

# Technologie-Perspektiven für die solare Kühlung

**Hans-Martin Henning**

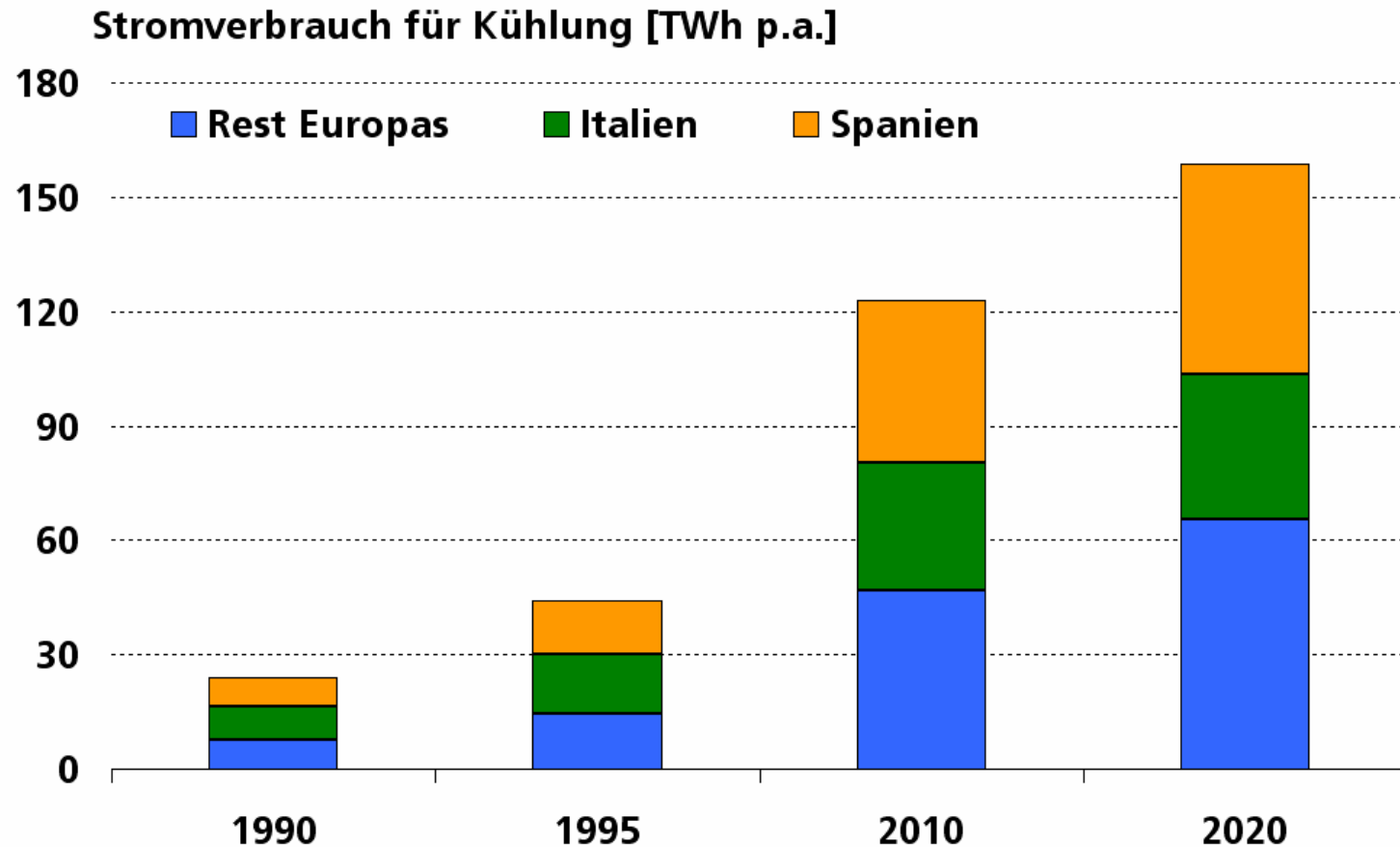
**Abteilungsleiter Thermische Anlagen und  
Gebäudetechnik**

**Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE  
Freiburg**

- **Eingrenzung**
- **Stand**
- **Hemmnisse**
- **Potenziale**
- **F+E-Bedarf**
- **Zusammenfassung**

Durchschnitt 18 GW (2020)

Peak: deutlich darüber



Quelle: Adnot et al: Energy efficiency of air-conditioners. Studies for the Commission of the EU (DG TREN)

