

Chancen und Grenzen solarer Kühlung im Vergleich zu Referenztechnologien

Ergebnisse einer Vergleichsstudie innerhalb des Projektes EVASOLK



Alexander Morgenstern,
Edo Wiemken

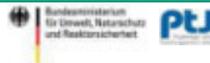
Fraunhofer Institut für Solare
Energiesysteme ISE

Solares Kühlen – Technologiestatus
und Ausblick

Graz, 12. November 2013

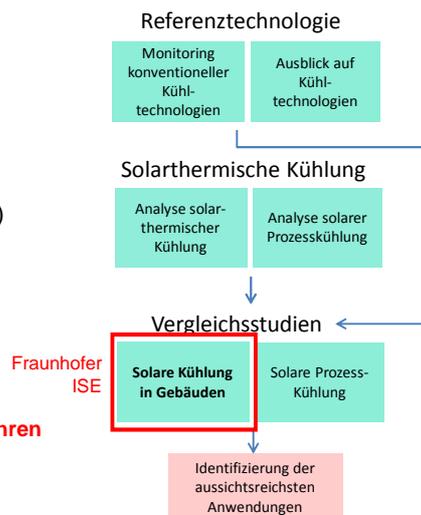
www.ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE

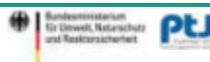


EvaSolK - Chancen und Grenzen solarthermischer Kühlung im Vergleich zu Referenzsystemen und PV-gekoppelten Systemen

- Gefördert vom BMU
- Partner:
 - ILK Dresden
 - ZAE Bayern
 - Fraunhofer ISE (Koordination)
- Laufzeit: Juni 2010 – Dez. 2012
- Fokus:
 - Referenztechnologien (z.B. Monitoring)
 - **Vergleichsstudie (Gebäude; geschlossene Verfahren zur Kälteerzeugung)**



2
© Fraunhofer ISE



Vergleichsstudie: Solare Kühlung in Gebäuden (geschlossene Kühltechnologien)

Was leistet solare Kühlung

- In verschiedenen Klimazonen
 - Zentral-/Südeuropa, Nordafrika

- In verschiedenen Nutzungen
 - **A** (z.B. Wohngebäude) — ●●●
 - **B, B*** (z.B. Büro) — ●●●
 - **C, C*** (z.B. Hotel) — ●●●

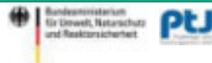
- In verschiedenen Konfigurationen
 - Kollektoren
 - Kältemaschinen
 - Wärme-Backup
 - mit/ohne Kältebackup



Cooling
Heating
Hot water

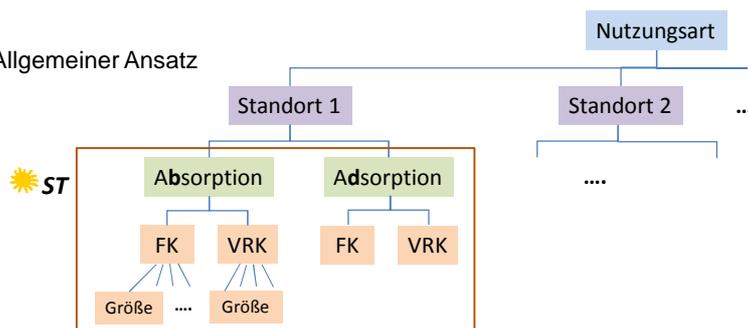
3

© Fraunhofer ISE



Vergleichsstudie: Solare Kühlung in Gebäuden (geschlossene Kühltechnologien)

