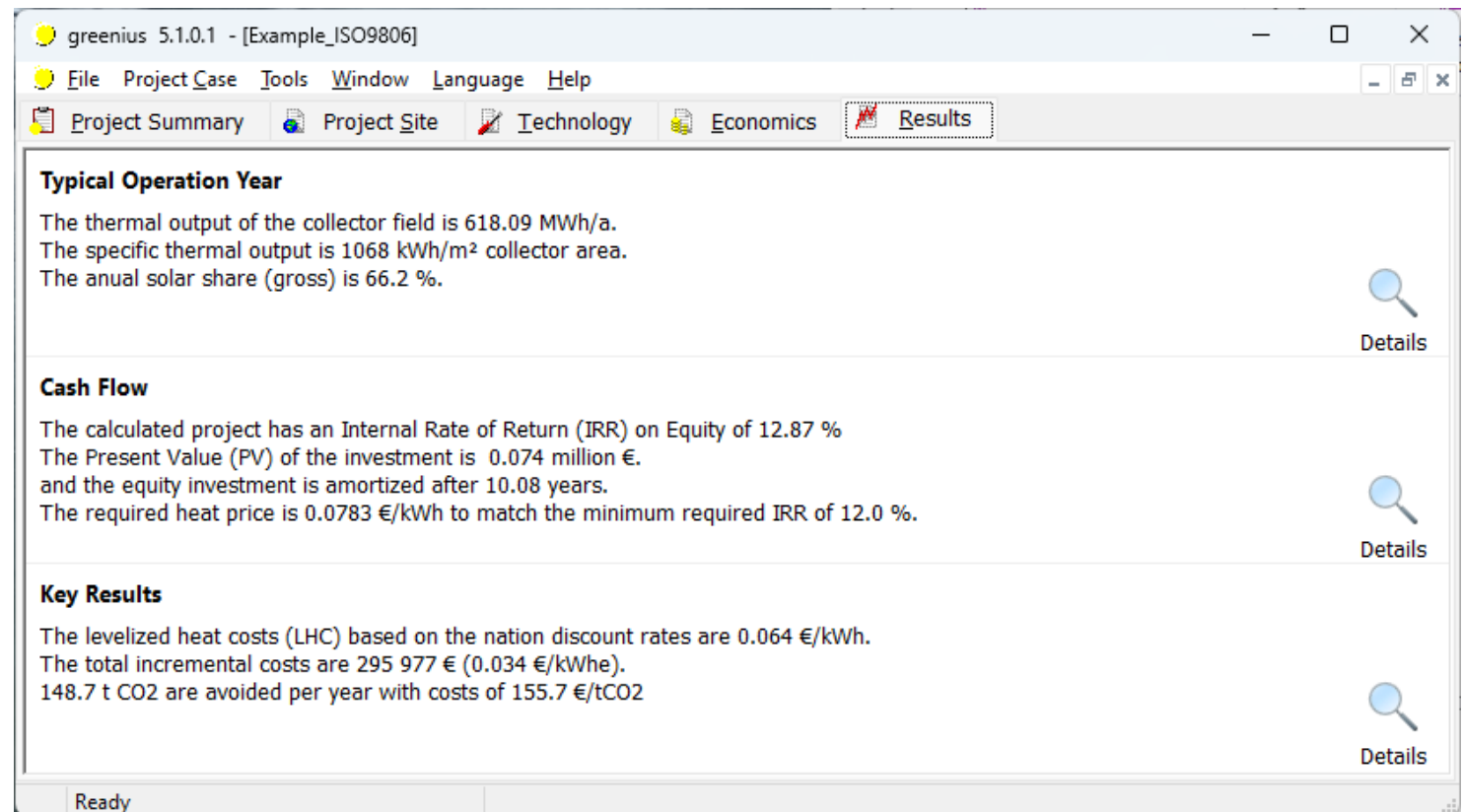


Solarkollektorfeld von Solarlite, Deutschland Energieübertragungsstation (BoP) und Speichertank (Foto: Avery Dennison)

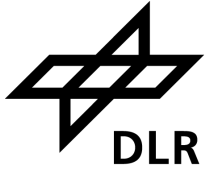
Übungen

Übung 1: Laden und Ausführen des Beispiels „Example_ISO9806“

- Starten Sie **greenius** auf Ihrem Rechner
- Laden Sie das Beispiel „Example_ISO9806“ und führen Sie die Simulation durch
- Die Ergebnisse sollten folgendermaßen aussehen:

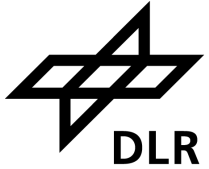


Übung 2: Erstellung einer eigenen Berechnung für den Standort Würzburg



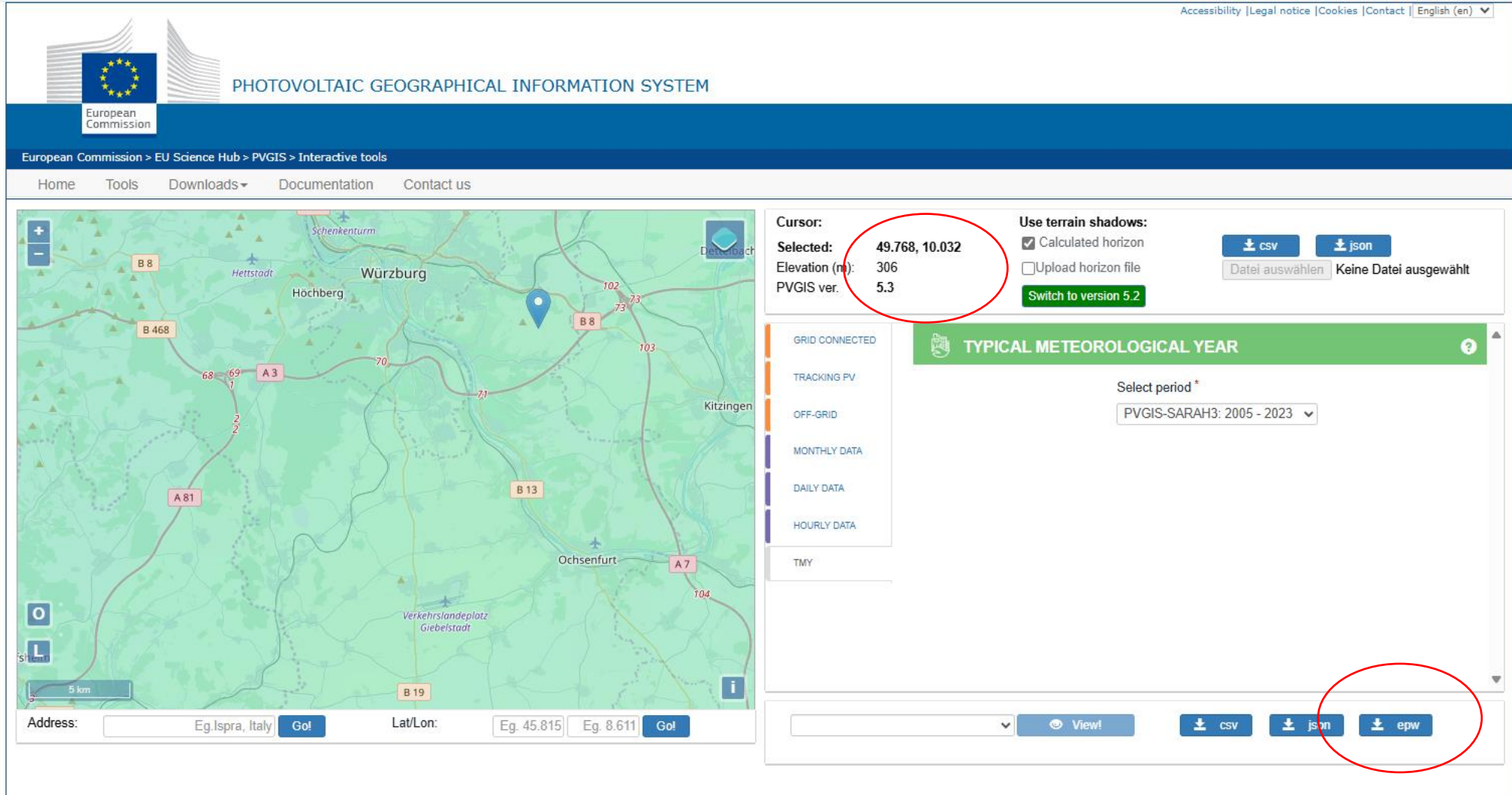
- Längengrad: 10.032°O
- Breitengrad: 49.768°N
- Meteo-Datei: Import aus PVGIS (Endung: *.epw)
- Technologie: Prozesswärmeanlagen nach ISO 9806
- Kollektortyp: Bosswerk CPC+12
- Kein Speicher:
- Betriebsweise: solar only
- Parameter des Solarfelds: entsprechend Folie 52

Übung 2: Beschaffung einer TMY Meteodatei



- Mögliche Quellen sind im Handbuch auf Seite 37/38 genannt
- Für unsere Zwecke eignen sich TMY Dateien von PVGIS, DWD oder METEONORM
- Die ersten beiden Anbieter sind kostenlos, DWD erfordert eine Anmeldung, METEONORM kostet aktuell 675 CHF
- greenius bietet Importfilter für diese Meteodateien
- Wenn Sie Meteodateien aus anderen Quellen haben, müssen Sie diese eventuell manuell in das richtige Format bringen. Dazu kann man eine vorhandene Datei in Excel öffnen, die eigenen Daten hinein kopieren und dann als „Text (Tabstop-getrennt)(txt)“ abspeichern.