- **Solarthermisch angetriebene Verfahren zur Kältebereitstellung und Klimatisierung**
- **Verfahren**
  - Offene Verfahren: thermisch angetriebene Luftentfeuchtung, in der Regel in Kombination mit Verdunstungskühlung
  - Geschlossene Verfahren: thermisch angetriebene Kälteerzeugung in einem geschlossenem, thermodynamischen Apparat
- **Systeme**
  - Gesamtanlage von Wärmebereitstellung über Speicherung und Kälteerzeugung bis hin zur Nutzung
  - Leistungsbereiche von wenigen kW bis etlichen MW

## Konditionierung Frischluft (Temperatur, Feuchte)

- **Festsstoffe**
  - Sorptionsrotoren
  - Weitere Verfahren in Entwicklung
- **Flüssigsorption**
  - Lithiumchlorid-Wasser
  - andere



## Kaltwassererzeugung, ggf. Eiserzeugung

- **Absorptionskältetechnik**
  - Lithiumbromid-Wasser 1-stufig
  - Lithiumbromid-Wasser 2-stufig
  - Ammoniak-Wasser
- **Adsorptionskältetechnik**
  - Silikagel-Wasser
  - Zeolith-Wasser (in Entwicklung)
- **Weitere thermochemische (z.B. Wasser-Salz)**
- **Dampfstrahlkältetechnik**



# Entwicklungen im Bereich kleiner Leistung



**EAW**



SK SonnenKlima GmbH

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit

# Wichtige Entwicklungen der vergangenen Jahre



- **Materialien**
  - Neue Feststoffmaterialien (Adsorption) (Schwerpunkt Japan, Deutschland)
- **Verfahren, Geräte**
  - Kleine geschlossene Kaltwassererzeuger unterschiedlicher Technik
  - Pilotanlagen offene Flüssigsorption
  - Anlagen mit konzentrierenden Kollektoren (Parabolrinne, Fresnel)
- **Systeme, Markt**
  - Zunehmende Anzahl von Anlagen im kleinen Leistungsbereich
  - Zusammenarbeit Solarfirmen/Kältetechnik
  - Erste Systemanbieter „Solare Kühlung“
  - „Markt“ noch dominiert von Demo-/Pilotprojekten mit Förderung



- **Heute weit über 100 Anlagen mit einer Kälteleistung > 20 kW in Europa**
  - ~70 % Absorption
  - ~ 10 % Adsorption
  - ~ 20 % offene sorptive Verfahren
  
- **Wachsende Anzahl an Anlagen im kleinen Leistungsbereich (Schwerpunkt Spanien) (> 150 Installationen in den vergangenen 2 Jahren)**



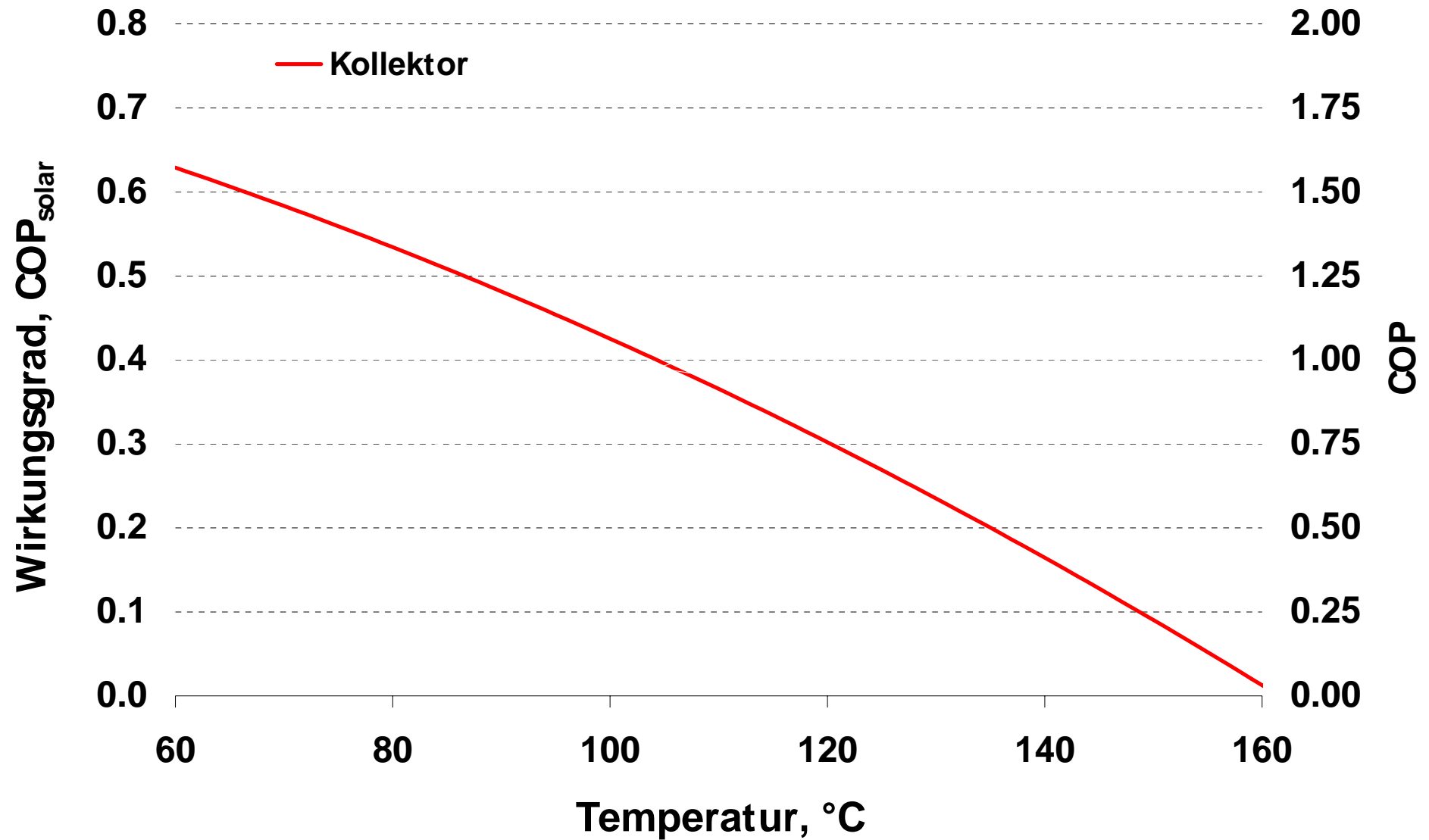
- **Komponenten und Verfahren**
  - Effizienz
  - Leistungsdichte, speziell im kleinen Leistungsbereich
  - Kosten
- **Systeme und Anwendung**
  - Gesamteffizienz (parasitärer Stromverbrauch)
  - Rückkühlung
  - Planung: Marktkenntnis der Akteure, Planungshilfsmittel
  - Betrieb: Robustheit, Komplexität
  - Wirtschaftlichkeit
- **Insgesamt: große Unüberschaubarkeit und Komplexität**