■ Allgemeiner Ansatz



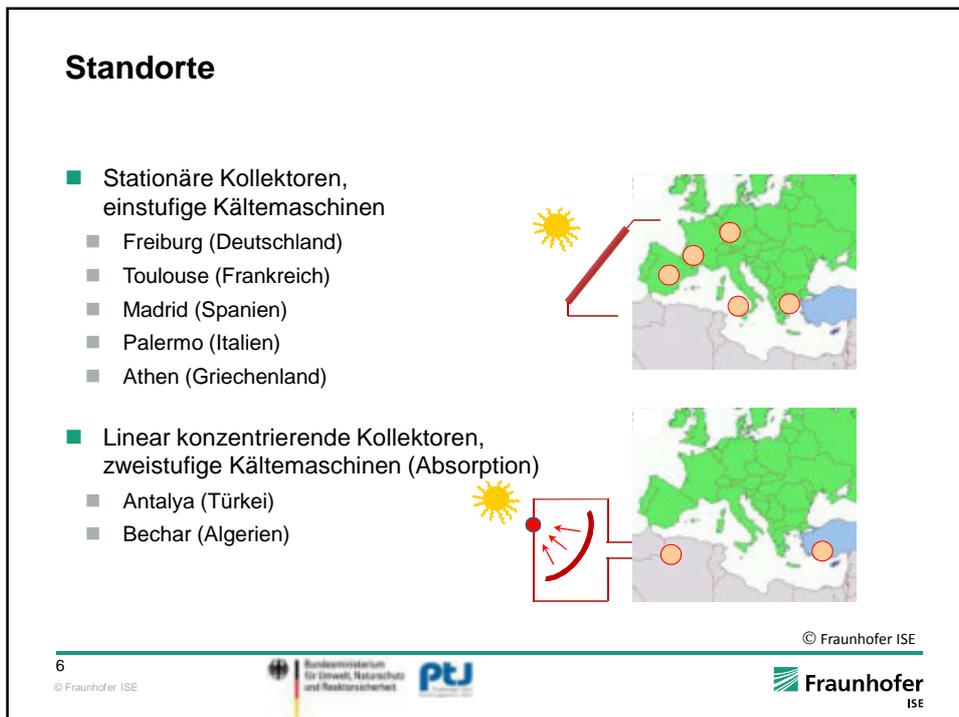
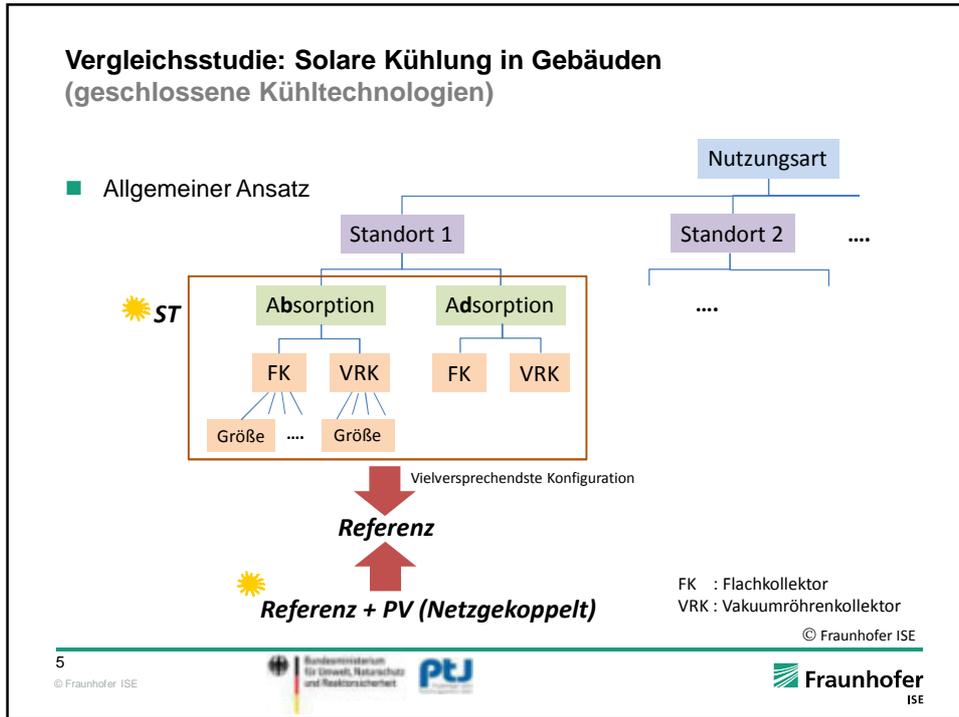
FK : Flachkollektor
VRK : Vakuumröhrenkollektor