Übung 2: Laden einer TMY Datei von PVGIS



PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

European Commission

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us

Cursor:
Selected: 49.768, 10.032
Elevation (m): 306
PVGIS ver.: 5.3

Use terrain shadows:
☒ Calculated horizon
☐ Upload horizon file
Switch to version 5.2

Download: csv json
Datei auswählen Keine Datei ausgewählt

TYPICAL METEOROLOGICAL YEAR

Select period *
PVGIS-SARAH3: 2005 - 2023

Address: Eg. Ispra, Italy Go! Lat/Lon: Eg. 45.815 Eg. 8.611 Go!

Download: csv json epw

50



Klimaberatungsmodul

Beratungskategorie

Energie- und Bauwesen

Beratungsleistung

Testreferenzjahre TRY

Produktkonfiguration / Auswahlübersicht

Gewählte Datensätze

Bezugskoordinaten (WGS84)

49,7786° N 10,0359° O

Eine Gitterzelle ausgewählt

Wenn Sie auf den Button **Zur Auswahlübersicht** klicken, haben Sie im nächsten Schritt die Möglichkeit, die Testreferenzjahre zu den/der ausgewählten Gitterzelle/n entgeltfrei herunterzuladen.

Zur Auswahlübersicht

© DWD 2025, Impressum, Datenschutz, Disclaimer, Erklärung zur Barrierefreiheit

Übung 2: Einzelschritte



- Start von **greenius** : „Neues Projekt“
- Import der Meteodatei
- Umbenennen und abspeichern der Meteodatei im greenius *.gpa Format
- Umbenennen und Abspeichern des Standortes
- Laden eines Kollektors aus der Solarkeymark DB und abspeichern als *.gpa
- Ändern der Einstellungen für das NC Kollektorfeld entsprechend der folgenden Folie und speichern als *.gpa
- Laden der NoStorage.gpa für den Speicher
- Simulation durchführen und das Projekt speichern als „Übung2“

Übung 2: Parameter des Kollektorfeldes

Übung2

Datei Bearbeiten Kosten Hilfe

Kollektorfeld

Kollektorfeld

Allgemein

Name Übung2

Kollektorname Bosswerk CPC+12

Anzahl Loops 10

Reihen pro Loop 1

Kollektoren pro Reihe 10

Feldgröße (Bruttofläche) 258.8 m²

Feldnennleistung ¹ 118.8 kW

¹ 1000 W/m² Sonnenstrahlung, 20°C Umgebungstemperatur

Reihenabstand 2.00 m

Unbeschattete Reihen 1

Landbedarf-Faktor 2.50

Landbedarf 647.0 m²

spezif. Eigenverbrauch 0.050 W_{el}/W_{th}

Ausrichtung und Betrieb

Azimet Süd 0.0 °

Elevation 30.0 °

Höhendifferenz 0.0 m

Eintritts-Temperatur 40.0 °C

Auslass-Temperatur 90.0 °C

Solltemperatur 65.0 °C

Verrohrung

Verluste basierend auf Rohrlänge

Gesamtlänge 20.0 m

Durchmesser 50.0 mm

Spezifische Masse 8.00 kg/m

Wärmekapazität 0.109 Wh/(kgK)

Rohrleitungsverlustkoeff 0.2 W/(m K)

Wärmeträger

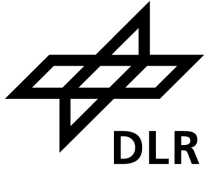
Type Water/Glycol

Dichte	Wärmekap.	Temp.
kg/m ³	Wh/(kgK)	°C
1060	0.9806	20
1036	1.0083	60
1009	1.0361	100

OK Übernahme Abbruch

- Anzahl Loops: 10
- Auslass-Temperatur: 90°C
- Gesamtlänge: 20 m
- Durchmesser: 50 mm
- Wärmeträger: Water/Glycol

Übung 2: Analyse der Ergebnisse



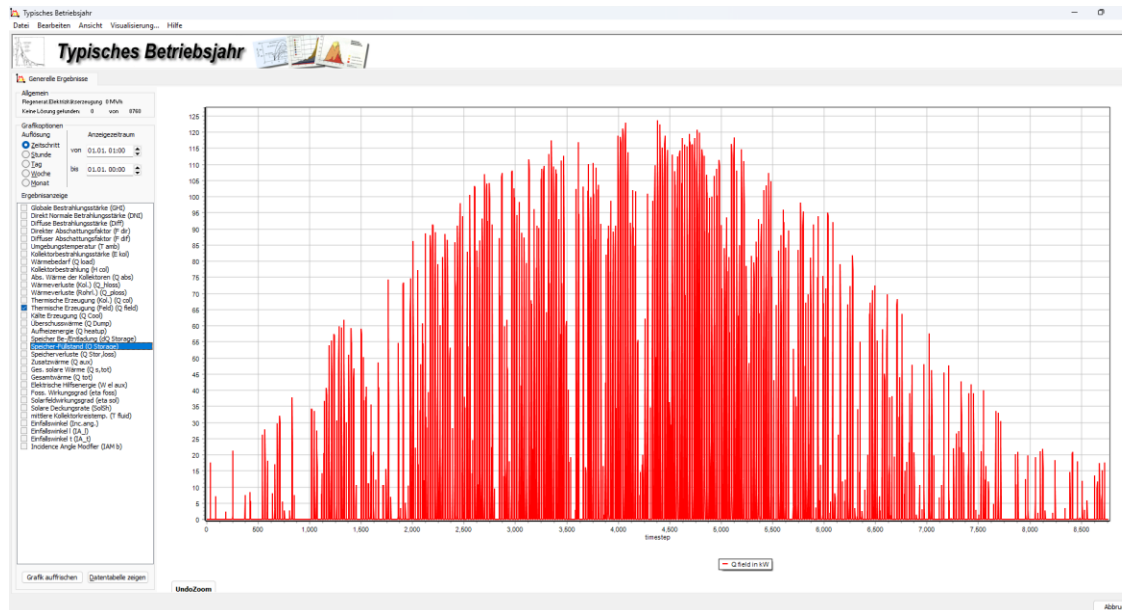
- Fenster „Typisches Betriebsjahr“ öffnen
- Plotten:
 - E_{col} (Einstrahlung in Kollektorebene in W/m^2)
 - H_{col} (Gesamte Einstrahlung auf das Kollektorfeld in kW) = $E_{col} * \text{Aperturfläche}$
 - Q_{abs} (Absorbierte Wärme des Kollektorfeldes in kW)
 - Q_{col} (thermische Erzeugung der Kollektoren in kW)
 - Q_{field} (max. produzierte Nutzwärme in kW)
 - Aufheizenergie
 - Solarfeldwirkungsgrad
 - T_{fluid}
- Schließen von **greenius** und Beantworten der Fragen zur Speicherung