- **Verfahrensvielfalt**
  - Sorption
    - Offen/geschlossen
    - Flüssige/feste Sorptionsmittel
    - 1-stufig/2-stufig
  - Andere Verfahren, z.B. Dampfstrahl, Wärme-Kraft-Wärme-Prozesse usw.
  - Verfahrensabhängig: Temperaturanforderung
    - T-Niveau
    - T-Stabilität (Elastizität)
- **Klimatisierung**
  - Temperatur und Feuchte
  - Anbindung Gebäude
  - Luft/Wasser
- **Systemtechnik**
  - Back-up
  - Speicher
    - Größe
    - Einbauort: heiße Seite, Kühlprozess (thermochemisch), kalte Seite, Last
  - Rückkühlung
    - Wärmesenken Erde, Luft, sonstige
    - Techniken: Kühlturm (trocken, hybrid, nass), Erdreich-WT (Sonden, flächig), Pool, WW, ....
    - T-Niveau
    - Energieaufwand
    - Wartung, Hygiene
  - Hydraulik, Regelung, ...

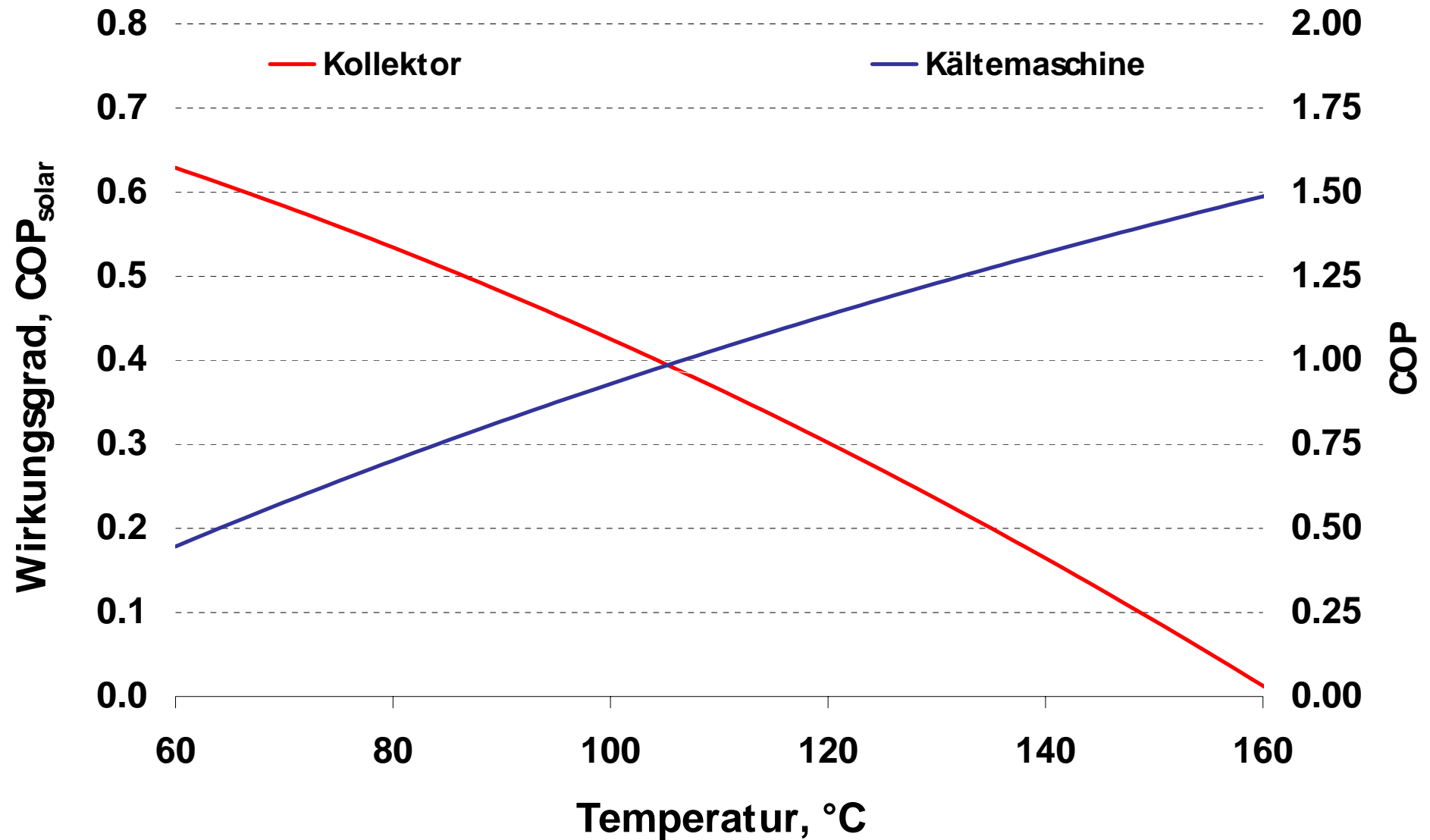
- **Effizienz**

- Erhöhte Effizienz der Kälteverfahren durch
  - Verbesserter Wärme- und Stofftransport
  - Mehrstufigkeit
  - Ausnutzung interne Wärmerückgewinnung
- Carnot'scher Gütegrad (Carnot-Faktor)
  - Heute rund 0.25 – 0.4
  - Zukünftig 0.35 – 0.5
- Erhöhte Effizienz des Gesamtsystems durch
  - Höhere Antriebstemperaturen (→ Kollektoren)
  - Verbesserte Speicher
  - Fortgeschrittene Integration