© Fraunhofer ISE

4

© Fraunhofer ISE





Konfigurationen

■ Standardkonfigurationen mit solarthermischem System ST

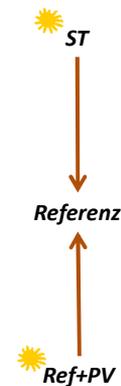
- Kälte-Backup (el. Kompressions-KM: Kaltwasser)
- **A, B** : auch mit Kälte-Backup betrachtet (in diesem Fall, solarthermische Deckung der Kühllast > 70%)
- Wärme-Backup: nicht genutzt als Antrieb der thermisch getriebenen KM

■ Referenz

- Kühlung:
 - Multi-Splitsysteme (Nutzung **A, B, C**)
 - Elektrische KKM für Kaltwasser (Nutzung **B⁺, C⁺**)

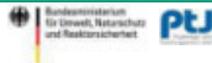
■ Referenz + PV

- Zusätzlich: Netzgekoppelte PV
- Größe der PV:
 - $PV_p = 0.5 \cdot \text{el. Nennleistung des KKM}$
 - (→ 75-90% PV-Eigenverbrauch im Gebäude)



7

© Fraunhofer ISE



Randbedingungen

■ Investitionskosten

- Kostenkurven für Schlüsselkomponenten
- Keine Förderung, keine Einspeisevergütung
- Installation, Planung, Wartung: %-Sätze der Investkosten

■ Andere Bedingungen

- Länderspezifische Energiepreise und Umwandlungsfaktoren (Primärenergie, CO₂-Ausstoß)
- Anstieg der Betriebskosten: Elektrizität 5%/Jahr; Gas 3%/Jahr
- 20 Jahre Lebensdauer (Lebensdauer: solarthermische Systeme: 20 Jahre, Kompressions-KM Systeme: 15 Jahre)

■ Bewertung: Standardansatz Primärenergievermeidungskosten

- Kosten eingesparter Primärenergie innerhalb der Lebensdauer (CPE_{LCC})*
 - € pro kWh eingesparter Primärenergie
 - CPE_{LCC} > 0: **zusätzliche Kosten** im Vergleich zur Referenz

* Auch definiert als Kosten eingesparter CO₂ Emissionen innerhalb der Lebensdauer

8

© Fraunhofer ISE

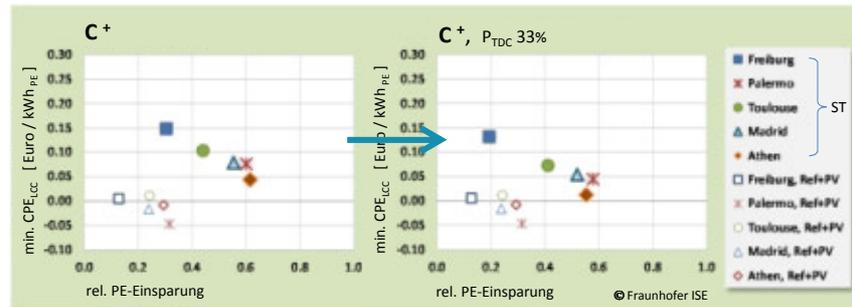


Ergebnisse: Kosten und Einsparung



A	Wohngebäude	●○●●
B	Büro	●●●●
B*	Büro, groß	●●●●
C	Hotel	●●●●●●
C*	Hotel, groß	●●●●●●

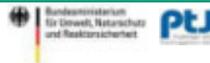
- Vielversprechend für ST: Systeme mit zusätzlich hohem WW-Bedarf
 - Beispiel: Leistung der TKM verringert von 75% der max. Kühlleistung auf 33%
 - Trotzdem hohe PE-Einsparungen möglich, spezifische Kosten verringert
 - → Auslegung auf Spitzenlast vermeiden