Übung 3: Solarfeld mit Speicher

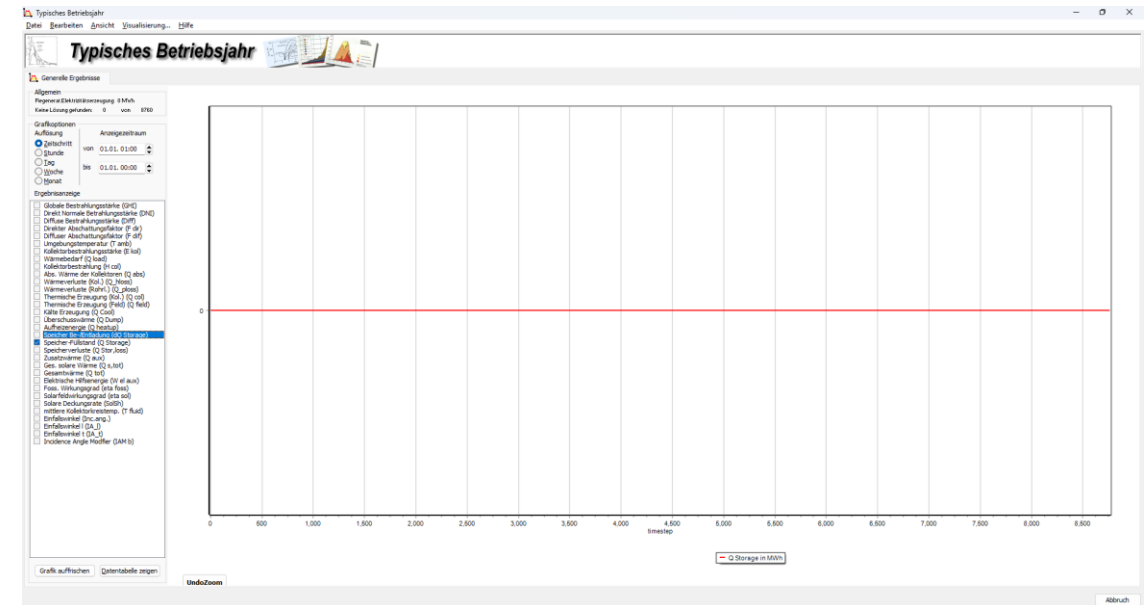


- Öffnen Sie greenius und laden Sie das letzte Projekt
- Da wir das jetzt modifizieren wollen, speichern wir es zunächst unter dem neuen Namen „Übung3“ ab
- Anschließend noch den Namen in Datei -> Projektinformation ändern
- Den Speicher „400 kWh Storage“ laden
- Wir haben jetzt eine Solarfeld-Nennleistung von 119 kW und einen Speicher von 400 kWh
- Führen Sie die Berechnung durch und analysieren die Ergebnisse

Übung 3: Analyse der Ergebnisse



Q_field

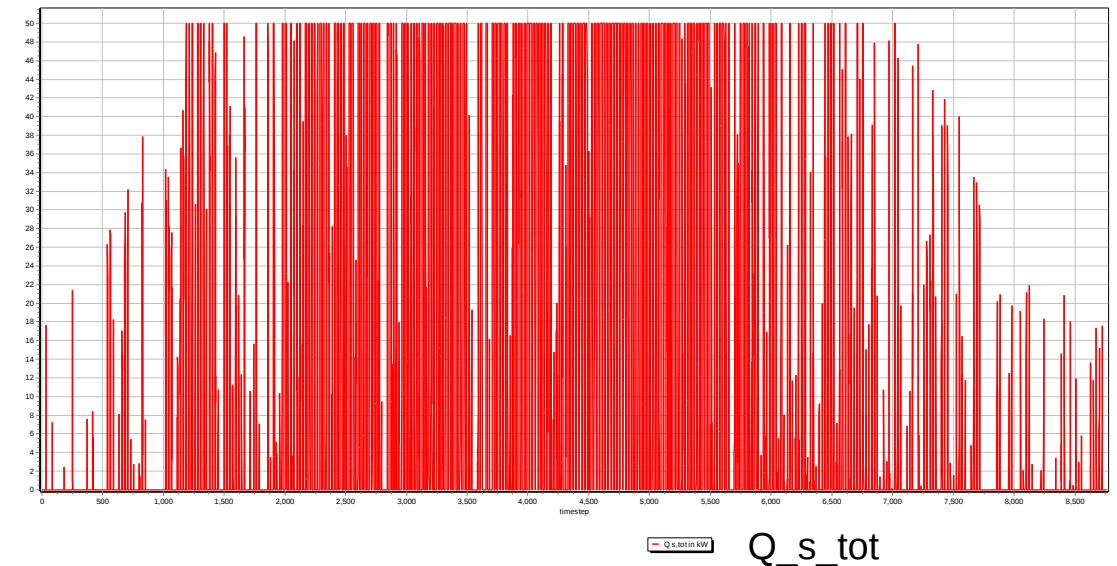
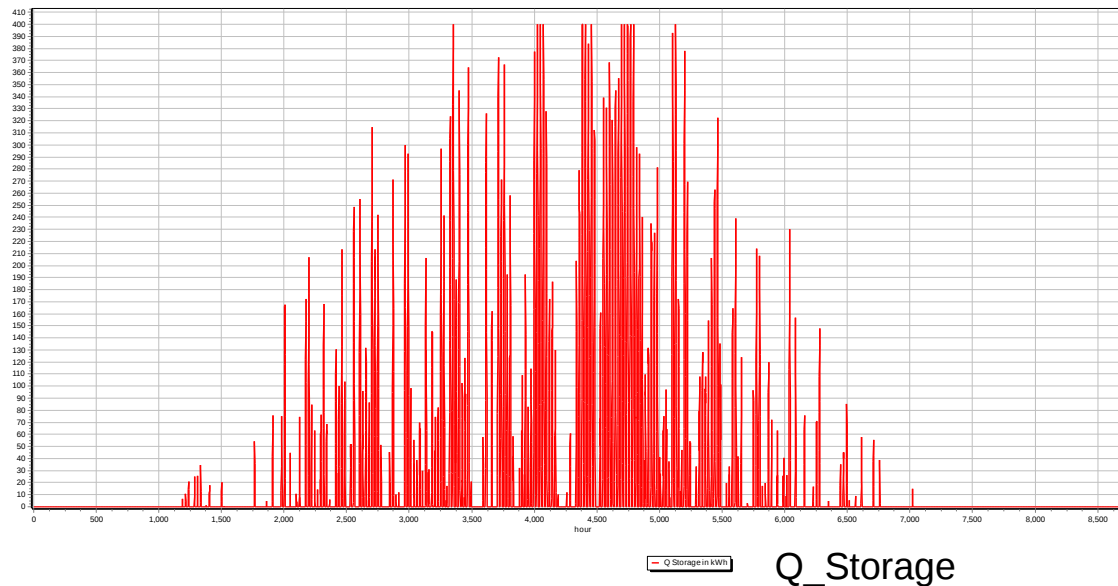


Q_storage

- Der Speicher wird nie benutzt!
- Grund: es wurde kein Lastprofile definiert, die Betriebsweise ist „solar only“

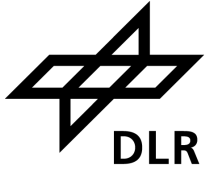
Übung 3: Lastgang hinzufügen

- Laden Sie die Lastgang Datei „Const Load 50 kW.gpa“
- Führen Sie die Simulation durch und analysieren Sie die Ergebnisse



- Der Speicher wird jetzt in den Sommermonaten genutzt und die Energielieferung ist auf 50 kW beschränkt
- Wenn das Solarfeld mehr Wärme liefert, wird diese eingespeichert und wenn es weniger liefert, wird der Speicher entladen.

Übung 4: Manipulation der Lastkurve



- Relative Werte für Samstag und Sonntag auf 0.0 setzen und auf das ganze Jahr übertragen
- Relative Werte von 6 – 18 Uhr auf 1.0 und von 19 – 5 Uhr auf 0.0 setzen. Achtung die Spaltenköpfe zeigen die Stunde des Tages an!
- Eigene Lastdaten entweder direkt in das greenius Fenster einfügen
- Oder eine Lastdatei *.gpa mit Excel öffnen, die Spalte „LoadData“ manipulieren, und als Textdatei (Tabstopp getrennt abspeichern)
- Nicht vergessen die manipulierte Datei unter einem neuen Namen abzuspeichern, um sie zu erhalten und die ursprüngliche Datei nicht zu überschreiben

Übung 5: Ökonomische Berechnungen



- Öffnen Sie das Projekt „Übung3“ mit der ursprünglichen Lastkurve „Const Load 50 kW.gpa“
- Benennen Sie es um und speichern es als „Übung5“ ab

Übung 5: Ökonomische Berechnungen (Eingaben 1)

Übung5

Datei Bearbeiten Hilfe

 **Nation**  

Nationale Ökonomie

Allgemein

Name Übung5

Vergütungstarife

Elektrizität 0.190 €/kWh ☒ fix ☐ variabel

Wärme/Kälte 0.120 €/kWh

Referenzjahr 2025

Fixer fos. Brennstoffeinsatz 0.0 %

Steuern

Einkommenssteuer 30.00 %

Vermögenssteuer 0.00 %

Steuerbefreiung 0.00 Jahre

Verlustvortrag 0.00 Jahre

Diskontrate

für Investitionskosten 6.00 %

für laufende Kosten 6.00 %

Preissteigerungsraten

Vergütungssteigerung 0.00 %

Betriebskostensteigerung 0.00 %

Ersatzteilpreissteigerung 0.00 %

Brennstoffpreissteigerung 1.80 %

Bezugspreise

Brennstoffpreis 0.090 €/kWh

Wasserpreis 0.050 €/m³

Für Netzbezug 0.150 €/kWh

Referenzjahr 2025

Konventionelle Bezugswerte

Elektrizität

Gestehungskosten 0.050 €/kWh

CO₂-Emissionen 0.600 kg/kWh

Wärme

0.120 €/kWh

0.300 kg/kWh

OK Übernahme Abbruch

Technologiespezifische Kosten

Allgemein

Kollektorfeld 1

*) Referenzjahr 2025

Landbedarf *) 647 m²

Investitionskosten 2)