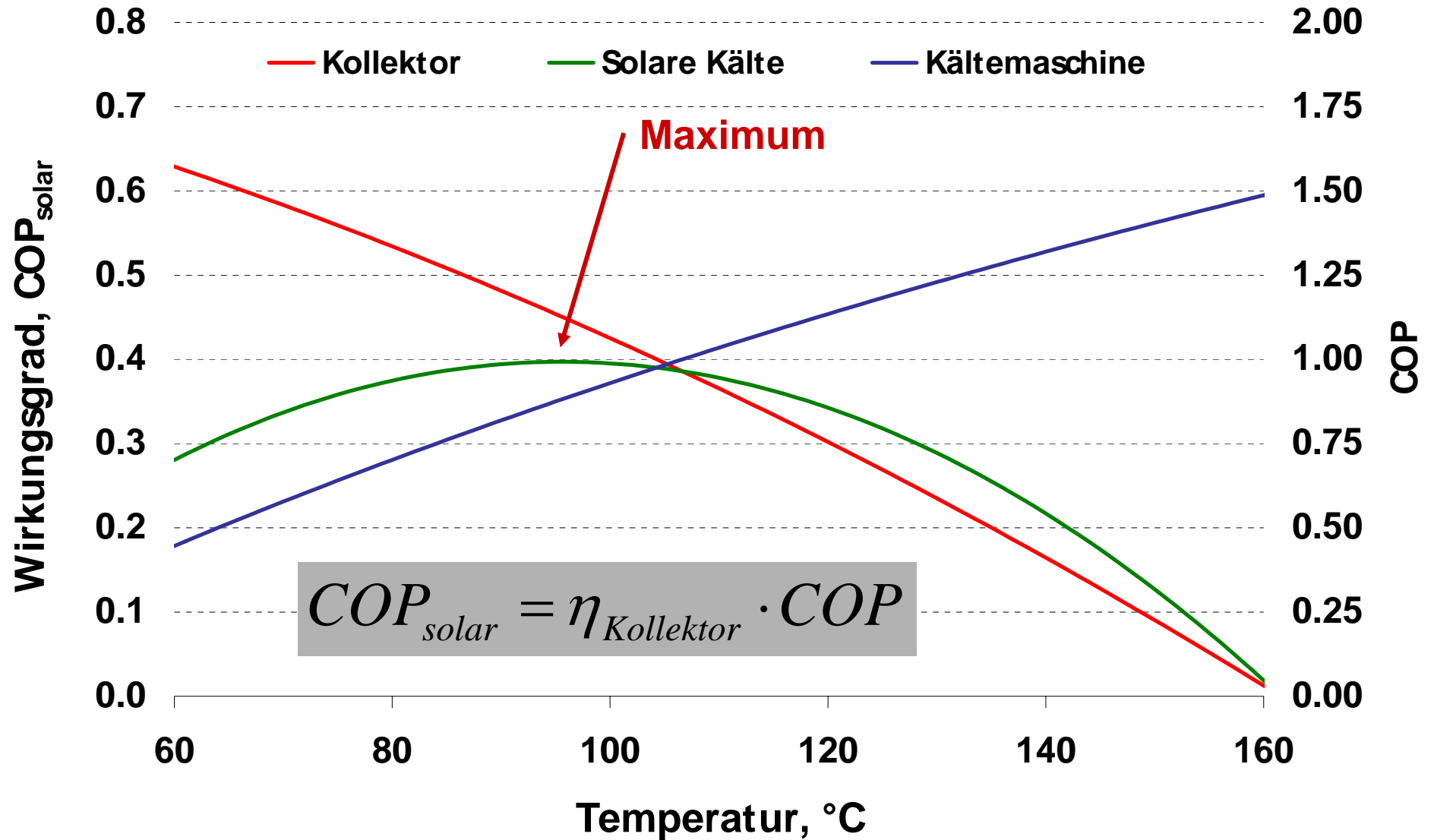
# Effizienz solare Kälte



# Effizienz solare Kälte