TKM : thermische Kältemaschine

9

© Fraunhofer ISE

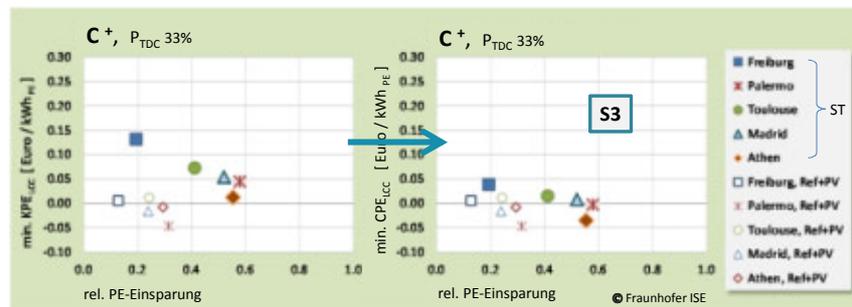


Ergebnisse: Kosten und Einsparung



A	Wohngebäude	●○●●
B	Büro	●●●●
B*	Büro, groß	●●●●
C	Hotel	●●●●●●
C*	Hotel, groß	●●●●●●

- Effekte der Kostenansätze
 - Unterschiedliche Kostenszenarios (Verringerung der Komponentenkosten)
 - S3: höchste Kostenverringering (Kollektorsystem: - 40%; TKM System: - 50%)
 - → ökonomisch konkurrenzfähig zu Ref+PV, aber geringerer Umwelteinfluss



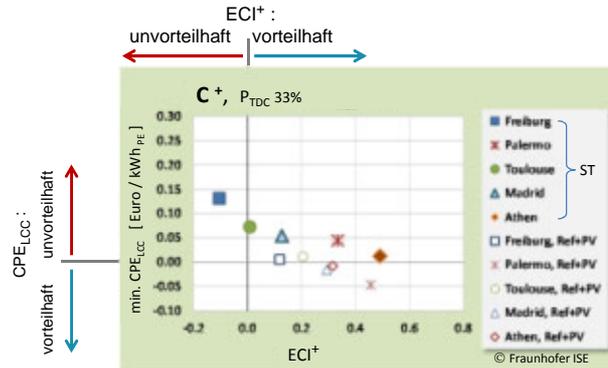
10

© Fraunhofer ISE



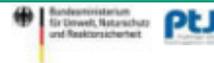
Bewertungskriterien *effect cost index ECI⁺*

- Kosten eingesparter Primärenergie: im Fall wirtschaftlicher Einsparungen ($cost < 0$)
 - → Teilen von zwei vorteilhaften Größen → nicht wirklich sinnvoll
 - → könnte eine positive Wahl bei nahezu verschwindenden Primärenergieeinsparungen bewirken
- Alternative: **ECI⁺ = relative Kosteneinsparungen + relative Umweltvorteile**



11

© Fraunhofer ISE



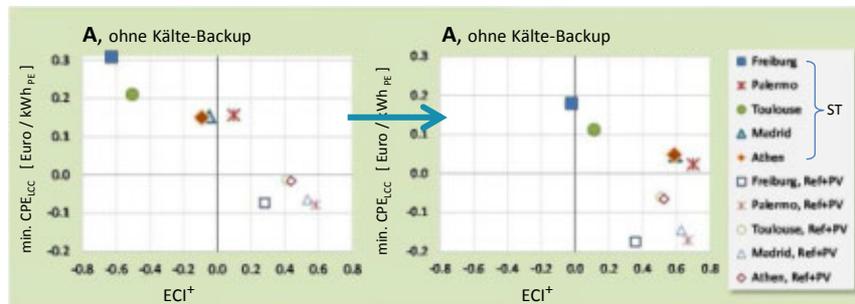
Fraunhofer ISE

Beispiel: Sensitivität

Kollektorsystem -10%
TKM-System -25%

Anstieg Elektroenergiepreis	5 %/a
Anstieg Gaspreis	3 %/a
Kostenansatz	keiner
Lebensdauer Multi-split system (Ref)	15 a

Anstieg Elektroenergiepreis	10 %/a
Anstieg Gaspreis	6 %/a
Kostenansatz	S2
Lebensdauer Multi-split system (Ref)	10 a