Feldgröße 259 m²

Spezifische Kosten 300.0 €/m²

Gesamte Investitionskosten 77 700 €

2) Angaben zu Baubeginn

Betriebskosten *)

Spezifische Betriebskosten 1.00 €/m²·yr

Gesamte Betriebskosten 259 €/a

Spezifische Ersatzteilkosten 0.00 %/a

Gesamte Ersatzteilkosten 0 €/a

Garantiezeit 0.00 yr

Spezifische Versicherungskosten 0.50 %/a

Gesamte Versicherungskosten 389 €/a

Kostenaufteilung für die LEC-Berechnung bei Kraft-Wärmekopplungssystemen

Jahreswirkungsgradverhältnis

Elektrizität: % Wärme: 100.0 %

OK Übernahme Abbruch

Technologiespezifische Kosten

Allgemein

Speicher 1

*) Referenzjahr 2018

Landbedarf *) 100 m²

Investitionskosten 2)

therm. Kapazität 400 kWh

Spezifische Kosten 20.0 €/kWh

Gesamte Investitionskosten 8 000 €

2) Angaben zu Baubeginn

Betriebskosten *)

Spezifische Betriebskosten 0.00 €/kWh

Gesamte Betriebskosten 0 €/a

Spezifische Ersatzteilkosten 0.00 %/a

Gesamte Ersatzteilkosten 0 €/a

Garantiezeit 0.00 yr

Spezifische Versicherungskosten 0.50 %/a

Gesamte Versicherungskosten 40 €/a

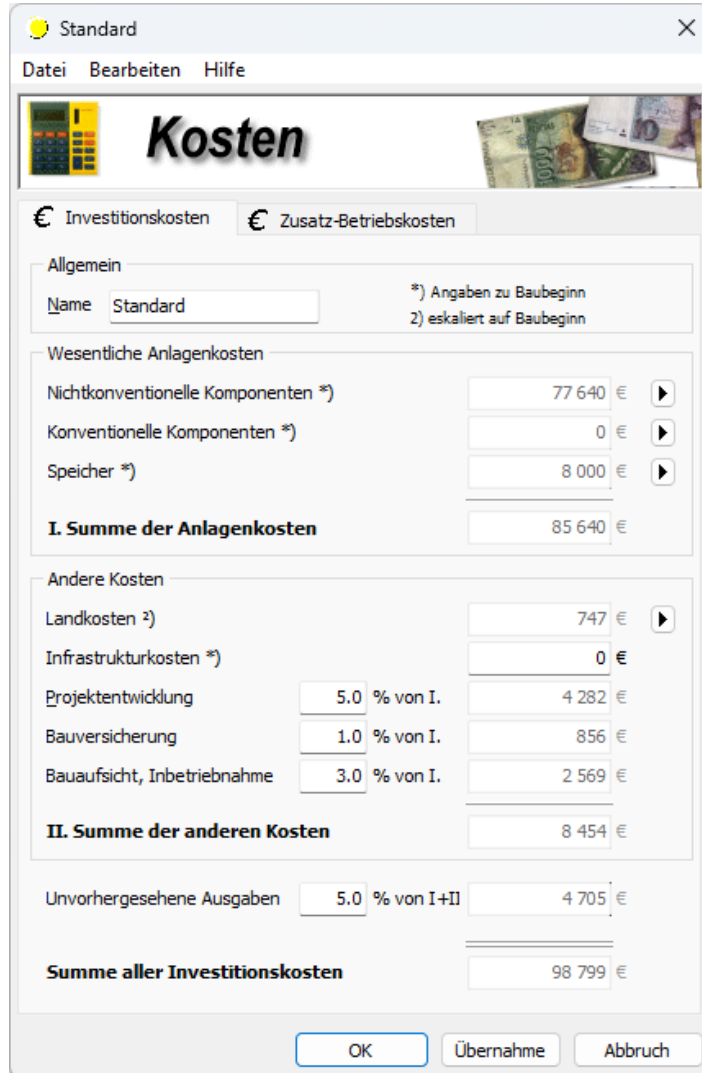
Kostenaufteilung für die LEC-Berechnung bei Kraft-Wärmekopplungssystemen

Jahreswirkungsgradverhältnis

Elektrizität: % Wärme: 100.0 %

OK Übernahme Abbruch

Übung 5: Kosten



Standard

Datei Bearbeiten Hilfe

Kosten

€ Investitionskosten € Zusatz-Betriebskosten

Allgemein

Name: Standard *) Angaben zu Baubeginn
2) eskaliert auf Baubeginn

Wesentliche Anlagenkosten

Nichtkonventionelle Komponenten *)	77 640 €
Konventionelle Komponenten *)	0 €
Speicher *)	8 000 €
I. Summe der Anlagenkosten	85 640 €

Andere Kosten

Landkosten 2)	747 €
Infrastrukturkosten *)	0 €
Projektentwicklung 5.0 % von I.	4 282 €
Bauversicherung 1.0 % von I.	856 €
Bauf Aufsicht, Inbetriebnahme 3.0 % von I.	2 569 €
II. Summe der anderen Kosten	8 454 €

Unvorhergesehene Ausgaben 5.0 % von I+II 4 705 €

Summe aller Investitionskosten 98 799 €

OK Übernahme Abbruch

- In dem Fenster „Kosten“ werde die Summen der Komponentenkosten angezeigt
- Zusätzlich kann man dort noch Angaben zu Infrastrukturkosten machen
- Sowie zu Aufschlägen für Projektentwicklung, Bau, etc.
- Diese Aufschläge sind natürlich nur dann zu berücksichtigen, wenn sie nicht schon in den Komponentenkosten enthalten sind

Übung 5: Ökonomische Berechnungen (Eingaben 2)



Standard

Datei Bearbeiten Hilfe

Zeitplan

Projektfahrplan

Allgemein

Name

Standard

Referenz-Diskontierungsjahr

2025

Betriebsphase

Inbetriebnahme

2026

Betriebsdauer

25

Jahre

Betriebsende

2051

Abschreibungsphase

Abschreibungsmethode

Linear

Degressiv

Abschreibungsdauer

15

Bauphase

Errichtungsdauer

1

Ja

Baubeginn

2025

Kostenverteilung in der Bauphase:

Jahr	Anteil
0.5	0.5000
1.0	0.5000

OK

Übernahme

Abbruch

Standard

Datei Bearbeiten Hilfe

Finanzierung

Finanzierungsquellen Kredit-Finanzierung

Allgemein

Name

Standard

Interner Soll-Zinsfuß

12 %

Finanzierungsquellen

Zuschüsse

30.0 % der nichtkonventionellen Komp.

23 292 €

0.0 % der konventionellen Komp.

0 €

Summe der Zuschüsse

23 292 €

Kredite

70.0 %

52 855 € (*)

Eigenkapital

30.0 %

22 652 € (*)

Finanzierungssumme

98 799 € (*)

(*) ohne Bankgebühren und Zinsen während der Bauphase

OK

Übernahme

Abbruch

Standard

Datei Bearbeiten Hilfe

Finanzierung

Finanzierungsquellen Kredit-Finanzierung

Kredit-Finanzierung

A

Neu

Löschen

Konditionen:

Anteil

100.00 % des Kreditvolumens

52 855 €

Zinssatz

5.40 % p.a.

Laufzeit

10 Jahre

Aufschlag

0.00 % d. Zeichnungssumme

0 €

Bereitstellung

0.40 % d. Zeichnungssumme

211 €/a

Tilgungsfrei

0 Jahre für Tilgung

Spezielle Kreditfinanzierung während der Bauphase

Keine Zwischenfinanzierung

Zwischenfinanzierung während der Bauphase

Konditionen:

Anfangs-Kapitalbedarf

75 507 €

Aufschlag

2.00 % von oben

1 510 €

Provision

1.00 % von oben

755 €/a

Zinssatz

8.00 % p.a.