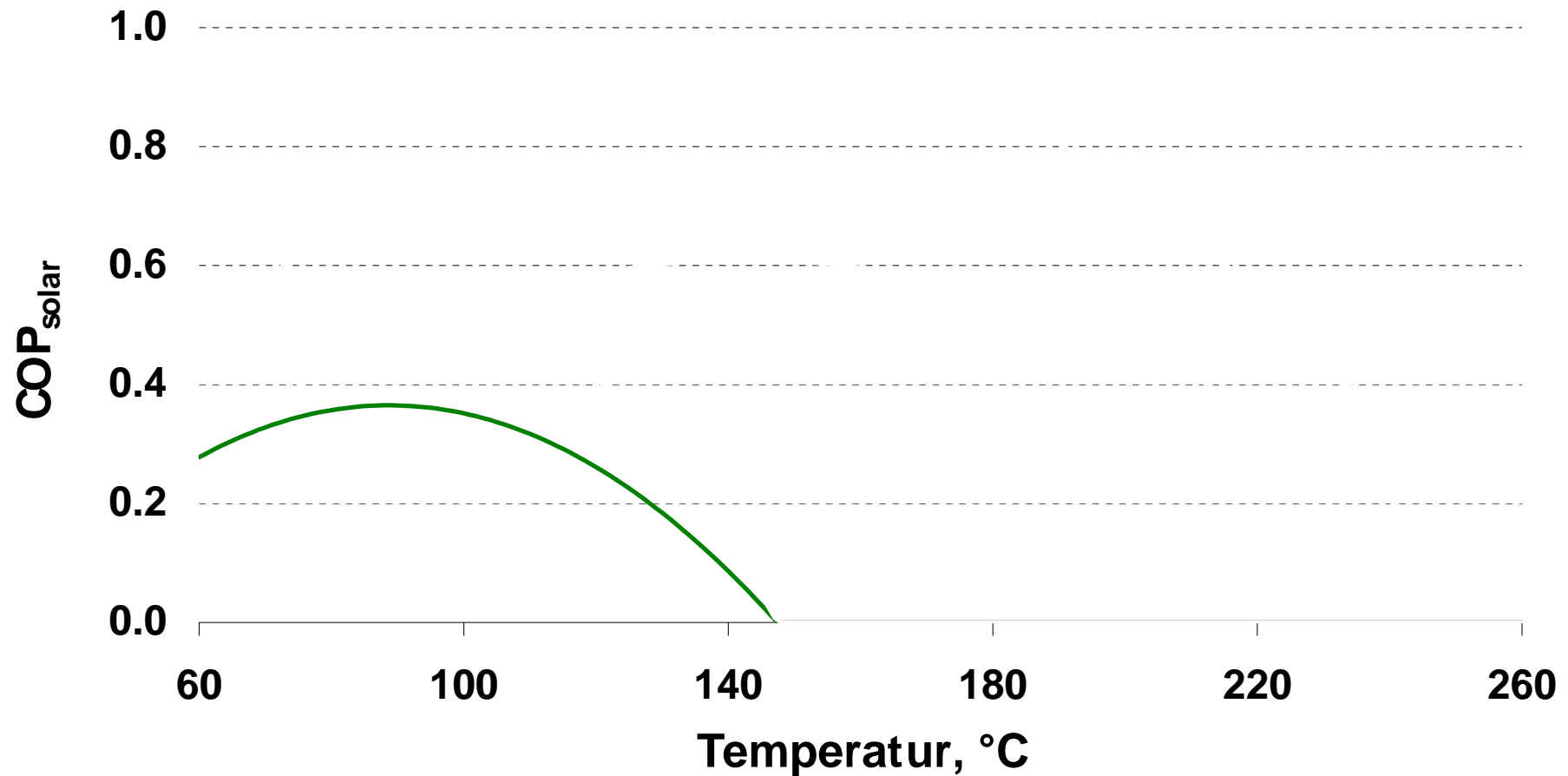
# Effizienz solare Kälte



# Einfluss von Kollektor und Effizienz KM



