



solarcombi+

Beschreibung und graphische Darstellung vielversprechender Märkte

Von

Juan Rodriguez, Roberto Fedrizzi

D4.7 - Deutsch

EURAC
research

Bozen, 30.09.2009

Inhaltsverzeichnis

2.1	Gebäudeindex und Verbrauch.....	7
2.1.1	Heizgradtage (HGT).....	8
2.1.2	Kühlgradtage (KGT).....	9
2.1.3	Kühl- und Heizbedarf ermittelt durch Gebäudesimulation.....	10
2.2	Strahlungsparameter	10
2.2.1	Kritische Strahlung.....	13
2.2.2	Nutzbare Strahlung	14
3.1	Markt der thermischen Kollektoren	16
3.2	Energiekosten.....	18
3.3	Heiz- und Kühllasten.....	20
3.4	Nutzbare Strahlung für Raumheizung (40°C).....	20
3.5	Nutzbare Strahlung für Warmwasserbereitung (60°C).....	22
3.6	Nutzbare Strahlung zum Betrieb von Sorptionskältemaschinen	24
3.6.1	Adsorptionskältemaschinen (70°C - Kühlperiode).....	24
3.6.2	Absorptionskältemaschinen (90°C - Kühlperiode).....	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Optimale Komfortbedingungen in einem Mollier-Diagramm.....	7
Abbildung 2 - Umgebungsbedingungen ausgewählt innerhalb des SolarCombi+ Projektes.....	8
Abbildung 3 - Heizgradtage (HGT) in Europa.....	9
Abbildung 4 - Kühlgradtage in Europa.....	10
Abbildung 5 - Horizontale Globalstrahlung.....	11
Abbildung 6 - Gesamteinstrahlung auf der geneigten Fläche in der Heizsaison (8 Monate)	12
Abbildung 7 - Gesamteinstrahlung auf der geneigten Oberfläche in der Kühlsaison (4 Monate)	12
Abbildung 8 - Flachkollektor: $k_0 = 0,823$, $k_1 = 3,02 \text{ W/m}^2\text{K}$	14
Abbildung 9 - Vakuumröhrenkollektor: $k_0 = 0.601$, $k_1 = 0.767 \text{ W/m}^2\text{K}$	14
Abbildung 10 - Solarthermiemarkt in Europa. Kumulativ installierte Kollektorfläche im Jahr 2008	16
Abbildung 11 - Solarthermiemarkt in Europa. Installierte Kollektorfläche im Jahr 2004	17
Abbildung 12 - Solarthermiemarkt in Europa. Installierte Kollektorfläche im Jahr 2008	17
Abbildung 13 - Gaspreise in Europa, Quelle: Eurostat.....	19
Abbildung 14 - Strompreise in Europa, Quelle: Eurostat	19
Abbildung 15 - Bei 40°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Heizperiode (8 Monate).....	21
Abbildung 16 - Bei 40°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung in der Heizperiode (8 Monate)	21
Abbildung 17 - Bei 60°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Heizperiode (8 Monate).....	23
Abbildung 18 - Bei 60°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung in der Heizperiode (8 Monate)	23
Abbildung 19 - Bei 60°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate).....	23
Abbildung 20 - Bei 60°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate)	24
Abbildung 21 - Bei 70°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate).....	25
Abbildung 22 - Bei 70°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate)	25
Abbildung 23 - Bei 90°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate).....	27
Abbildung 24 - Bei 90°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate)	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Simulierter Energiebedarf [kWh/m ² /Jahr]	10
Tabelle 2 - Globalstrahlung auf die Horizontale, Globalstrahlung auf die geneigte Fläche (Neigungswinkel 40°) für Heiz- und Kühlperiode	12
Tabelle 3 - Installierte Solarthermische Kollektoren in Europa - Quelle ESTIF, AEE INTEC	18
Tabelle 4 - HGT und KGT für die Städte, die im Projekt untersucht werden.....	20
Tabelle 5 - Nutzbare Strahlung [kWh/m ² a] bei 40°C für Heizung (8 Monate)	21
Tabelle 6 - Nutzbare Strahlung [kWh/m ² a] bei 60°C zur Warmwasserbereitung	22
Tabelle 7 - Verhältnis zwischen der Energieausbeute mit Flachkollektoren (FK) und Vakuumröhrenkollektoren (VK) in der jeweiligen Periode.....	22
Tabelle 8 - Bei 70°C nutzbare Strahlung [kWh/m ² a] zur Kühlung (4 Monate)	25
Tabelle 9 - Bei 90°C nutzbare Strahlung [kWh/m ² a] zur Kühlung (4 Monate)	26

1 Einleitung

In diesem Dokument sollen vielversprechende Märkte für SolarCombi+ Systeme identifiziert werden. Als Grundlage dienen hierfür der Markt für solarthermische Kollektoren und meteorologische Daten in Europa.

Die Hauptidee dieser Arbeit ist es graphische Karten zu erstellen, welche es auf einfache Art und Weise ermöglichen, geeignete bzw. vielversprechende Orte/Regionen bzw. Märkte für solche Anwendungen zu finden. Als erster Schritt wurden Daten des europäischen Marktes für solarthermische Kollektoren im Hinblick auf die Erschließung der einzelnen Märkte bezüglich solarthermischer Anwendungen (Warmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung) analysiert.

Anschließend wurden die Energiepreise in den verschiedenen Ländern verglichen, um die Länder zu identifizieren, in welchen die Konsumenten besonders stark auf den Energieverbrauch achten. In Ländern mit höheren Preisen entwickeln die Verbraucher ein stärkeres Bewusstsein für den Energieverbrauch und sind daher tendenziell mehr auf Energieeffizienz bedacht.

Um schließlich den maximalen Ertrag von Flach- bzw. Vakuumröhrenkollektoren bei unterschiedlichen Kollektortemperaturen und Verteilsystemen im Gebäude berechnen zu können, wurden als zweiter Schritt meteorologische Daten analysiert. Parallel dazu wurde der jährliche Heiz- und Kühlenergiebedarf von Gebäuden in Europa basierend auf den Klimadaten bestimmt. Durch die Gegenüberstellung von regional unterschiedlichem Energiebedarf und verfügbarer Solareinstrahlung konnten vielversprechende Märkte in Europa definiert werden.

2 Methodik

Für die Erstellung oben genannter Karten wurden Daten der installierten Fläche solarthermischer Kollektoren aus „Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2007“ [ESTIF] herangezogen. Diese Daten wurden von der AEE INTEC für den solarthermischen Markt für Heizung und Warmwasserbereitung zusammengestellt.

Die Erstellung einer Exceldatei mit Visual Basic Makro war notwendig, um die Auswertung der meteorologischen Daten durchführen zu können. Die Wetterdaten kamen von Meteonorm V6 (Klimadatenbank von 608 Wetterstationen) als Stundenwerte im Format TM2. Es soll angemerkt werden, dass keiner der Datensätze auf Basis anderer umliegender Wetterstationen durch Interpolation erstellt wurde. Mit Hilfe einer Makrodatei von der Internetseite des „National Renewable Energy Laboratory“ (USA) [<http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/tmy2>] wurden die Daten der 608 Wetterstationen in eine Exceldatei geladen und weiter bearbeitet. Einige Parameter konnten direkt aus der Originaldatei übernommen werden:

- Name des Ortes
- Land
- Breitengrad
- Längengrad
- Seehöhe
- Direkte Normalstrahlung
- Diffuse Horizontalstrahlung
- Lufttemperatur

Andere Parameter wie Heizgradtage, Kühlgradtage, kritische Einstrahlung oder nutzbare Einstrahlung mussten daraus berechnet werden und sind in nachfolgendem Kapitel definiert. Diese Berechnung erfolgte aus den Wetterdaten und aus Eingaben wie Kollektortyp, Kollektorwirkungsgrad oder Nutztemperaturen. Die auf diesem Wege erhaltenen Informationen wurden in einem geographischen Informationssystem (GIS) verarbeitet und auf Europalandkarten graphisch dargestellt.

2.1 Gebäudeindex und Verbrauch

Das Mollier-Diagramm in der Abbildung 1 stellt den Komfortbereich für die Winter- und die Sommersaison farblich markiert dar. Wie man hier erkennen kann, liegt man bei einer Luftfeuchtigkeit von 50% und einer Temperatur von 21°C in der Heizperiode (blau) und 25°C in der KÜHLSaison (rosa) hinsichtlich Raumluftqualität in der Komfortzone. Wird der rote Punkt nach links verschoben, entlang der 50% relative Luftfeuchtigkeitskurve, wäre die Menge an Energie, die das Gebäude im Winter an die Umwelt verliert geringer (niedrigere Raumtemperatur) und damit reduziert sich die Heizlast. Das Gegenteil geschieht im Sommer wenn der blaue Punkt nach rechts zu höheren Temperaturen wandert: die Raumtemperatur ist höher und damit sinkt die Kühllast. Um die Parameter proportional zur Gebäudelast zu definieren, wurde entschieden, die Bedingungen im Gebäude mit 21°C im Winter und mit 26°C im Sommer festzulegen (siehe Abbildung 2).