OK

Übernahme

Abbruch

Workshop ProSolNetz, November 2025

61

Übung 5: Ökonomische Berechnungen Ergebnisse

Cash Flow													
Datei Bearbeiten Hilfe													
Zusammenfassung Betriebsphase Bauphase Schuldendienst Abschreibung und Steuern													
	unit	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Gesamteinnahmen	€	0	52,560	52,560	52,560	52,560	52,560	52,560	52,560	52,560	52,560	52,560	52,560
Ges. laufende Kosten	€	0	36,794	37,421	38,059	38,709	39,371	40,044	40,730	41,428	42,139	42,862	43,598
Netto-Betriebs-CF	€	0	15,766	15,139	14,501	13,851	13,189	12,516	11,830	11,132	10,421	9,698	8,962
Investitionskosten	€	98,799	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vor-Finanz.-CF	€	-98,799	15,766	15,139	14,501	13,851	13,189	12,516	11,830	11,132	10,421	9,698	8,962
Beihilfen	€	23,292	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eigenkapitalfinanzierung	€	22,652	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kreditaufnahme	€	52,855	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schuldendienst	€	0	-8,032	-7,750	-7,468	-7,187	-6,905	-6,623	-6,342	-6,060	-5,778	-5,497	0
Nach-Finanz.-CF	€	0	7,734	7,389	7,032	6,664	6,284	5,892	5,488	5,072	4,643	4,201	8,962
Steuerschuld (Ersparnis)	€	0	-2,674	-2,570	-2,463	-2,353	-2,239	-2,121	-2,000	-1,875	-1,747	-1,614	-1,456
CF nach Steuern	€	0	5,060	4,819	4,569	4,311	4,045	3,771	3,488	3,197	2,896	2,587	7,505
Dividenden	€	0	5,060	4,819	4,569	4,311	4,045	3,771	3,488	3,197	2,896	2,587	7,505
Diskontierter CF	€	0	4,774	4,289	3,836	3,415	3,023	2,658	2,320	2,006	1,714	1,445	3,954
Disk. Eigenkapitalbedarf	€	22,652	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Barwert	€	25,610											
Eigenkapitaldividenden	€	-22,652	5,060	4,819	4,569	4,311	4,045	3,771	3,488	3,197	2,896	2,587	7,505
int. Eigenkap. Zinsfuß (IRR)	%	18.87											
ADSCR		n/a	1.63	1.62	1.61	1.60	1.59	1.57	1.55	1.53	1.50	1.47	n/a
min. ADSCR		1.47											
Amortisationszeit	yrs.	4.96											
Disk. Amortisationszeit	yrs.	6.28											

Abbruch

Übung 5: Ergebnis-Zusammenfassung

Zusammenfassung 1

Datei Bearbeiten Hilfe

Key Results

Technologie Ökonomie

Technische Zusammenfassung		
Meteorologische Daten:		
Globale Horizontalstrahlung (GHI)	kWh/(m ² ·a)	1186.79
Diffuse Horizontalstrahlung (Diff)	kWh/(m ² ·a)	580.70
Direkte Horizontalstrahlung (DHI)	kWh/(m ² ·a)	606.09
Globale Bestrahlung in Kollektorebene	kWh/(m ² ·a)	1380.85
jahresmittlere Umgebungstemperatur	°C	9.91
Diffusstrahlungsmodell		Perez
Standort und Ausrichtung:		
Standort		Würzburg
Breitengrad	°N	49.77
Längengrad	°O	10.03
Feste Installation (keine Nachführung)		
Azimutwinkel	°	0.00
Elevationswinkel	°	30.00
Kollektorfeldauslegung:		
Kollektor:		Bosswerk CPC+12
Kollektoranzahl		100.00
Effektive Kollektorfläche	m ²	258.8
Landbedarf	m ²	747.0
Simulationsergebnisse:		
jährliche solare Wärmezeugung	MWhth	99
jährliche fossile Wärmelieferung	MWhth	342
gesamte jährliche Wärmelieferung	MWhth	438
spezifischer thermischer Feldertrag	kWh_th/m ²	381.55
mittlerer Feldwirkungsgrad	%	27.63
mittlerer Systemwirkungsgrad	%	121.27
solarer Anteil	%	21.86
CO ₂ -Emissionen	t CO ₂	81.76

Abbruch

Zusammenfassung 1

Datei Bearbeiten Hilfe

Key Results

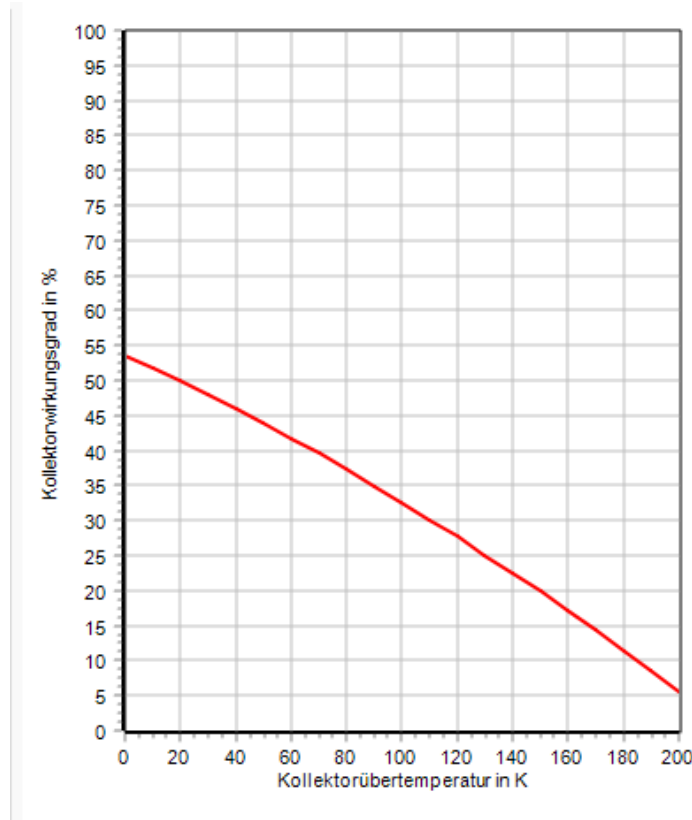
Technologie Ökonomie

Ökonomische Zusammenfassung		
Ökonomische Eingabeparameter:		
Wärmetarif	€/kWh_th	0.1200
Förderrate (erneuerbar)	%	30.00
Verschuldungsgrad	%	70.00
durchschnittlicher Zinssatz	%	5.40
Simulationsergebnisse:		
Interner Zinsfuß	%	18.87
Netto-Barwert	€	25,610
Amortisationszeit	Jahre	4.96
diskontierte Amortisationszeit	Jahre	6.28
gesamte Zusatzkosten	€	-20,501
minimale jährliche Deckungsbeitragsrate		1.47
erforderlicher Tarif für min IRR	€/kWh	0.1160
zusätzliche Wärmegestehungskosten	€/kWh_th	-0.0037
Berechnung der Wärmegestehungskosten		
Wärmegestehungskosten	€/kWh_th	0.1163
Summe aller Investitionskosten (IK)	€	98,799
Annuität von IK		0.0782
Barwert der laufenden Kosten (BK)	€	552,593
Annuität von BK		0.0782
Umweltaspekte:		
Jährliche CO ₂ Reduktion	t CO ₂	49.64

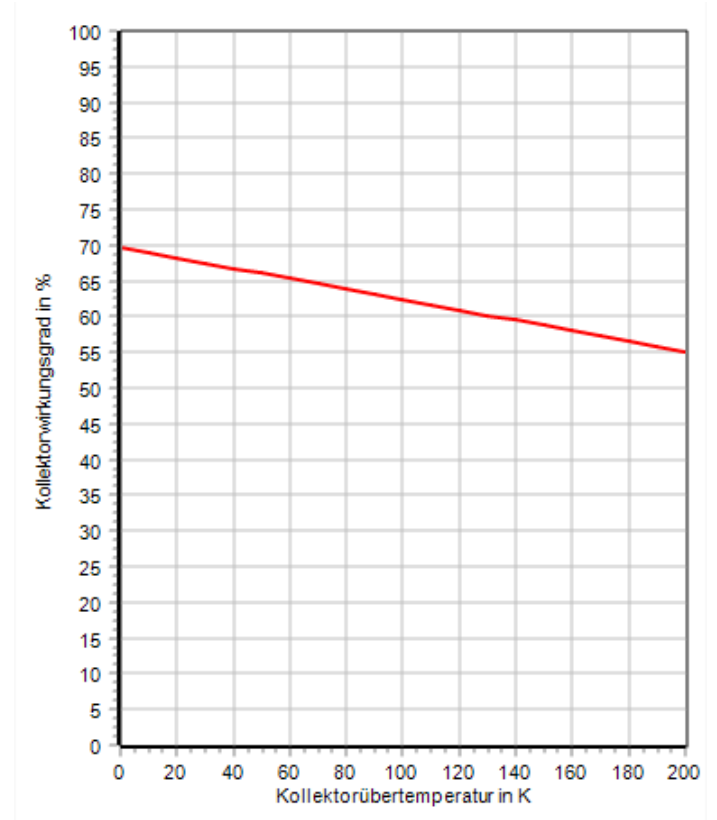
Abbruch

Übung 6: Parabolrinnenkollektoren

- Wenn Temperaturen $>100^{\circ}\text{C}$ benötigt werden, wird der Wirkungsgrad von Flach- und Vakuumröhren-Kollektoren sehr niedrig
- Parabolrinnen bieten dann ein größeres Potenzial
- Allerdings können sie nur die Direktstrahlung nutzen und besitzen deshalb eine einachsige Nachführung