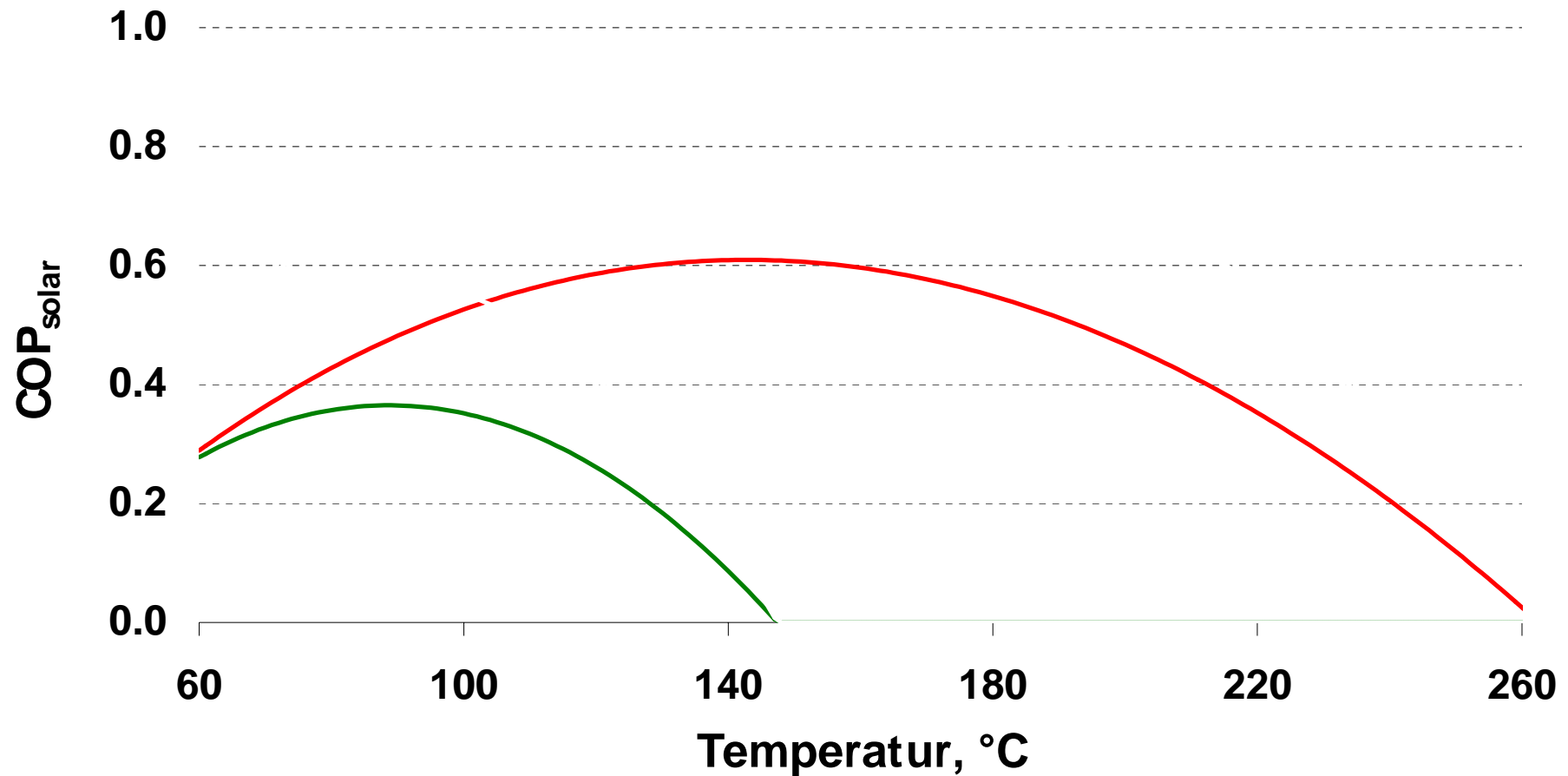
— guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.35