12

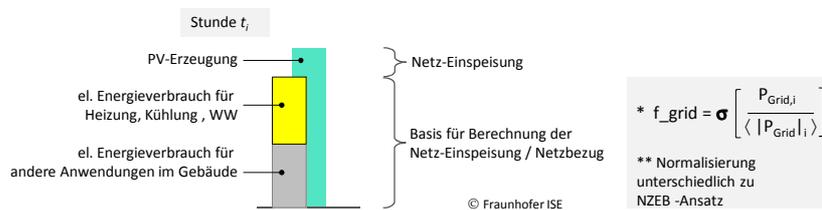
© Fraunhofer ISE



Fraunhofer ISE

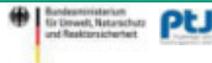
Abschätzung der Netz-Wechselwirkungen

- Physikalische Effekte auf die Netzfrequenz und –spannung am lokalen Versorgungsknoten: in EVASOLK nicht untersucht
- Ansatz ähnlich dem bei Net Zero Energy Buildings (NZEB):
 - Netz-Wechselwirkungs-Index f_{grid} (jährlicher Wert)*:
 - Standardabweichung der schwankenden Netzwechselwirkungen (normalisiert auf die mittlere Netzbelastung)**
 - Je geringer f_{grid} , desto geringer der 'Stress' für das Netz



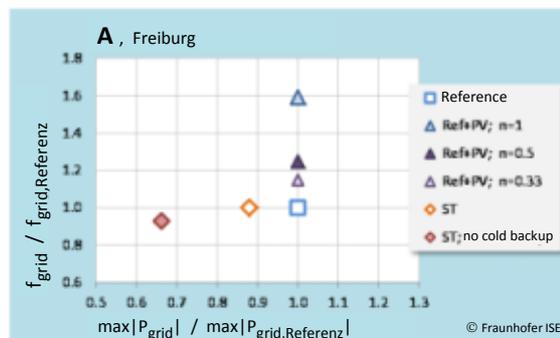
13

© Fraunhofer ISE



Netz-Wechselwirkung

- Nutzungsart A
 - Verringerung der Netz-Spitzenbelastung durch solarthermische Kühlung, besonders in Konfigurationen ohne Kälte-Backup
 - Anstieg des Netz-Stresses mit Ref+PV



Konfiguration:

Gasboiler als Wärme-Backup

14

© Fraunhofer ISE



Schlussfolgerungen (I)

Solarthermische Kühlung ist noch nicht vergleichbar mit Netz gekoppelten PV-Systemen aufgrund der geringen Marktanteile, was aus den vergleichsweise hohen Investkosten für die thermischen Systeme resultiert.

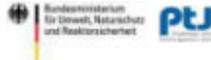
Daher ist eine differenzierte Betrachtung der technischen Ansätze notwendig:

Solarthermisch angetriebene Systeme

- Positive Umwelteffekte
→ hohe Primärenergie- und CO₂-Einsparungen möglich
- Vorteilhafte Anwendungen: hohe Anzahl von Vollaststunden für das Kühlsystem (>> 500 h/y), hohe Einstrahlungssummen
- Alleiniger Ausgleich der elektrischen Variante durch solarthermische Option schwierig in Bezug auf Wirtschaftlichkeit bei derzeitigen Kosten (und auch mit moderaten Kostenreduktionen), besonders im Vergleich zu Option Ref+PV;

15

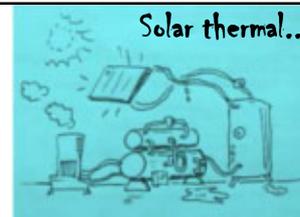
© Fraunhofer ISE



Schlussfolgerungen (II)

Solarthermisch angetriebene Systeme

- Voraussetzungen für wirtschaftliche Nutzung :
 - Optimierte Nutzung des Kollektorsystems während des gesamten Jahres zur Deckung zusätzlichen Wärmebedarfs, z. B. , hoher Warmwasserverbrauch (Hotels, Krankenhäuser, Industrie, ..)
⇒ Nutzungskette der Solarwärme
 - Genaue Planung und Layout von Systemen mit großer Leistung
⇒ keine Auslegung des solarthermischen Kühlsystems auf Spitzenlast
 - Falls mit den Anforderungen an das Raumklima vereinbar:
Verzicht auf Installation eines Kälte-Backup
 - Moderate bis deutliche Kostenverringerungen (oder entsprechende Förderung) des Kollektorsystems und des thermischen Kühlsystems
 - Zweistufige Kühlsysteme an passenden Standorten
 - Falls möglich: Nutzung der Abwärme aus der Rückkühlung zur Vorheizung des Brauchwarmwassers (große Mengen, z. B. Produktionsstätten)