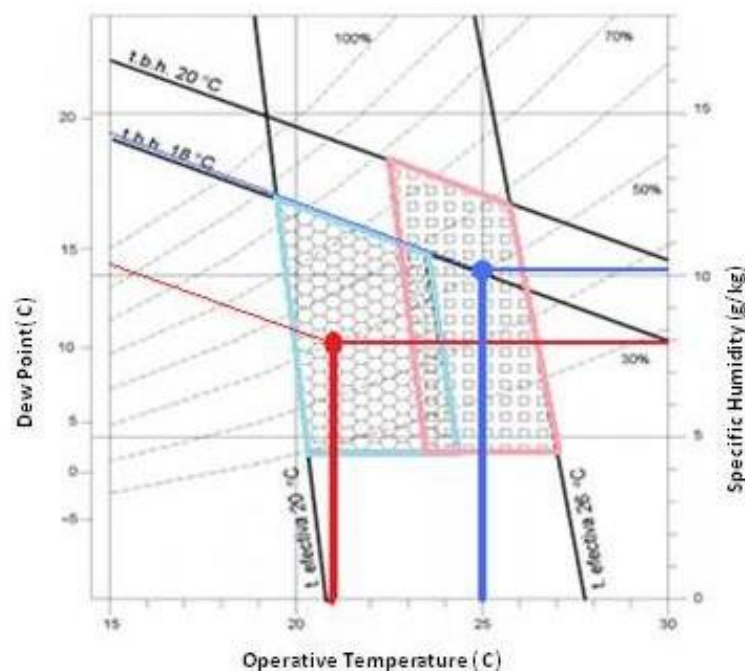


Abbildung 1 - Optimale Komfortbedingungen in einem Mollier-Diagramm

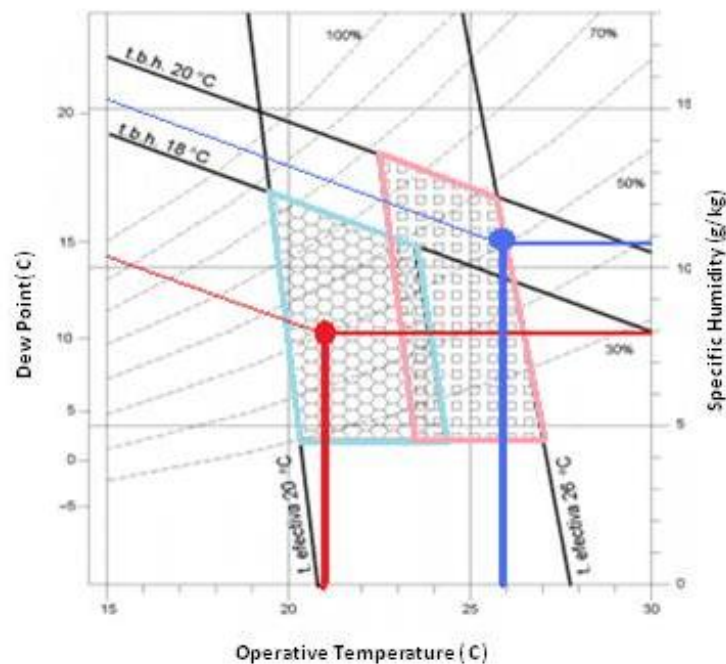


Abbildung 2 - Umgebungsbedingungen ausgewählt innerhalb des SolarCombi+ Projektes

Die beiden folgenden Parameter Heizgradtage (HGT) und Kühlgradtage (KGT) dienen als eine erste Bewertung des Energiebedarfs eines Gebäudes basierend auf den Außentemperaturen. Beide Parameter vergleichen die Außentemperaturen mit den Raumtemperaturen (berechnet für eine relative Luftfeuchtigkeit von 50%). Während der Winter-Parameter (HGT) in der Regel ein guter Anhaltspunkt für den Heizbedarf des Gebäudes ist, ist der Sommer-Faktor (KGT) mit Vorsicht zu genießen, weil die latenten Lasten nicht berücksichtigt werden (Feuchtigkeit) und die passiv solaren und besonders die internen Gewinne in manchen Gebäuden einen wesentlichen Einfluss haben. Trotzdem können diese Parameter auf einfache Art und Weise als eine erste Annäherung zur Abschätzung des Heiz- bzw. Kühlbedarfes auf Grund des Klimas verwendet werden.

2.1.1 Heizgradtage (HGT)

Dieser Parameter ist ein quantitativer Klimaindex für den Energiebedarf der nötig ist, um ein Gebäude zu beheizen. Dieser ist aus den täglichen Temperaturbeobachtungen hergeleitet und entspricht der jährlichen Summe der Differenz (in Grad Celsius) zwischen der Basistemperatur, welche die Raumtemperatur im Gebäude darstellt (hier mit 21°C definiert) und der Außentemperatur.

$$\text{HGT: } HDD = \sum_{h=1}^{365} \frac{(21 - T_{amb,h})}{24} \approx \sum_{d=1}^{365} (21 - T_{amb,d})$$

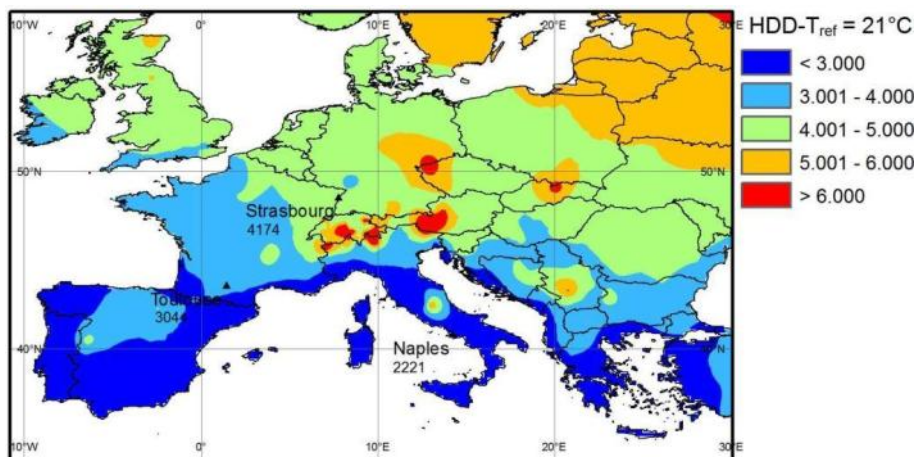


Abbildung 3 - Heizgradtage (HGT) in Europa

Damit ergibt sich eine Aufteilung Europas in 5 Zonen. Die drei im Rahmen des SolarCombi+ Projektes untersuchten Städte liegen dabei in den drei heißesten Zonen (Neapel 2221 HGT, Toulouse 3040 HGT, Straßburg 4174 HGT). Die beiden anderen Zonen, welche den Werten über 5000 HGT entsprechen, werden nicht untersucht, denn wie man in den folgenden Abbildungen erkennen kann, gibt es nicht genug Kühlbedarf, sodass es von Interesse für SolarCombi+ Systeme wäre.

Der Vergleich der drei Städte zeigt einen HGT-Unterschied von 36% zwischen Neapel und Toulouse und 88% zwischen Neapel und Straßburg.

2.1.2 Kühlgradtage (KGT)

Der Parameter Kühlgradtage (KGT) ist in ähnlicher Weise definiert. Er stellt den potentiellen Wärmeeintrag in das Gebäudes aufgrund der Außentemperatur dar (Bezugstemperatur im Gebäude wurde mit 26°C definiert).

$$\text{KGT: } CDD = \sum_{h=1}^{365} \frac{(T_{amb,h} - 26)}{24} \approx \sum_{d=1}^{365} (T_{amb,d} - 26)$$

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, sind die entsprechenden Werte für KGT sehr unterschiedlich für die ausgewählten Städte (70 KGT für Neapel, 26 KGT für Toulouse und 9 KGT für Straßburg). Im Vergleich zu dem Wert von Neapel liegen Toulouse und Straßburg 63% bzw. 87% niedriger.

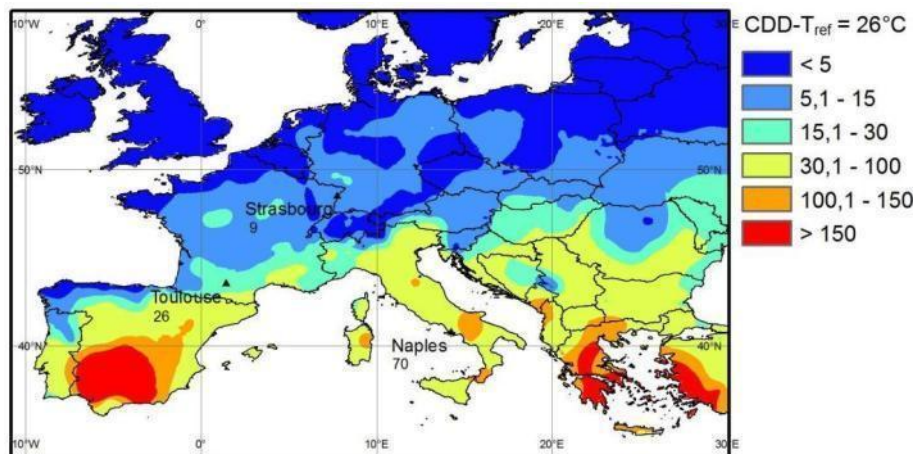


Abbildung 4 - Kühlgradtage in Europa

2.1.3 Kühl- und Heizbedarf ermittelt durch Gebäudesimulation

Im Rahmen des SolarCombi+ Projektes wurden zwei Wohngebäude und ein Bürogebäude für die Simulationen definiert. Der simulierte Energiebedarf für das Heizen und Kühlen ist in Tabelle 1 für die drei Gebäudetypen dargestellt.