Bosswerk CPC+12



Absolicon Solar T160

Übung 6: Größe der Parabolrinnen-Kollektoren

- Es gibt kompakte Parabolrinnenkollektoren aber auch sehr große Einheiten aus dem Kraftwerksbau



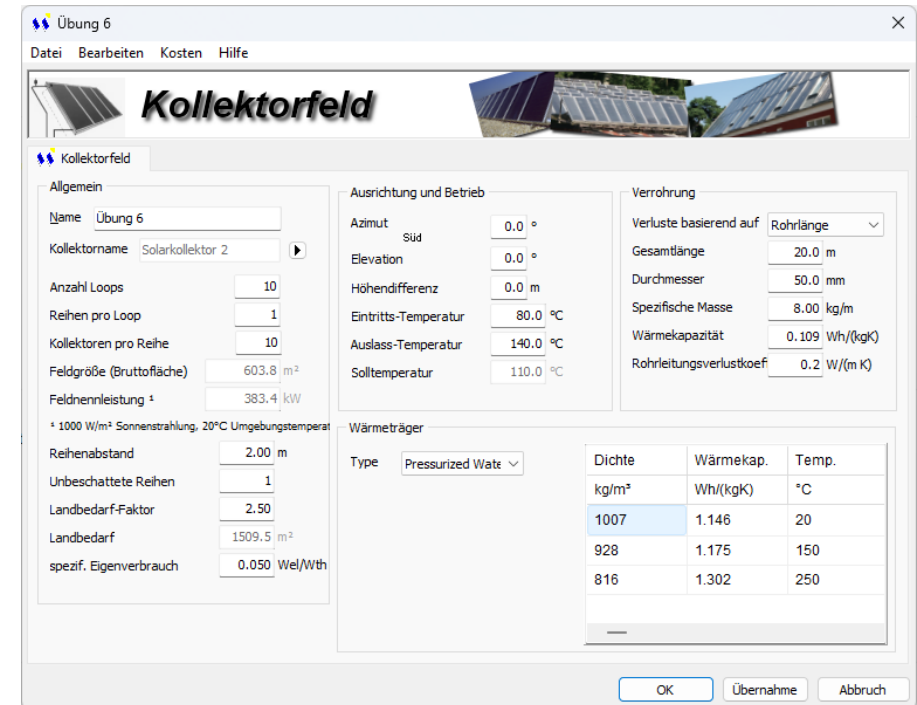
Absolicon T160 Kollektor: 1.1m x 5.5m
Quelle: Absolicon



Eurotrough Kollektor: 5.76m x 148.5m
Plataforma Solar de Almería (Eigentümer: Forschungszentrum CIEMAT/Spanien.) Quelle: DLR

Übung 6:

- Wir starten mit dem vorhergehenden Projekt und laden das in greenius
- Zunächst abspeichern des Projekts unter „Übung6“
- Ändern des Kollektortyps in „Absolicon T160“
- Änderungen beim Kollektorfeld:
 - Elevation: 0.0°
 - Eintritts-Temperatur: 80°C
 - Auslass-Temperatur: 140°C
 - Wärmeträger: Druckwasser
- Abspeichern des Kollektorfelds unter „Übung6“



Dichte	Wärmekap.	Temp.
kg/m³	Wh/(kgK)	°C
1007	1.146	20
928	1.175	150
816	1.302	250

Übung 6: Variation der Solarfeldgröße

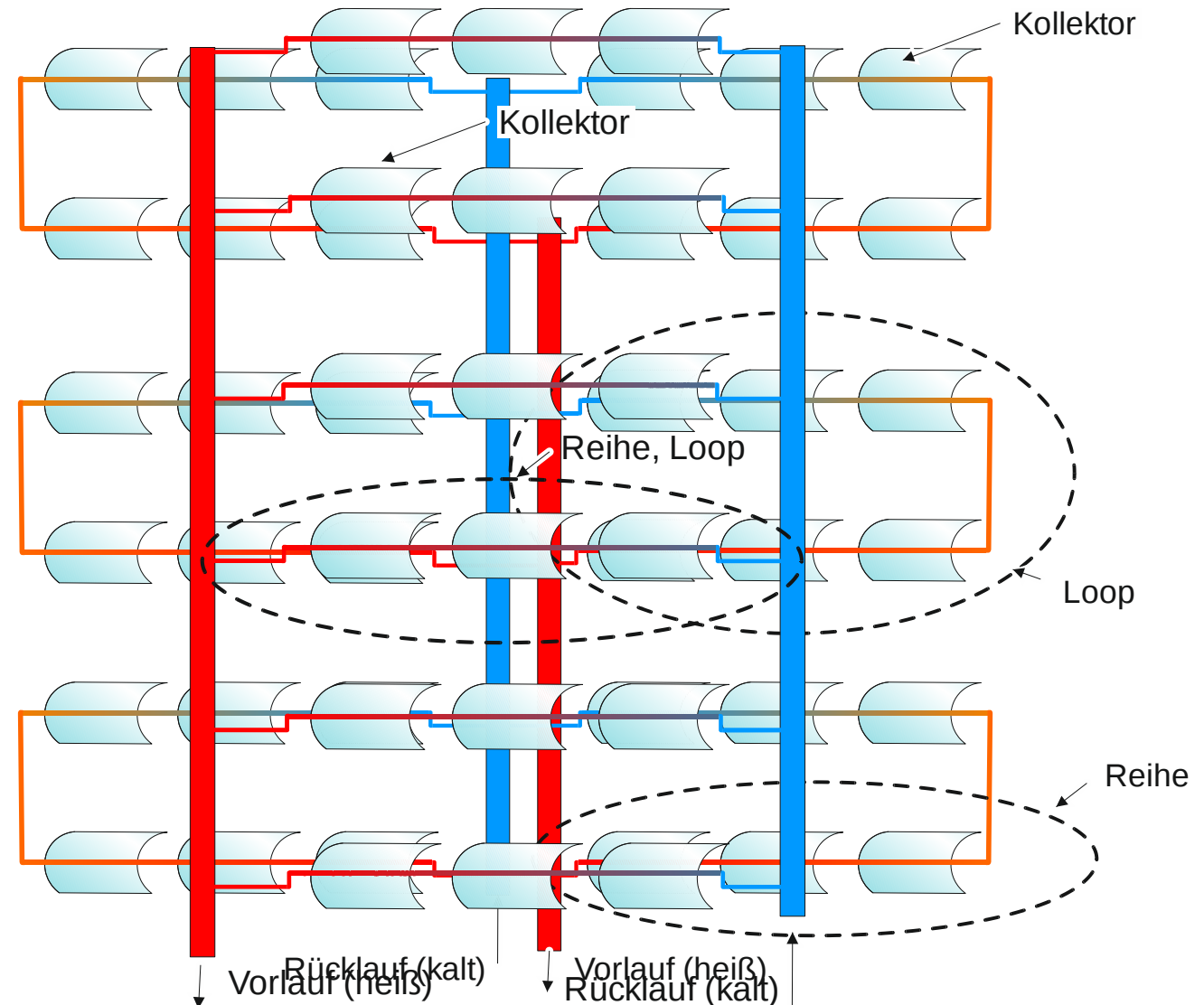
Fall	1	2	3	4	5	Einheit
Anzahl Loops	10	8	6	4	2	-
Therm. Ertrag	306.08	244.44	182.8	121.18	59.53	MWh/a
Solarer Anteil	38.4	36.2	32.5	25.7	13.6	%
LCoH	0.121	0.115	0.111	0.111	0.116	€/kWh

Meist findet man eine Konstellation, für die die LCOH minimal werden

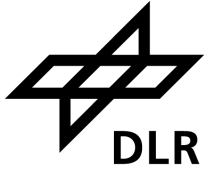
- Kleinere Solarfelder nutzen den Speicher nicht gut aus
- Größere Solarfelder müssen oft abgeregelt/defokussiert werden

Übung 6: Fallstricke

- Bei der Variation der Loopanzahl haben wir bisher alle anderen Parameter unverändert gelassen
- Tatsächlich muss man bei einer Änderung der Solarfeldgröße auch noch die Rohrleitungslänge und den Rohrdurchmesser überprüfen