16

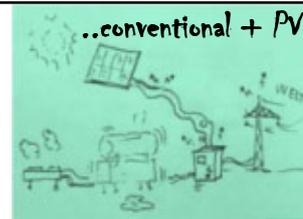
© Fraunhofer ISE



Schlussfolgerungen (III)

Option Referenz + PV

- A) Kosten- und Umweltvorteile
 - In Anwendungen mit dominantem Elektroenergiebedarf (geringer Anteil fossiler Brennstoffe für Heizung):
→ Vorteile von Ref+PV bezüglich Wirtschaftlichkeit und Umwelt
 - In Anwendungen mit hohem zusätzlichem thermischen Bedarf (WW):
→ geringere Umwelteffekte als solarthermische Option; geringere Kostenunterschiede
- B) Netzwechselwirkung und Netz-Stress (qualitativ)
 - Allgemein: Anstieg des Netz-Stresses → Berücksichtigung in schwachen öffentlichen Netzen
 - Bei einigen Anwendungen: hohe Spitzenlastwechselwirkung bei den Netzgekoppelten Systemen im Vergleich zur solarthermischen Option → Berücksichtigung in schwachen öffentlichen Netzen



Bitte beachten:

- Es wurden nur marktgängige solare Konfigurationen und Komponenten betrachtet

17

© Fraunhofer ISE



Schlussbemerkungen

- EVASOLK wurde gefördert vom Bundesumweltministerium (FKZ 0325966ABC)
- Öffentlicher Abschlussbericht :
 - TIB (Technische Universitätsbibliothek Hannover)
www.tib-hannover.de
 - oder
 - www.solare-kuehlung.info



18

© Fraunhofer ISE



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

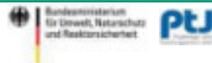
Alexander Morgenstern

www.ise.fraunhofer.de

alexander.morgenstern@ise.fraunhofer.de

19

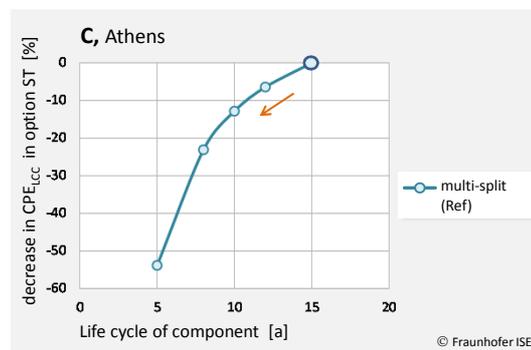
© Fraunhofer ISE



Annex 1

Example: sensitivity analysis

- Effect on cost per saved primary energy CPE_{LCC} in solar thermal option, when lifetime of multi split unit in *Reference* decreases