Tabelle 1 - Simulierter Energiebedarf [kWh/m²/Jahr]

kWh/(m ² a)	Büro		Standardhaus			Niedrigenergiehaus		
	Heizen	Kühlen	Heizen	Kühlen	DHW	Heizen	Kühlen	DHW
Straßburg	69.74	34.19						
Toulouse	34.13	50.28	46.05	5.69	12.66	24.58	6.12	12.66
Neapel	9.22	80.75	21.11	18.45	11.43	9.37	17.45	11.43

Wenn man Toulouse mit Neapel vergleicht, kann man feststellen, dass der jährliche Heizwärmebedarf zwischen ca. 9 und 46 kWh/m² liegt. Der jährliche Kühlbedarf liegt im Bereich zwischen 6 und 20 kWh/m² bei Wohngebäuden. Sehr viel höhere Werte ergeben sich bei Bürogebäuden mit 50-80 kWh/m². Wenn Neapel mit Straßburg verglichen wird (in Straßburg wurde nur das Bürogebäude simuliert), ist der Heizwärmebedarf in Straßburg 7-mal höher als in Neapel, während der Kühlbedarf in Neapel nur drei Mal höher ist als in Straßburg.

2.2 Strahlungsparameter

Die Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche wurde zuerst aus der direkten normalen Strahlung und der diffusen Strahlung der meteorologischen Daten berechnet.

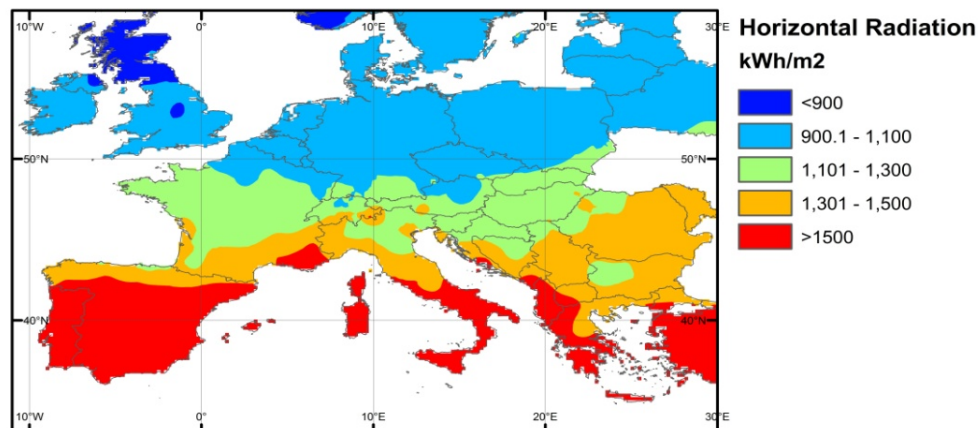


Abbildung 5 - Horizontale Globalstrahlung

Die Unterscheidung zwischen Direkt- und Diffusstrahlung war notwendig, um die Strahlung auf eine geneigte Fläche, welche nach Süden ausgerichtet ist, zu berechnen. Zu Vergleichszwecken wurde der Neigungswinkel der Kollektoren für alle europäischen Länder mit 40° festgelegt, auch wenn der optimale Wert mit der geographischen Breite variiert. Darüber hinaus wurden zwei verschiedene Karten erstellt, eine für die Heizperiode und eine für die Kühlperiode (Kühlsaison vom 15. Mai bis 15. September, Heizsaison ist der verbleibende Teil des Jahres).

Die nächsten beiden Abbildungen zeigen die maximale Energie, die von der Sonne gewonnen werden kann, unabhängig von der Art der Kollektoren und dem Temperaturniveau, das in den Prozessen benötigt wird. Diese Grafiken zeigen also die Obergrenzen im Hinblick auf die mögliche Energiegewinnung. Es ist interessant, dass die gesamte Energie, die in den acht Monaten der Heizperiode bzw. in den vier Monaten der Kühlperiode zur Verfügung steht, in den drei Städten jeweils nahezu identisch ist (siehe Tabelle 2).

Um die Umgebungstemperatur und die Kollektorausstrittstemperaturen zu berücksichtigen, wurden zwei weitere Parameter eingeführt: die kritische und die nutzbare Strahlung.

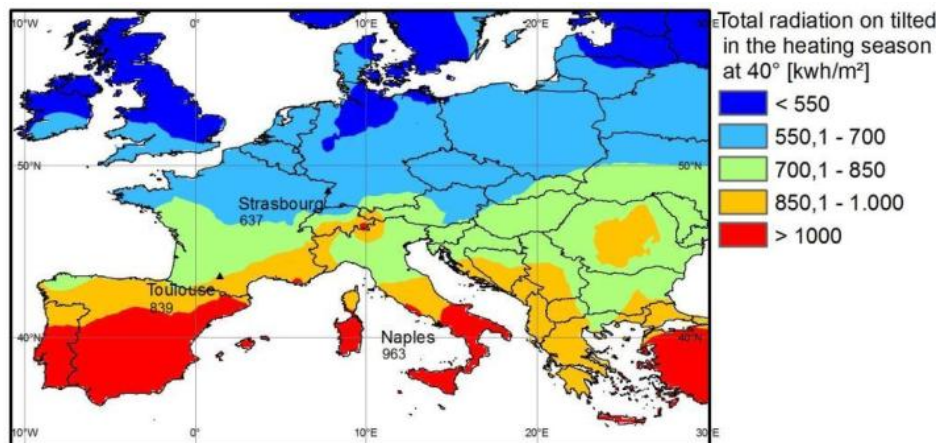


Abbildung 6 - Gesamteinstrahlung auf der geneigten Fläche in der Heizsaison (8 Monate)

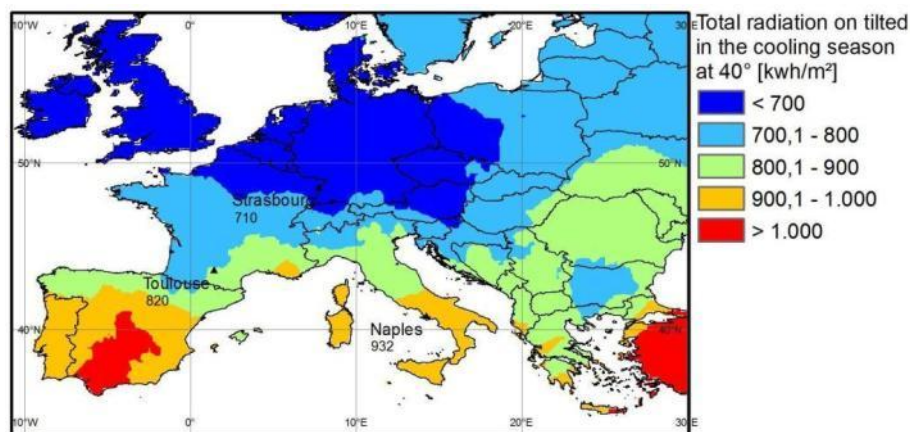


Abbildung 7 - Gesamteinstrahlung auf der geneigten Oberfläche in der Kühltseason (4 Monate)

Tabelle 2 - Globalstrahlung auf die Horizontale, Globalstrahlung auf die geneigte Fläche (Neigungswinkel 40°) für Heiz- und Kühlperiode

	Globalstrahlung auf die Horizontale	Globalstrahlung auf die geneigte Fläche (Neigung 40°, Süd ausgerichtet)	
	Ganzes Jahr	Heizperiode (8 Monate)	Kühlperiode (4 Monate)
Straßburg	1540	637	710
Toulouse	1897	839	820
Neapel	2135	963	932

2.2.1 Kritische Strahlung

Ein thermischer Kollektor wird durch seinen Wirkungsgrad beschrieben, also der Fähigkeit die Sonnenstrahlung aufzunehmen und die Energie abzüglich der Wärmeverluste an die Umgebung dem System zu Verfügung zu stellen.

$$\eta = IAM \times k_0 - k_1 * \frac{(T_{avg} - T_{amb})}{G_{\perp}} - k_2 \frac{(T_{avg} - T_{amb})^2}{G_{\perp}}$$

- k_0 = Optischer Wirkungsgrad (0,823 für Flachkollektoren und 0,601 für Vakuumröhrenkollektoren bezogen auf die Bruttokollektorfläche)
- k_1 = Linearer Verlustkoeffizient (3,02 für Flachkollektoren und 0,767 für Vakuumröhrenkollektoren bezogen auf die Bruttokollektorfläche)
- k_2 = Quadratischer Verlustkoeffizient (wurde hier nicht verwendet, da sein Effekt bei Temperaturen bis 100°C nur sekundär ist)
- T_{avg} = Mittlere Kollektortemperatur
- T_{amb} = Außentemperatur
- IAM = Incidence Angle Modifier (Einfallswinkelkorrekturfaktor) Anteil der Strahlung, die absorbiert werden kann, in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Sonne in Quer- und Längsrichtung $IAM = IAM_T \times IAM_L$

Die kritische Strahlung ist definiert als das Strahlungsniveau, bei dem sich ein Gleichgewicht zwischen den Verlusten eines Kollektors und dem Ertrag bei einer bestimmten Temperatur einstellt. Wenn die Strahlung über dieser kritischen Strahlung liegt, ist der Kollektorertrag größer Null. Um die kritische Strahlung zu berechnen, setzt man also den Wirkungsgrad gleich Null. Ohne Berücksichtigung des quadratischen Verlustkoeffizienten ergibt sich damit:

$$I_{Critical}^{temp, coll} = \frac{k_1}{IAM \times k_0} * (T_{process} - T_{amb})$$

Um die kritische Strahlung berechnen zu können, müssen vorher folgende Parameter festgelegt werden: der Typ des Kollektors, der Einfallswinkel (längs und quer) und die erforderlichen Temperaturen für die betrachteten Prozesse (Temperatur am Austritt der Kollektoren als ersten vereinfachten Ansatz).