# Einfluss von Kollektor und Effizienz KM



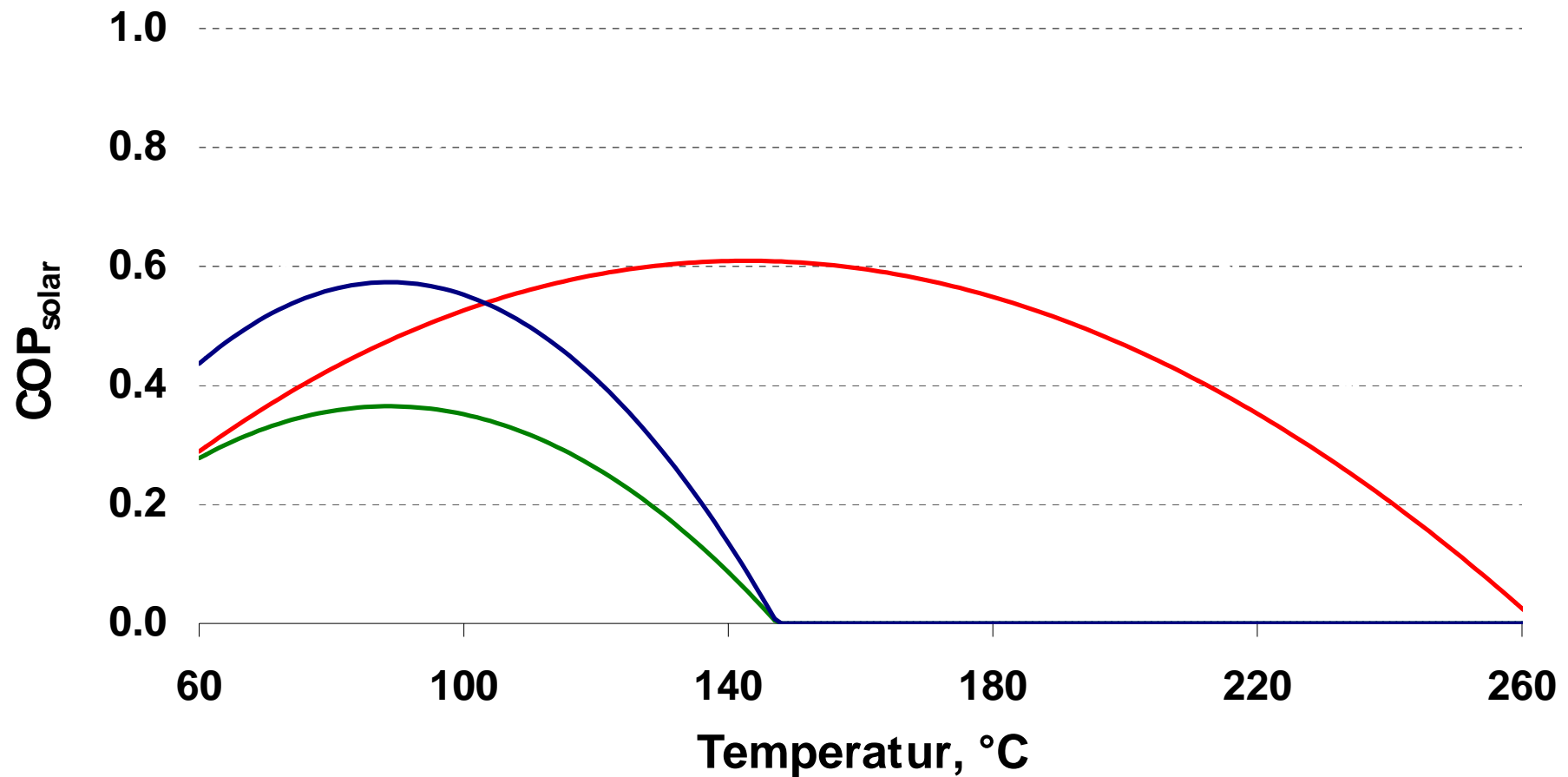
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.35
- hocheffizienter VR-Kollektor, Carnot-Faktor 0.35