Übung 6: Rohrleitungslänge und Durchmesser



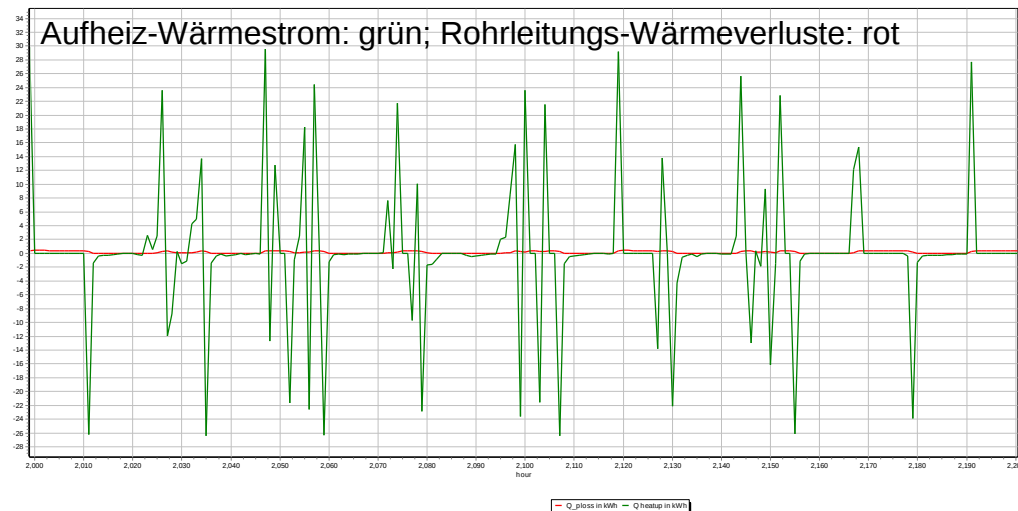
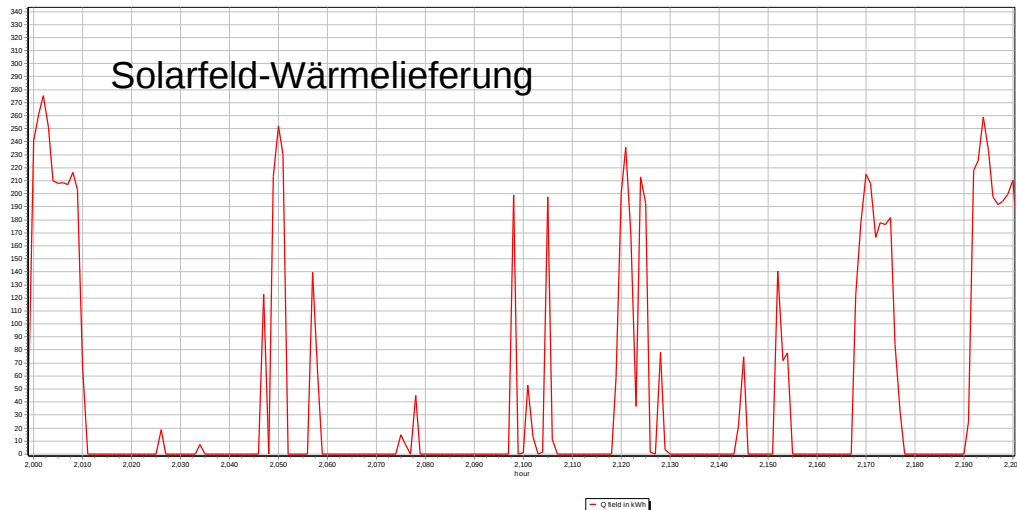
- Der T160 Kollektor hat einen Absorberrohr-Innendurchmesser von 21.9mm
- In unserem Beispiel haben 10 parallele Kollektorloops angenommen
- Eine erste Abschätzung der Durchmesser für die Headerleitungen kann man mit der Annahme des gleichen freien Querschnitts durchführen:

$$A_{i,header} = \sum A_{i,loop}$$

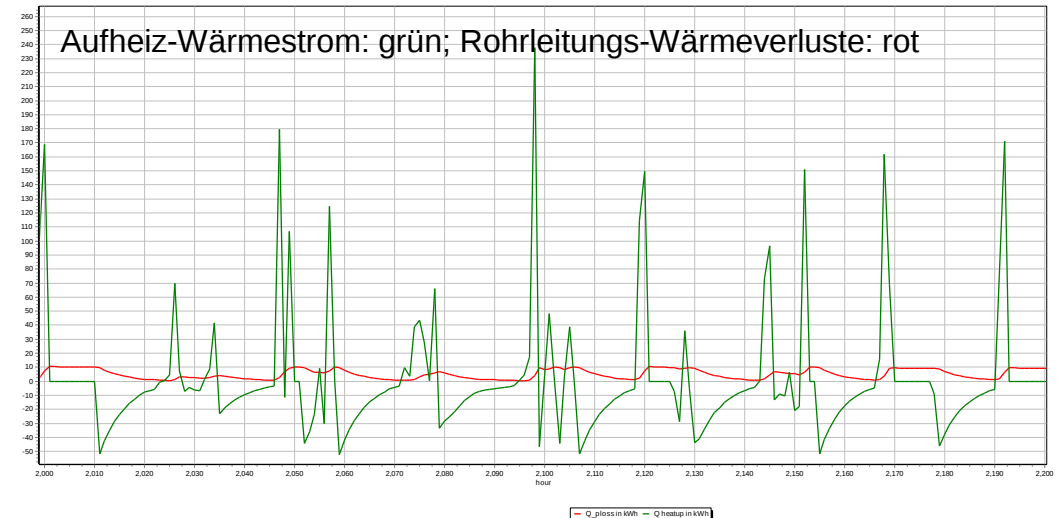
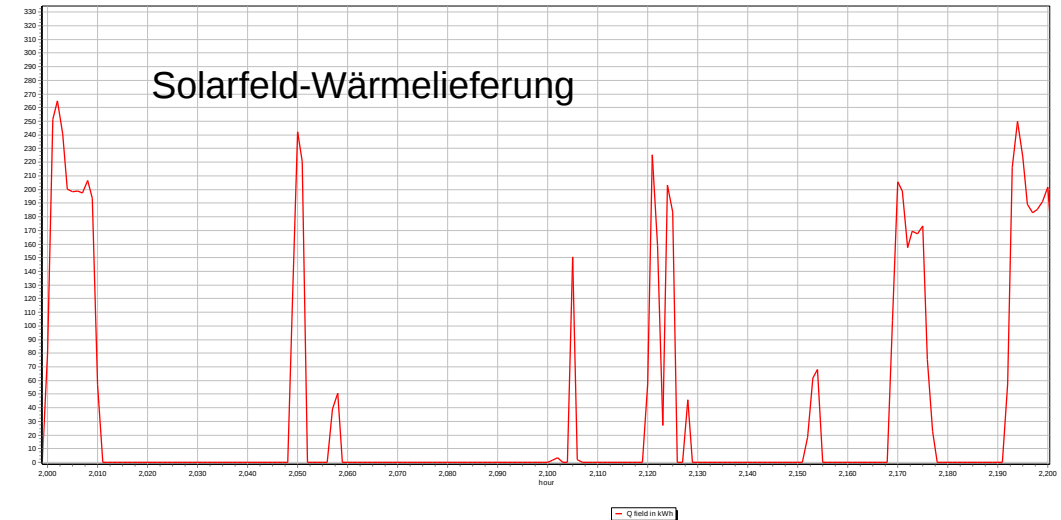
- Damit wäre der richtige Durchmesser etwa 70 mm. Die Tabelle aus der greenius Hilfe liefert 70.3mm und eine spezifische Masse von 5.24 kg/m
- Damit sinkt der Jahresertrag auf 305 MWh/a und der solare Anteil auf 38.3%
- Das sind vergleichsweise geringe Veränderungen aber bei sehr großen Unterschieden bei den Rohrleitungen kann sich das deutlicher auswirken.
- Wenn wir die Rohrlänge auf 500m erhöhen, erhalten wir einen Jahresertrag von nur noch 245 MWh/a. Grund dafür sind zusätzliche Verluste aber in erster Linie die Aufheizung dieser zusätzlichen Fluid- und Stahlmassen
- **greenius** berücksichtigt diese Aufheizverluste und liefert damit realistischere Ertragsdaten aber das erfordert auch eine möglichst korrekte Parametrierung

Übung 6: Einfluss der Rohrleitungslänge auf den Ertrag und die Aufheiz-Wärmeströme