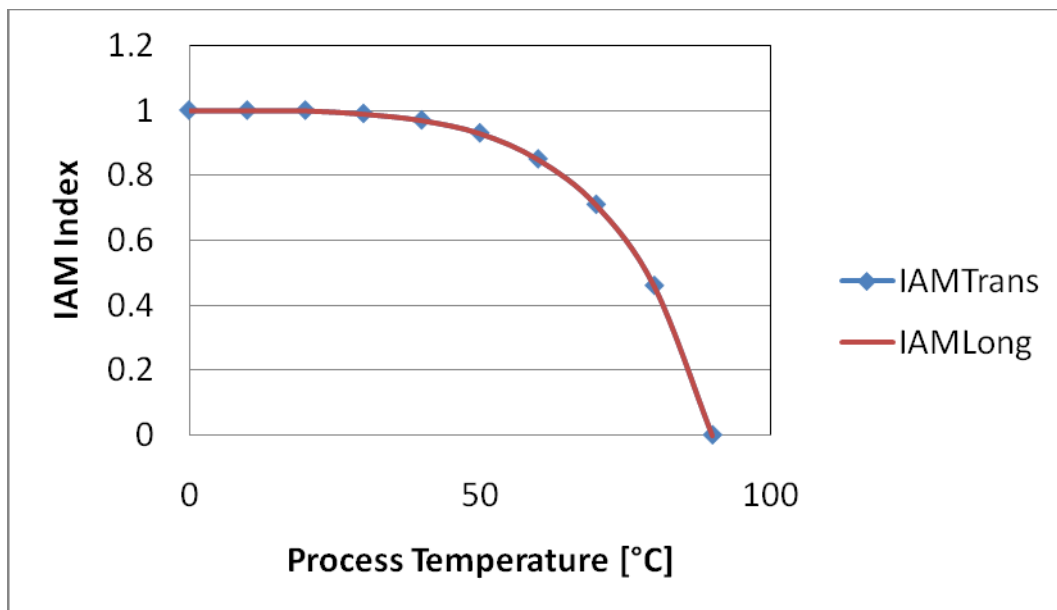


Abbildung 8 - Flachkollektor: $k_0 = 0,823$, $k_1 = 3,02 \text{ W/m}^2\text{K}$

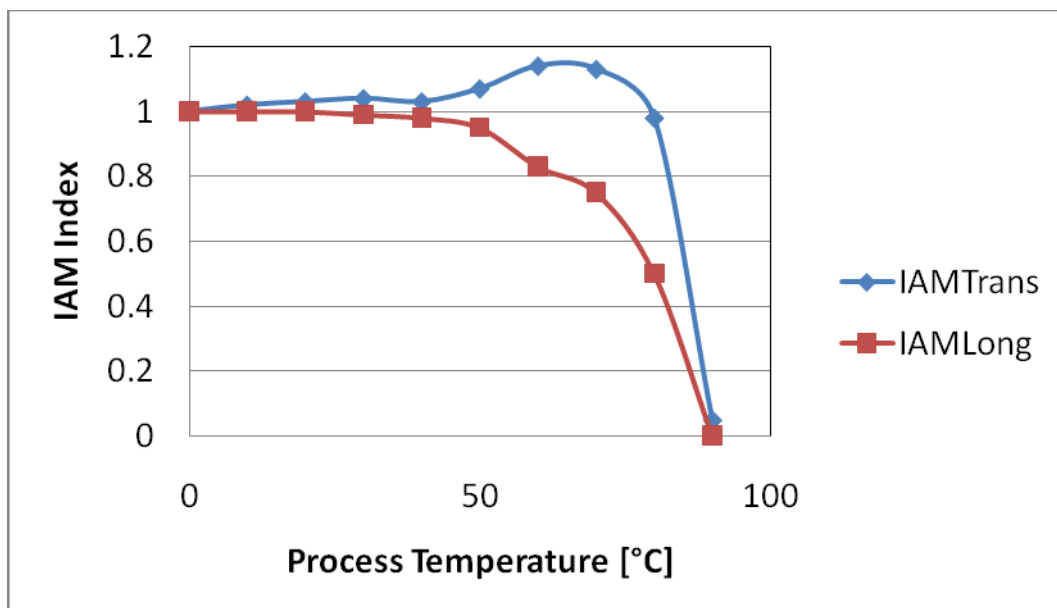


Abbildung 9 - Vakuumröhrenkollektor: $k_0 = 0.601$, $k_1 = 0.767 \text{ W/m}^2\text{K}$

2.2.2 Nutzbare Strahlung

Die nutzbare Strahlung ist definiert als die Differenz zwischen Gesamteinstrahlung auf einen Kollektor und seiner kritischen Strahlung. Sie stellt die Menge an Energie für einen bestimmten Kollektor und bestimmte Klimabedingungen dar (Strahlung und Umgebungstemperatur), die verwendet

werden kann, um den Wärmeträger bis zu einer bestimmten Temperatur zu erwärmen:

$$I_{Useful}^{temp, coll} = I_{total} - I_{Critical}^{temp, coll}$$

Im Rahmen dieses Projektes wurden unterschiedliche Prozesstemperaturen betrachtet, die für verschiedene Kältemaschinentypen benötigt werden bzw. um Warmwasser und Heizungsenergie bereitzustellen. Folgende Temperaturniveaus für die Berechnung der kritischen Strahlung wurden betrachtet:

- 40°C für Heizen mit Fußbodenheizungen oder Gebläsekonvektoren (im Winter).
- 60°C für Warmwasserbereitung (ganzes Jahr).
- 70°C für Adsorptionskältemaschinen (im Sommer).
- 90°C für Absorptionskältemaschinen (im Sommer).

Es sollte bedacht werden, dass die Ergebnisse die maximale Menge an gewonnener Energie bei bestimmten Prozess- und Umgebungstemperaturen darstellen. Im Falle der Kältemaschinen, ist die ermittelte Temperatur, das Minimum, mit der das System fahren könnte. Darüber hinaus sind die charakteristischen Parameter der Kollektoren (k_0 und k_1) als konstant für die Berechnungen angenommen worden, die nur erreichbar sind, wenn die Rücklauftemperatur auch konstant bleibt. Dies ist aber nur möglich, wenn Verbrauch und nutzbare Strahlung zur gleichen Zeit auftreten, was aber in der Realität nicht immer der Fall ist. Durch diese Vereinfachungen liegen die Ergebnisse dieser Studie in absoluten Zahlen höher als die tatsächlich nutzbare Energie in realen Anlagen für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung. Dennoch ist das Modell für die Analyse der aussichtreichsten Märkte geeignet, da ein einfacher Vergleich der europäischen Regionen durchgeführt werden kann im Hinblick auf die vorhandene Sonnenenergie zu verschiedenen Jahreszeiten.

3 Ergebnisse

3.1 Markt der thermischen Kollektoren

Abbildung 10 zeigt den europäischen Solarthermiemarkt (bis zum Jahr 2008 verkaufte Kollektorfläche). Wie man sehen kann, ist Deutschland der mit Abstand größte Markt mit über 11 Mio. m² installierter Kollektorfläche, es folgen Griechenland, Österreich, Italien, Frankreich und Spanien mit rund 3,9, 3,2, 1,6, 1,6 und 1,4 Mio. m² verkaufter Kollektorfläche. Wenn die Kollektorfläche pro Einwohner betrachtet wird, liegen Österreich, Griechenland und Deutschland vorne (388, 344 und 135 m²/1000 Einwohner).

Wenn man vom schon vorhandenen Markt für Solarthermie ausgeht, scheinen die letzten drei Länder die besten Möglichkeiten für die Markteinführung von solarer Heizung und Kühlung zu bieten. Andere Länder wie Zypern und Malta haben ebenfalls eine bemerkenswerte Anzahl an Kollektorfläche pro Einwohner (873 und 75 m²/1000 Einwohner), dennoch können sie aufgrund ihrer absoluten Größe nicht als viel versprechende Märkte betrachtet werden. Die anderen genannten Länder (Italien, Spanien und Frankreich) folgen mit Abstand.

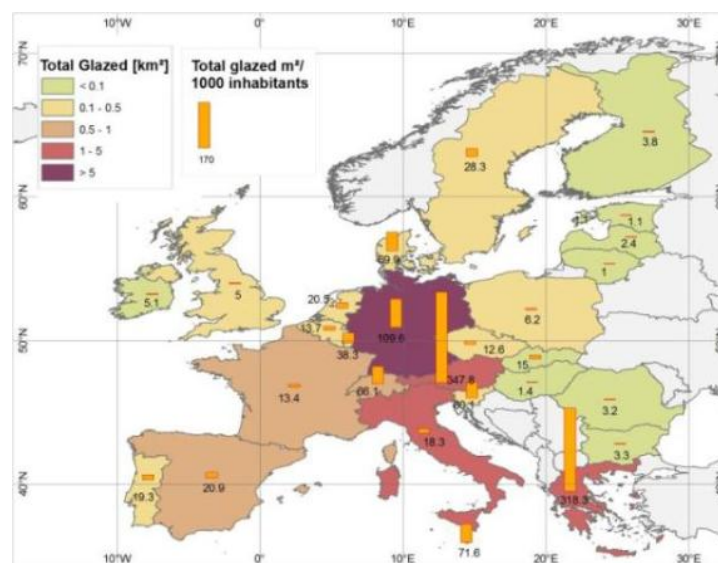


Abbildung 10 - Solarthermiemarkt in Europa. Kumulativ installierte Kollektorfläche im Jahr 2008

Ein anderer Ansatz, um zukunftssträchtige Märkte zu identifizieren, ist sich anzusehen, in welchen Ländern der Solarthermiemarkt in den letzten Jahren besonders stark gewachsen ist. Zum Beispiel kann die installierte Kollektorfläche der letzten vier Jahre betrachtet werden. Das Marktwachstum in diesem Zeitbereich zeigt deutlich, dass auch andere Länder in Betracht gezogen werden sollten.