20

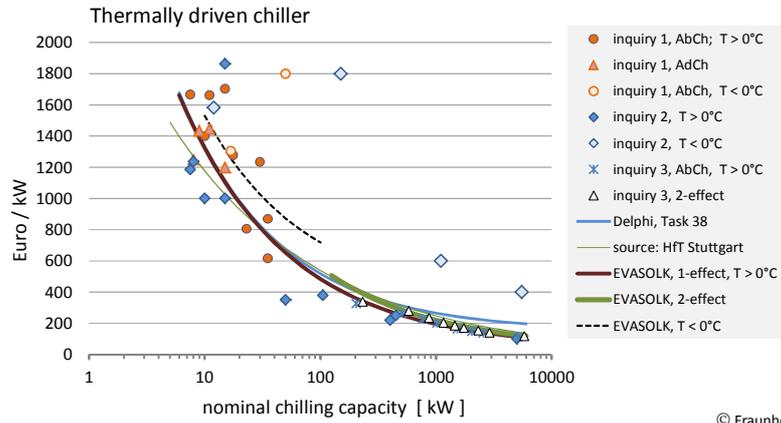
© Fraunhofer ISE



Annex 2

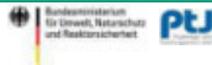
Example: specific cost

Example: cost curve thermally driven chiller



21

© Fraunhofer ISE



© Fraunhofer ISE



Annex 3

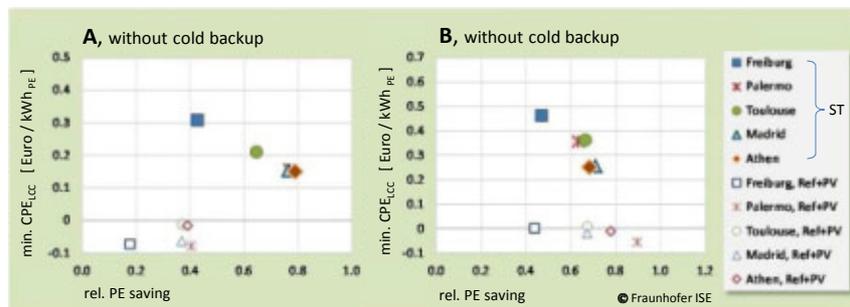
Results: costs and savings



A	Residential	●●●●●
B	Office	●●●●●
B*	Office, large	●●●●●
C	Hotel	●●●●●
C*	Hotel, large	●●●●●

Standard configurations

- **A:** higher PE savings compared to *Ref+PV* due to additional substitution of fossil fuel (hot water preparation)
- **B:** *Ref+PV* is more promising in case of predominant substitution of electricity
- In both utilisations, solar thermal options cannot compete economically (present cost base)

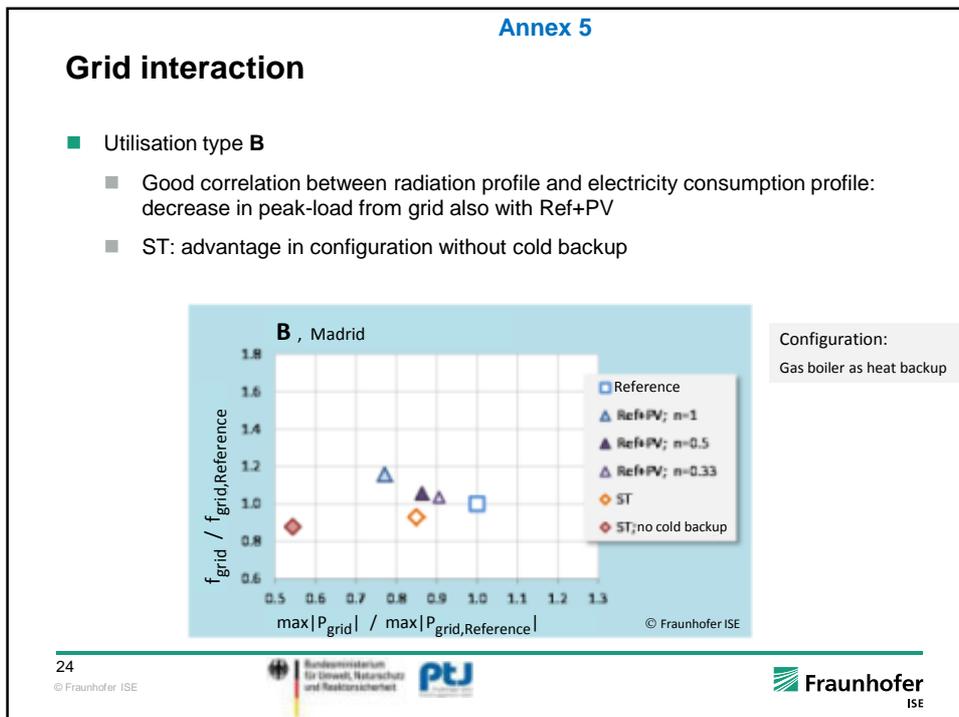
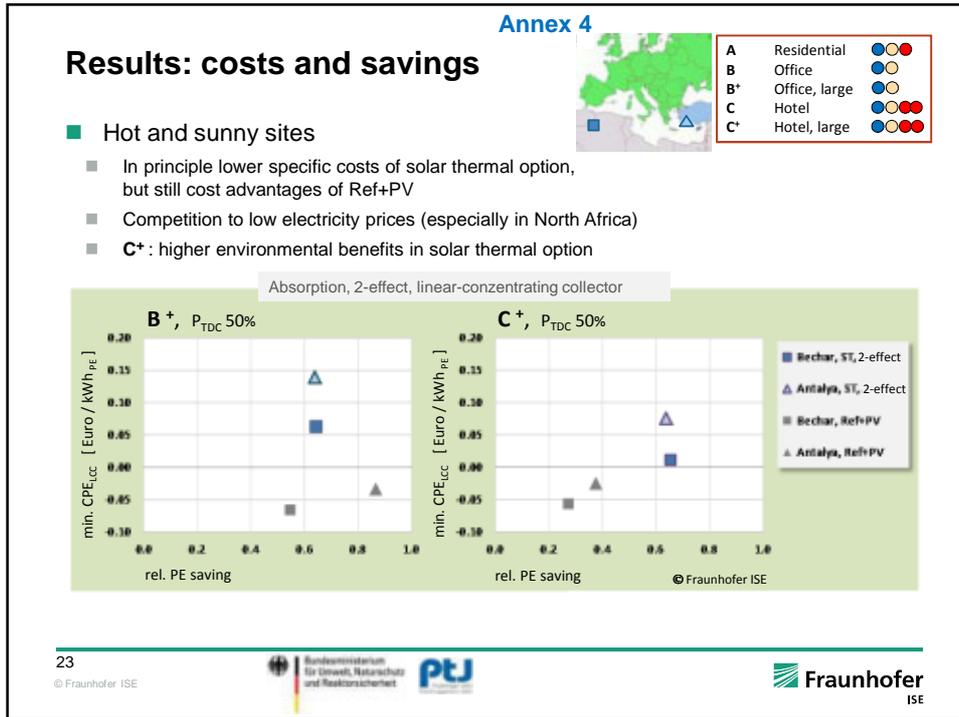