Rohrlänge 20m

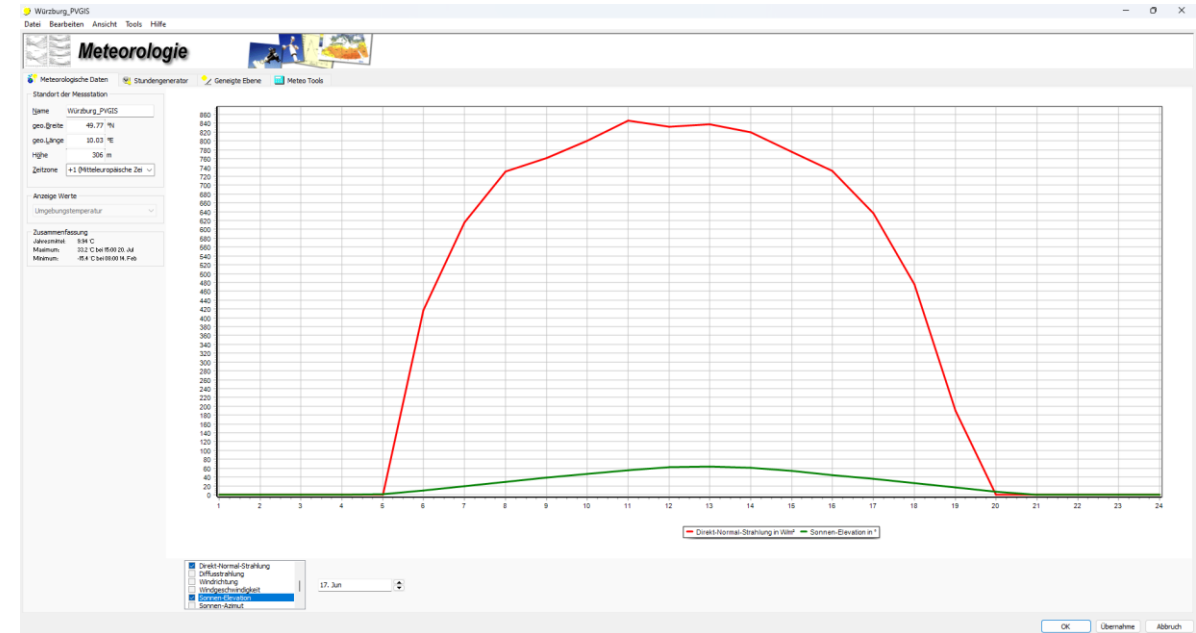


Rohrlänge 500m



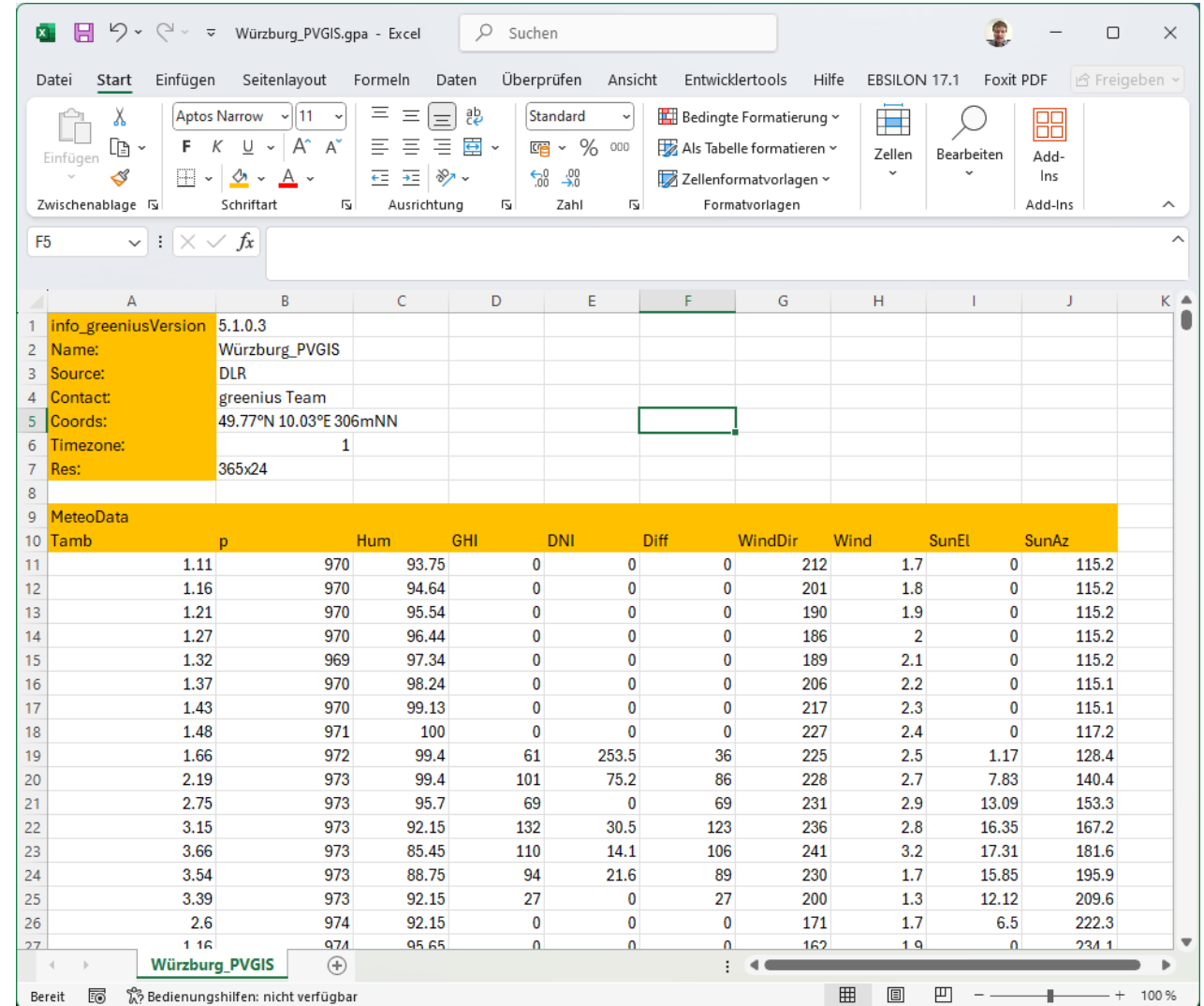
Prüfung der Meteodateien

- Greenius zeigt eine Warnung, wenn die Koordinaten oder die Zeitzone des Standorts nicht mit denen in der Meteodatei übereinstimmen
- Die Berechnung des Sonnenstands erfolgt mit den Angaben des Standorts!
- Bei der Erstellung eigener Meteodateien muss man eventuell die Zeitzone prüfen. Satellitendaten sind in der Regel immer für UTC aber die Lastkurve in greenius bezieht sich auf die lokale Zeitzone.
- In greenius bedeutet die erste Stunde des Jahres (erster Meteo-Datensatz) die Stunde von 0:00 – 1:00 Uhr am 1. Januar
- Greenius kennt keine Schaltjahre und keine Sommerzeit!



Eigene Meteodateien erstellen

- Am besten eine vorhandene Datei mit Excel öffnen, modifizieren und als *.txt (Tabstop getrennte) Datei abspeichern
- Wichtig ist es dabei den Dateikopf anzupassen und die Schlüsselwörter exakt zu erhalten



Würzburg_PVGIS										
info_greeniusVersion	5.1.0.3									
Name:	Würzburg_PVGIS									
Source:	DLR									
Contact:	greenius Team									
Coords:	49.77°N 10.03°E 306mNN									
Timezone:	1									
Res:	365x24									
MeteoData										
Tamb	p	Hum	GHI	DNI	Diff	WindDir	Wind	SunEl	SunAz	
1.11	970	93.75	0	0	0	212	1.7	0	115.2	
1.16	970	94.64	0	0	0	201	1.8	0	115.2	
1.21	970	95.54	0	0	0	190	1.9	0	115.2	
1.27	970	96.44	0	0	0	186	2	0	115.2	
1.32	969	97.34	0	0	0	189	2.1	0	115.2	
1.37	970	98.24	0	0	0	206	2.2	0	115.1	
1.43	970	99.13	0	0	0	217	2.3	0	115.1	
1.48	971	100	0	0	0	227	2.4	0	117.2	
1.66	972	99.4	61	253.5	36	225	2.5	1.17	128.4	
2.19	973	99.4	101	75.2	86	228	2.7	7.83	140.4	
2.75	973	95.7	69	0	69	231	2.9	13.09	153.3	
3.15	973	92.15	132	30.5	123	236	2.8	16.35	167.2	
3.66	973	85.45	110	14.1	106	241	3.2	17.31	181.6	
3.54	973	88.75	94	21.6	89	230	1.7	15.85	195.9	
3.39	973	92.15	27	0	27	200	1.3	12.12	209.6	
2.6	974	92.15	0	0	0	171	1.7	6.5	222.3	
1.16	974	95.65	0	0	0	162	1.9	0	234.1	

Vielen Dank!

Kontakt:

juergen.dersch@dlr.de

Javier.InigoLabairu@dlr.de