Dies sind vor allem die südlichen Länder mit einem guten Potenzial der Solarenergienutzung, wie Slowenien, Portugal, Frankreich, Spanien und Italien, welche einen starken Anstieg der Solarthermiemärkte zeigten: 789%, 760%, 646%, 382% und 260% (siehe Abbildung 11, Abbildung 12). Die drei größten Märkte (Deutschland, Österreich und Griechenland) wachsen langsamer, obwohl immer noch Anstiege von +34% in Griechenland, +90% in Österreich und +180% in Deutschland über den Zeitraum von vier Jahren beobachtet werden konnten. Daher können alle genannten Länder als jene angesehen werden, die geeignet sind für solarthermische Anwendungen und viel versprechend für SolarCombi+ Anlagen.

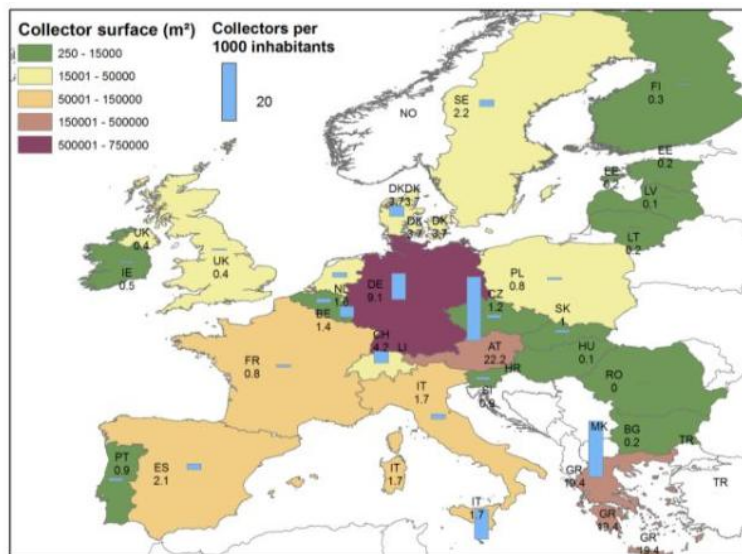


Abbildung 11 - Solarthermiemarkt in Europa. Installierte Kollektorfläche im Jahr 2004

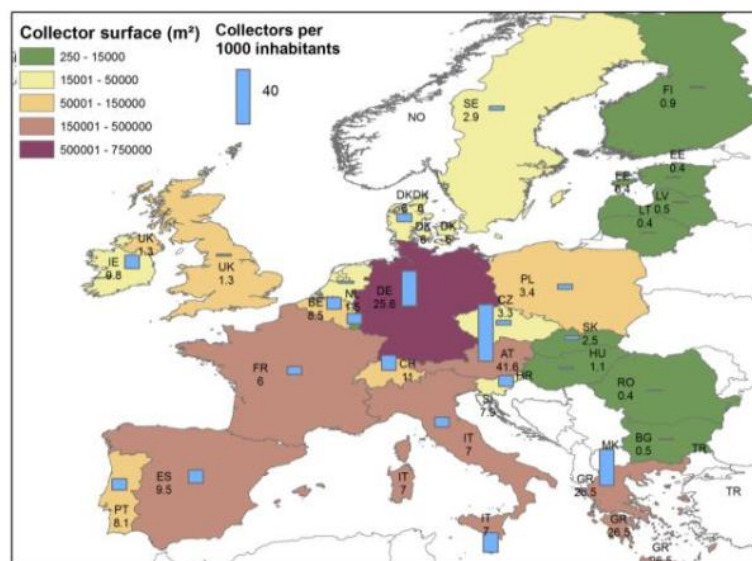


Abbildung 12 - Solarthermiemarkt in Europa. Installierte Kollektorfläche im Jahr 2008

Tabelle 3 - Installierte Solarthermische Kollektoren in Europa - Quelle ESTIF, AEE INTEC

	m ²				m ² /1000 Einwohner				
	2004	2006	2008	Kumuliert in 2008	2004	2006	2008	Kumuliert bis 2008	Steigerung 04-08
AT	182594	292669	347703	3240330	22.2	35.3	41.6	387.8	187%
BE	14700	35636	91000	268947	1.4	3.4	8.5	25.0	607%
BG	1800	2200	4000	31600	0.2	0.3	0.5	4.2	250%
CH	31160	51863	85000	593980	4.2	6.9	11.0	77.1	261%
CY	30000	60000	68000	693200	40.0	77.1	85.6	873.1	214%
CZ	12250	22030	35000	165100	1.2	2.1	3.3	15.8	275%
DE	750000	1500000	2100000	11094000	9.1	18.2	25.6	135.3	281%
DK	20000	25300	33000	418280	3.7	4.6	6.0	75.9	162%
EE	250	300	500	1970	0.2	0.2	0.4	1.5	200%
ES	90000	175000	434000	1411166	2.1	3.9	9.5	30.8	452%
FI	1630	3200	4800	25293	0.3	0.6	0.9	4.7	300%
FR	52000	220000	388000	1624100	0.8	3.5	6.0	25.2	750%
GR	215000	240000	298000	3868200	19.4	21.5	26.5	343.6	136%
HU	1500	1000	11000	25250	0.1	0.1	1.1	2.5	1100%
IE	2000	5000	43610	74400	0.5	1.2	9.8	16.7	1960%
IT	97738	186000	421000	1606230	1.7	3.1	7.0	26.7	411%
LT	500	600	840	4290	0.2	0.3	0.4	1.9	200%
LU	1700	2500	3600	22500	3.7	5.3	7.3	45.6	197%
LV	500	1200	1800	7150	0.1	0.4	0.5	2.1	500%
MT	4215	4500	6000	35360	10.5	11.0	14.5	85.5	138%
NL	26300	14685	25000	363341	1.6	0.9	1.5	22.0	93%
PL	28900	41400	129632	365676	0.8	1.1	3.4	9.6	425%
PT	10000	20000	86000	318950	0.9	1.9	8.1	30.0	900%
RO	400	400	8000	94300	0.0	0.0	0.4	4.4	n.a.
SE	20058	28539	26813	289207	2.2	3.1	2.9	31.2	131%
SI	1800	6900	16000	137300	0.9	3.4	7.9	67.6	877%
SK	5500	8500	13500	95250	1.0	1.6	2.5	17.6	250%
UK	25000	54000	81000	385920	0.4	0.9	1.3	6.3	325%

3.2 Energiekosten

In Abbildung 13 und Abbildung 14 sind die Gas- und Strompreise in Europa dargestellt. In Ländern mit höheren Preisen entwickeln die Verbraucher ein stärkeres Bewusstsein für den Energieverbrauch und sind daher tendenziell mehr auf Energieeffizienz bedacht. Wie aus den Karten hervorgeht sind diese (zumeist südlichen) Länder vornehmlich Deutschland, Österreich, Portugal, Tschechien, Slowakei, Spanien, Italien und Frankreich.