PE saving: relative to primary energy demand in Reference for cooling, heating, hot water

22

© Fraunhofer ISE

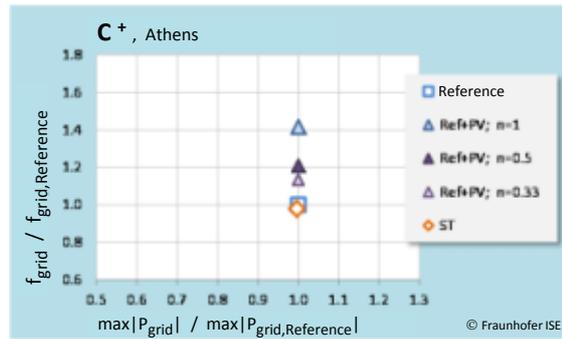




Annex 6

Grid interaction

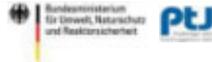
- Utilisation type C
 - Increase of grid stress with Ref+PV



Configuration:
Gas boiler as heat backup

25

© Fraunhofer ISE



Annex 7

Evaluation criteria *cost per saved primary energy unit*

- Often applied (also as cost per unit CO₂ avoidance)
- But: in case of economic savings (cost < 0): division of two advantageous numbers → not really useful
- Implies positive choice even at nearly vanishing primary energy savings

■ **Alternative: effect-cost-index**

$ECI^+ = \text{relative cost savings} + \text{relative environmental benefit}$

■ $c1 = \frac{LCC_{Reference} - LCC_{Regenerative}}{LCC_{Reference}}$

> 0, if regenerative option shows lower Life Cycle Costs (LCC)

■ $c2 = \frac{PE_demand_{Reference} - PE_demand_{Regenerative}}{PE_demand_{Reference}}$

Pre-condition: always > 0

■ Effect-Cost-Index $ECI^+ = c1 + c2$

A negative cost value c1 may be compensated through high primary energy savings

balanced presentation: equal influence of c1 and c2; also weighting factors could be applied

26

© Fraunhofer ISE