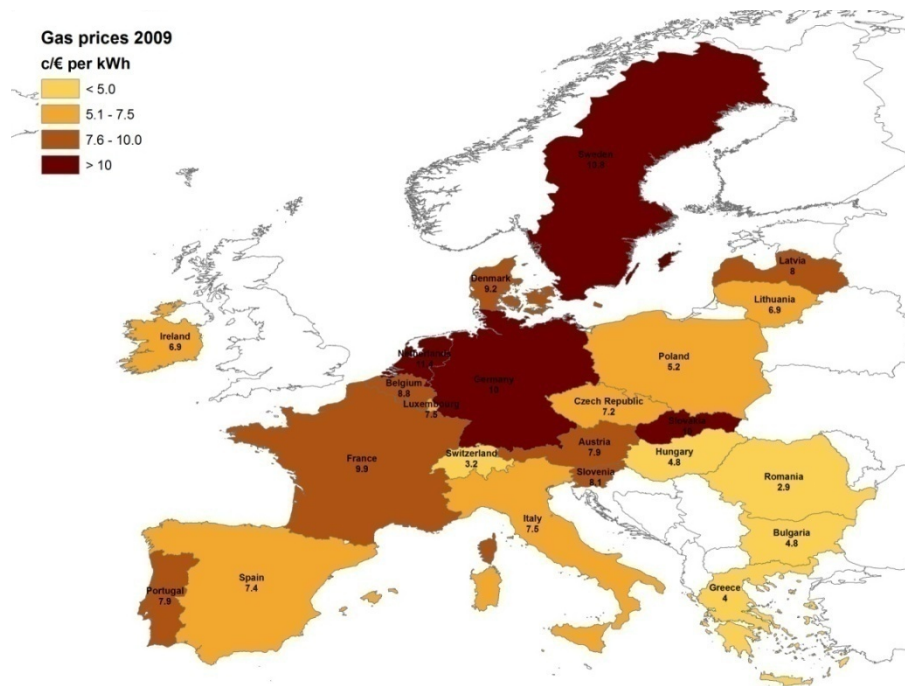


Abbildung 13 - Gaspreise in Europa, Quelle: Eurostat

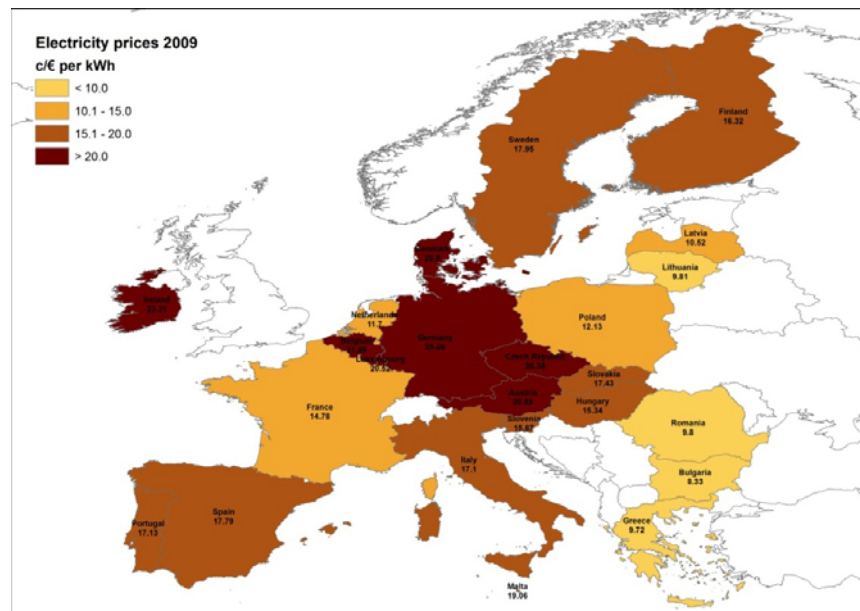


Abbildung 14 - Strompreise in Europa, Quelle: Eurostat

3.3 Heiz- und Kühllasten

Aus der Grafik zu den Heizgradtagen (HGT) (Abbildung 3), geht hervor, wie stark dieser Wert innerhalb Europas variiert (der Energiebedarf für Heizung verhält sich proportional): von etwa 2000 HGT in Südeuropa steigt er auf über 5000 HGT in nordeuropäischen Ländern (man vergleiche auch die Daten für die drei analysierten Städte, Tabelle 4). Vergleicht man letztere Karte mit Abbildung 4 in der die Kühlgradtage (KGT) dargestellt sind, wird deutlich, dass dort die Bandbreite deutlich schmäler ist; das liegt zum einen daran, dass nur vier anstatt acht Monate berücksichtigt werden, zum anderen ist es auf die geringeren Temperaturunterschiede zwischen der sommerlichen Außentemperatur und der Raumsolltemperatur für Kühlung (26°C) zurückzuführen. Außerdem sind latente Lasten und Strahlungslasten per Definition nicht in den KGT enthalten. Somit liegen die Kühllasten ungefähr eine Größenordnung unter den Heizlasten im härtesten Kühlfall (Neapel). Trotzdem variieren die Werte um den Faktor 8 zwischen Süd- und Nordeuropa (Tabelle 4).

Tabelle 4 - HGT und KGT für die Städte, die im Projekt untersucht werden

	HGT (21°C)	KGT (26°C)
Straßburg	4174	9
Toulouse	3044	26
Neapel	2221	70

Aus diesen Zahlen geht hervor, dass Neapel und Toulouse sich aufgrund der hohen Heiz- und Kühllasten besser für SolarCombi+ Systeme eignen als Straßburg, das vornehmlich hohe Heizlasten aufweist.

3.4 Nutzbare Strahlung für Raumheizung (40°C)

Für die Betrachtung der nutzbaren Energie am Kollektorausstritt, werden die niedrigsten Temperaturen - geeignet für Flächenheizung - zuerst herangezogen. Dabei wird deutlich, dass auf diesem Temperaturniveau während der Heizperiode sowohl in südlichen als auch in nördlichen Regionen beträchtliche Energiemengen erzielt werden können (siehe Tabelle 5, Abbildung 15 und Abbildung 16). Aus Abbildung 15 und Abbildung 16, die sich auf Flach- bzw. Vakuumröhrenkollektoren beziehen, geht hervor, dass die Werte zwischen rund 300 kWh/m²a und 900 kWh/m²a liegen. Für die drei Städte ergeben sich nutzbare Strahlungsmengen von 400 bis 700 kWh/m²a im Fall von Flachkollektoren und 540 bis 860 kWh/m²a für Vakuumröhrenkollektoren.

Tabelle 5 - Nutzbare Strahlung [kWh/m²a] bei 40°C für Heizung (8 Monate)

	FK- Heizperiode	VK- Heizperiode	Verhältnis FK/VK
Straßburg	397	537	73.92%
Toulouse	568	735	77.28%
Neapel	690	861	80.13%

Die nutzbare Strahlung für Vakuumröhrenkollektoren in Straßburg ist ähnlich der für Flachkollektoren in Toulouse. Wie zu erwarten ist, zeigt der höhere Gesamtwirkungsgrad von Vakuumröhrenkollektoren in nördlichen Ländern aufgrund der größeren mittleren Temperaturdifferenz stärkere Auswirkung: das Verhältnis von Nutzenergie aus Flachkollektoren zu der von Vakuumröhrenkollektoren sinkt von 80% auf 74% (letzte Spalte von Tabelle 5). Um einen akzeptablen Teil des Bedarfs in nördlichen Ländern zu decken, ist somit die effizientere Technologie am besten geeignet. Selbstverständlich müssen für diese Entscheidung jedoch auch die verfügbare Fläche sowie technische und wirtschaftliche Aspekte miteinbezogen werden.

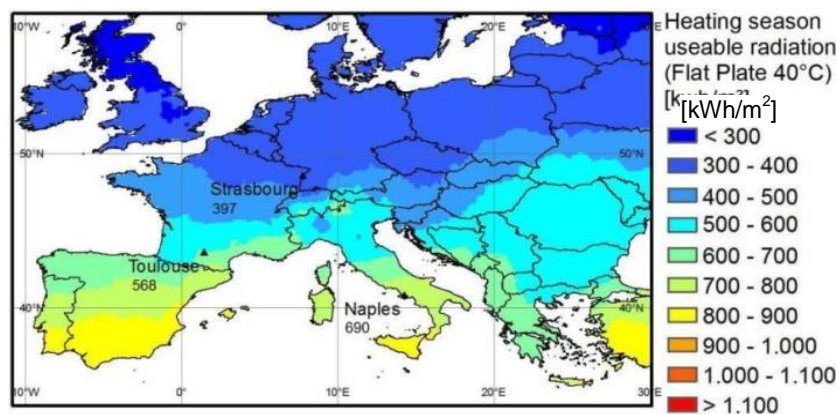


Abbildung 15 - Bei 40°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Heizperiode (8 Monate)

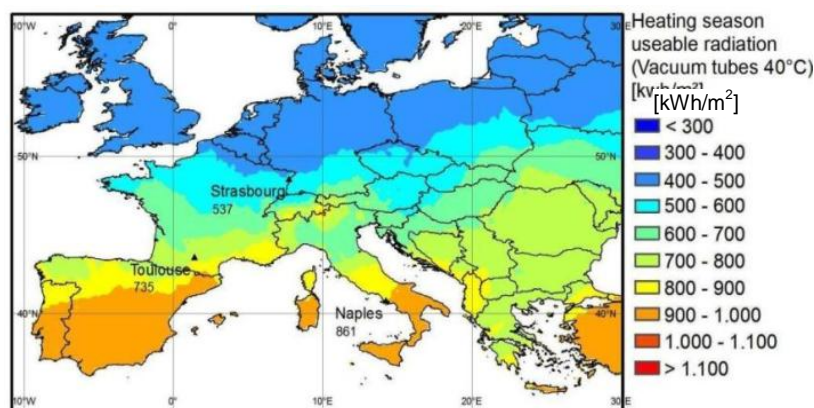


Abbildung 16 - Bei 40°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung in der Heizperiode (8 Monate)

3.5 Nutzbare Strahlung für Warmwasserbereitung (60°C)

Bei 60°C kann im Sommer (4 Monate) ungefähr gleichviel Energie solar bereitgestellt werden wie im restlichen Jahr. In Abbildung 17 und Abbildung 18 (Heizperiode), variieren die Werte wieder zwischen rund 300 kWh/m²a und 900 kWh/m²a. Für die drei Städte liegen die Werte zwischen 300 und 550 kWh/m²a für Flachkollektoren und 500 und 800 kWh/m²a im Fall von Vakuumröhrentechnik. Während der Kühlperiode (Abbildung 19 und Abbildung 20), erreicht die nutzbare Strahlung zwischen 450 und 650 kWh/m²a im Fall von Flachkollektoren und 600 bis 850 kWh/m²a mit Vakuumröhrenkollektoren. Die bemerkenswert guten Ergebnisse oben rechts auf der Karte dürften die Folge der schlechten Datenbasis für diese Region und den daraus resultierenden Interpolationsfehlern sein.

Da für die Warmwasserbereitung höhere Temperaturen benötigt werden, steigt der Vorteil der Vakuumröhrentechnik, der bereits im vorangegangenen Kapitel beobachtet wurde, auf durchschnittlich 28% in der Kühlsaison und 36% in der Heizperiode (siehe Tabelle 6 und Tabelle 7). Diese Unterschiede resultieren aus der Verknüpfung von Strahlung und Außentemperatur, die zu thermischen Verlusten führt. Dabei sind die durchschnittlichen Temperaturdifferenzen im Winter höher.

Tabelle 6 - Nutzbare Strahlung [kWh/m²a] bei 60°C zur Warmwasserbereitung

	FK-Kühlperiode	VK-Kühlperiode	FK-Heizperiode	VK-Heizperiode
Straßburg	438	624	302	490
Toulouse	530	734	445	678
Neapel	632	855	552	802

Aus Tabelle 6 geht zudem hervor, dass die nutzbare Strahlung in Neapel rund 20% über der in Toulouse liegt und rund 50% über dem Ergebnis für Straßburg. Für die Wahl des Kollektortyps spielen wiederum die Anschaffungskosten eine wichtige Rolle.

Tabelle 7 - Verhältnis zwischen der Energieausbeute mit Flachkollektoren (FK) und Vakuumröhrenkollektoren (VK) in der jeweiligen Periode

	Relation FP/VK Kühlperiode	Relation FP/VK Heizperiode
Straßburg	70.20%	61.63%
Toulouse	72.21%	65.63%
Neapel	73.91%	68.82%

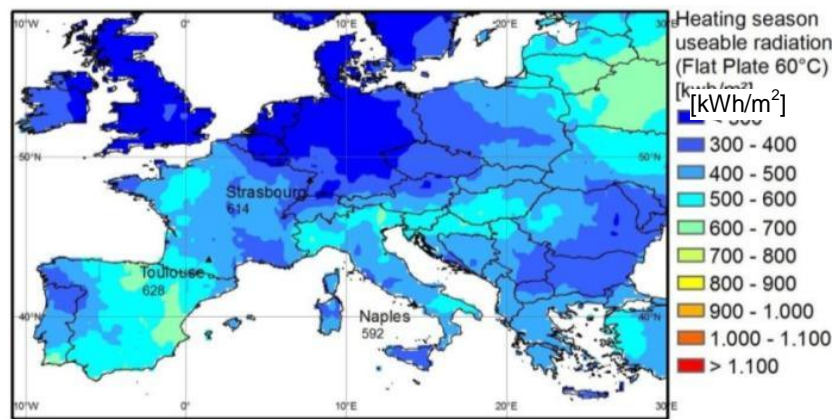


Abbildung 17 - Bei 60°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Heizperiode (8 Monate)

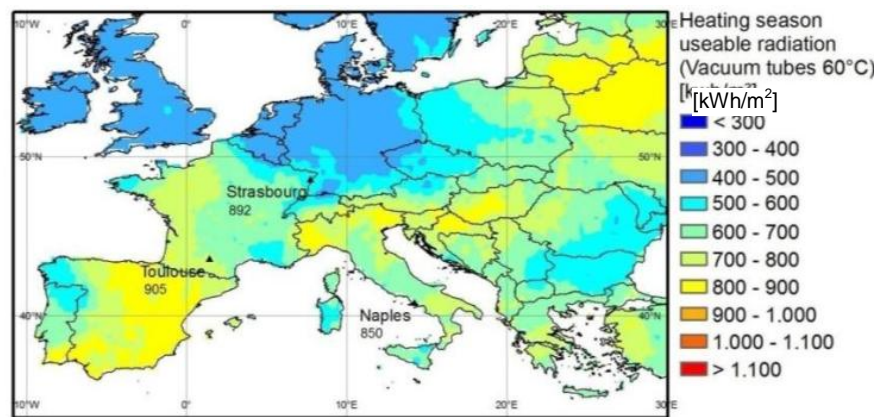


Abbildung 18 - Bei 60°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung in der Heizperiode (8 Monate)

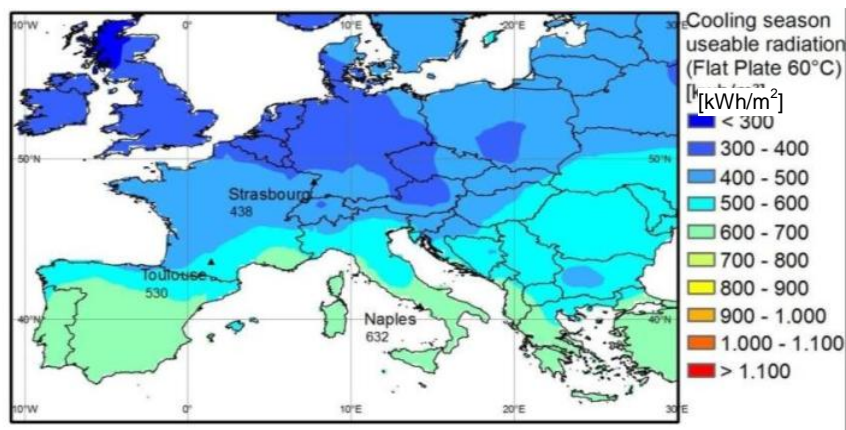


Abbildung 19 - Bei 60°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate)

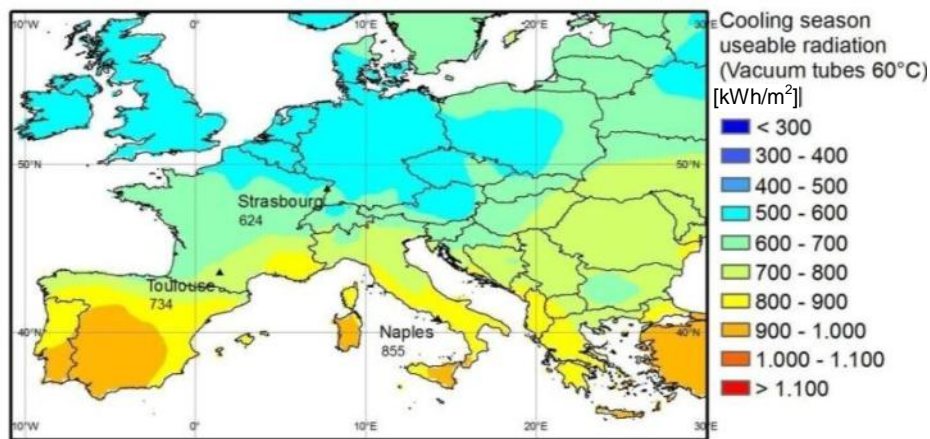


Abbildung 20 - Bei 60°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate)

3.6 Nutzbare Strahlung zum Betrieb von Sorptionskältemaschinen

Um die vielversprechendsten Märkte zu definieren, ist es nötig, den Kühlbedarf für das Gebäude zu kennen: die Abnahme an verfügbarer Strahlung in nördlichen Ländern könnte nämlich durch den geringeren Kühlbedarf ausgeglichen werden. Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, ist der Kühlbedarf in Straßburg und Toulouse 60% bzw. 40% niedriger als der in Neapel (für das Bürogebäude). Im Fall der Wohngebäude ergibt sich ein 70% bzw. 65% niedriger Kühlenergiebedarf für Toulouse gegenüber Neapel.

3.6.1 Adsorptionskältemaschinen (70°C - Kühlperiode)

Wenn die verfügbare Energie für eine Temperatur, die sich vornehmlich für den Betrieb von Adsorptionskältemaschinen eignet (70°C), betrachtet wird, liegen die Ergebnisse wieder im Bereich von rund 300 kWh/m²a und 850 kWh/m²a (Abbildung 21 und

Abbildung 22). Bei Betrachtung der drei Städte ergeben sich Werte von 400 bis 600 kWh/m²a für Flachkollektoren und 600 bis 850 kWh/m²a im Fall von Vakuumröhrenkollektoren.

Nimmt man wieder Neapel als Referenzstandort, beträgt die Reduktion an nutzbarer Strahlung 18% und 33% für Toulouse und Straßburg, wenn Flachkollektoren eingesetzt werden, und 15% und 28% für Vakuumröhrenkollektoren.

Aus dieser Analyse geht hervor, dass die Kühllast für ein gegebenes Gebäude und gegebene Kollektorfläche in nördlichen Ländern besser gedeckt werden

kann. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass der niedrige Nutzungsgrad bei geringem Kühlbedarf die Wirtschaftlichkeit deutlich reduziert.

Freie Kühlung kann daher bei sehr geringen Kühllasten eine Option sein. Aus Tabelle 6 geht zudem hervor, dass die nutzbare Strahlung in Neapel rund 20% über der in Toulouse liegt und rund 50% über dem Ergebnis für Straßburg. Für die Wahl des Kollektortyps spielen wiederum die Anschaffungskosten eine wichtige Rolle. Im Vergleich von Tabelle 7 (Kühlperiode) mit Tabelle 8 wird zudem deutlich, dass die größere Energieausbeute der Vakuumröhrenkollektoren bei hohen Temperaturniveaus sich mehr und mehr auswirkt.

Tabelle 8 - Bei 70°C nutzbare Strahlung [kWh/m²a] zur Kühlung (4 Monate)

	FK-70°C	VK-70°C	Verhältnis FP/VK 70°C
Straßburg	390	604	64.57%
Toulouse	478	714	66.95%
Neapel	577	834	69.18%

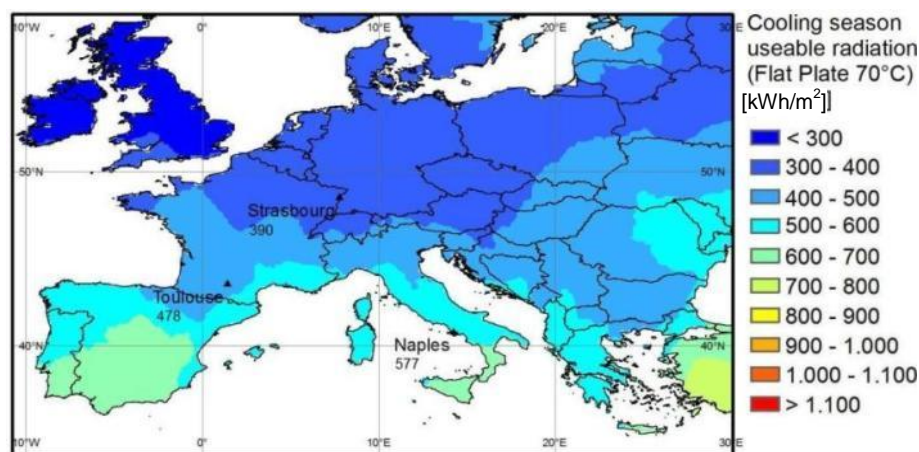


Abbildung 21 - Bei 70°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate)

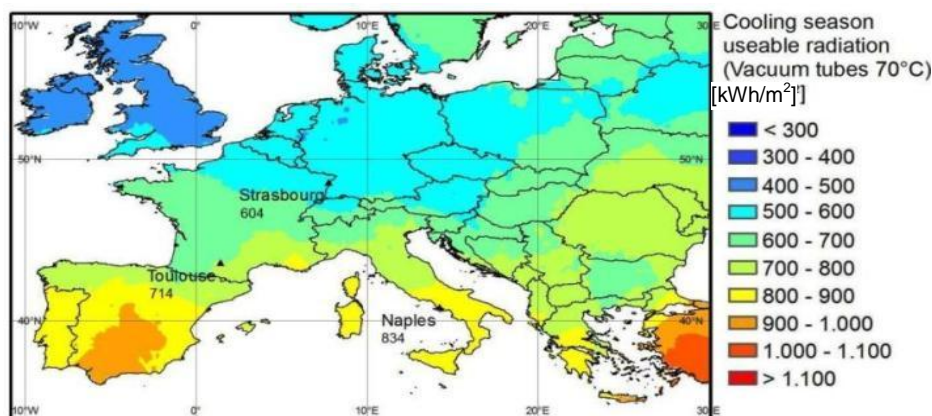


Abbildung 22 - Bei 70°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung
in der Kühlperiode (4 Monate)

3.6.2 Absorptionskältemaschinen (90°C - Kühlperiode)

Die Erkenntnisse aus dem vorangegangenen Absatz gelten auch für die nutzbare Energie bei 90°C. In Abbildung 23 und Abbildung 24 liegen die Werte wiederum im Bereich von 300 kWh/m²a und 800 kWh/m²a. Die Nutzstrahlung für die drei Städte variiert zwischen 300 und 500 kWh/m²a für Flachkollektoren und 550 bis 800 kWh/m²a im Fall von Vakuumröhrenkollektoren.

Aus Tabelle 6 geht zudem hervor, dass die nutzbare Strahlung in Neapel rund 20% über der in Toulouse liegt und rund 50% über dem Ergebnis für Straßburg. Für die Wahl des Kollektortyps spielen wiederum die Anschaffungskosten eine wichtige Rolle. Im Vergleich von Tabelle 7 (Kühlperiode) mit Tabelle 8 und Tabelle 9 wird wieder deutlich, dass die Energieausbeute mit Vakuumröhren bei hohen Temperaturen und nördlichen Standorten deutlich höher ist. Bei 90°C lässt sich mit Vakuumröhren doppelt soviel Solarstrahlung nutzen als mit Flachkollektoren. Die Reduktion der Nutzstrahlung zwischen Neapel und Toulouse bzw. Straßburg ist ähnlich der im vorangegangenen Kapitel: 20% und 36% in Toulouse bzw. Straßburg wenn Flachkollektoren eingesetzt werden und 16% bzw. 29% im Fall von Vakuumröhrenkollektoren.

Tabelle 9 - Bei 90°C nutzbare Strahlung [kWh/m²a] zur Kühlung (4 Monate)

	FK-90°C	VK-90°C	Relation FP/VK 90°C
Straßburg	306	565	54.16%
Toulouse	383	674	56.82%
Neapel	474	793	59.77%

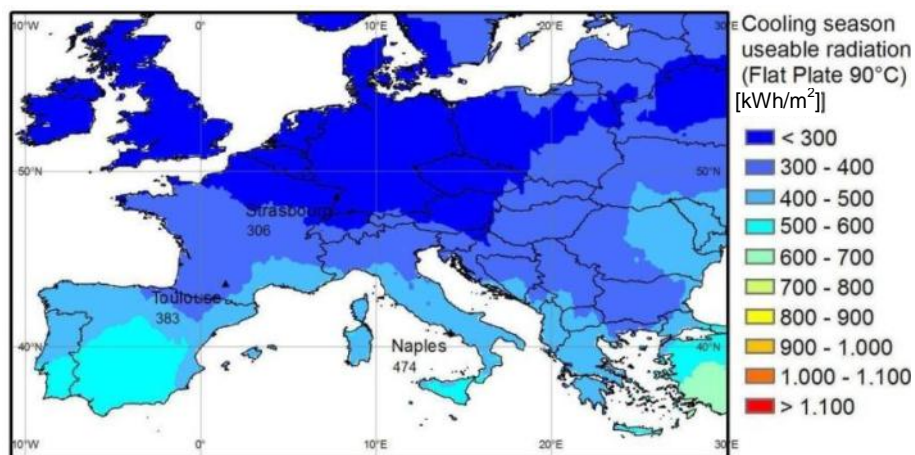


Abbildung 23 - Bei 90°C mit Flachkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate)

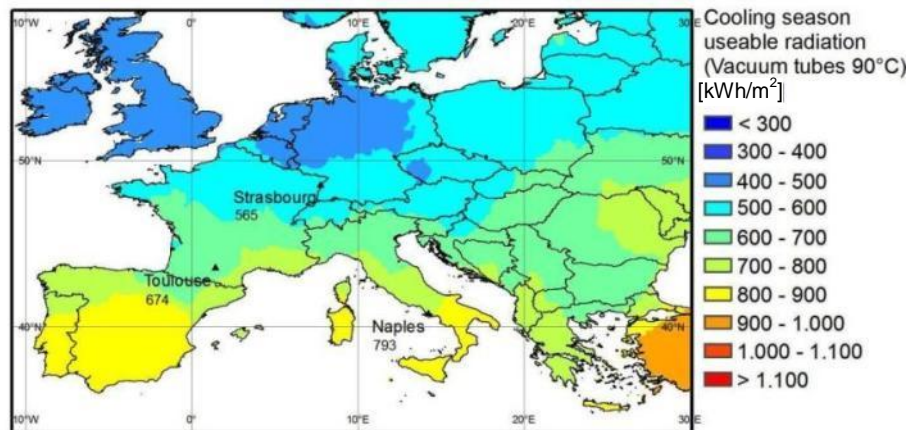


Abbildung 24 - Bei 90°C mit Vakuumröhrenkollektoren nutzbare Strahlung in der Kühlperiode (4 Monate)

4 Zusammenfassung

Durch den Standort des Systems ist die Solarstrahlung und zu einem gewissen Grad der Bedarf an Warmwasser, Heizung und Kühlung bestimmt. Aus der theoretisch nutzbaren Solarstrahlung und den verschiedenen Lasten ergibt sich die Eignung eines Klimas für die Installation eines SolarCombi+ Systems.

Aufgrund der niedrigen Heiztemperatur (Annahme: 40°C Heizungsvorlauftemperatur) eignen sich alle betrachteten Standorte zur Heizungsunterstützung mit hohen solaren Deckungsgraden. Offensichtlich sind südliche Standorte besser für Kühlanwendungen geeignet, da dort die solare Einstrahlung deutlich höher ist. Jedoch sind dort die Kühllasten auch deutlich höher und treten teils auch nachts auf. In nördlichen Regionen könnte freie Kühlung eine Lösung sein, um den Kühlbedarf zu decken.

Die verwendete Kühltechnologie (Ab- oder Adsorptionskältemaschine) sowie die Kollektorbauart muss auch berücksichtigt werden: besonders für hohe Temperaturen und nördliche Standorte sollten effiziente Kollektortypen eingesetzt werden. Dabei muss der Zusatzertrag von Vakuumröhrenkollektoren immer den höheren Investitionskosten gegenübergestellt werden. Zudem spielt auch das Jahreslastprofil eine Rolle. So kann es sein, dass der Kühlbedarf im Vergleich zum Heizbedarf deutlich geringer ausfällt und der höhere Ertrag mit besseren (und teuren) Kollektoren nicht sonderlich ins Gewicht fällt.

Aus diesem Grund kann kein eindeutiger „vielversprechendster Markt“ ausgemacht werden, obwohl die Rentabilität bei einem hohen Nutzungsgrad aufgrund hoher Kühl-, Heiz- und Warmwasserlasten steigt. Zu sehr hängt die Eignung von der jeweiligen Anwendung sowie der eingesetzten Technologie ab. Daher muss die Wirtschaftlichkeit und Technologie für eine potenzielle Anwendung fallweise bewertet werden.

Aus gesellschaftlicher Sicht sind nur wenige Länder vielversprechender als andere. Dies ist entweder der Fall, wenn solarthermische Systeme bereits eine gewisse Verbreitung gefunden haben und somit in der Bevölkerung ein erhöhtes Bewusstsein um die Technologie besteht, oder wenn die Energiekosten und daher die Bereitschaft der Kunden, erneuerbare Energien anzuwenden, hoch ist.

5 Referenzen

- ESTIF, "Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2007", Bruxelles, June 2007.
- ESTIF, "Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2008", Bruxelles, May 2009.
- Henning, H.M., "Solar Assisted Air Conditioning in Buildings - A Handbook for Planners", 2003.
- Duffie, J., Beckman, W., "Solar Engineering of Thermal Processes", 2006.

Am IEE Projekt SolarCombi+ waren die folgenden Partner beteiligt:

Forschungsinstitutionen:

Österreich:	AEE INTEC	www.aee-intec.at
Frankreich:	Tecsol	www.tecsol.fr
Deutschland:	Fraunhofer ISE	www.ise.fraunhofer.de
Griechenland:	CRES	www.cres.gr
Italien:	EURAC	www.eurac.edu
	Universit Bergamo	www.unibg.it
Spanien:	Ikerlan	www.ikerlan.es

Industrie Partner:

ClimateWell	www.climatewell.com
Fagor	www.fagor.com
SK Sonnenklima	www.sonnenklima.de
SOLution	www.sol-ution.com
SorTech	www.sortech.de

Projektkoordination:

EURAC research
Viale Druso/Drususallee 1
I-39100 Bolzano/Bozen
Tel. +39 0471 055610
Fax +39 0471 055699
Roberto.fedrizzi@eurac.edu