# Einfluss von Kollektor und Effizienz KM



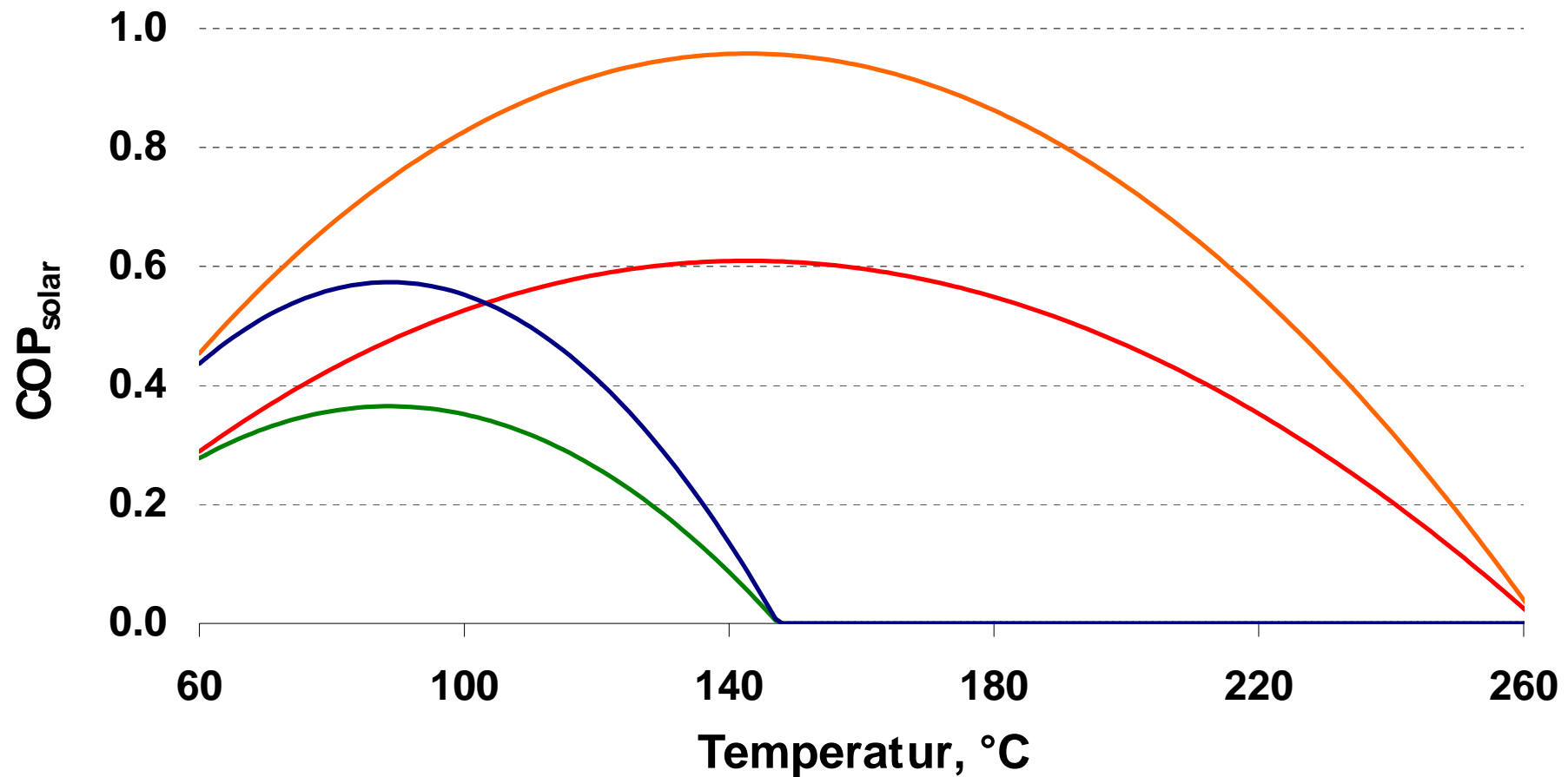
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.35
- hocheffizienter VR-Kollektor, Carnot-Faktor 0.35
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.55



# Einfluss von Kollektor und Effizienz KM



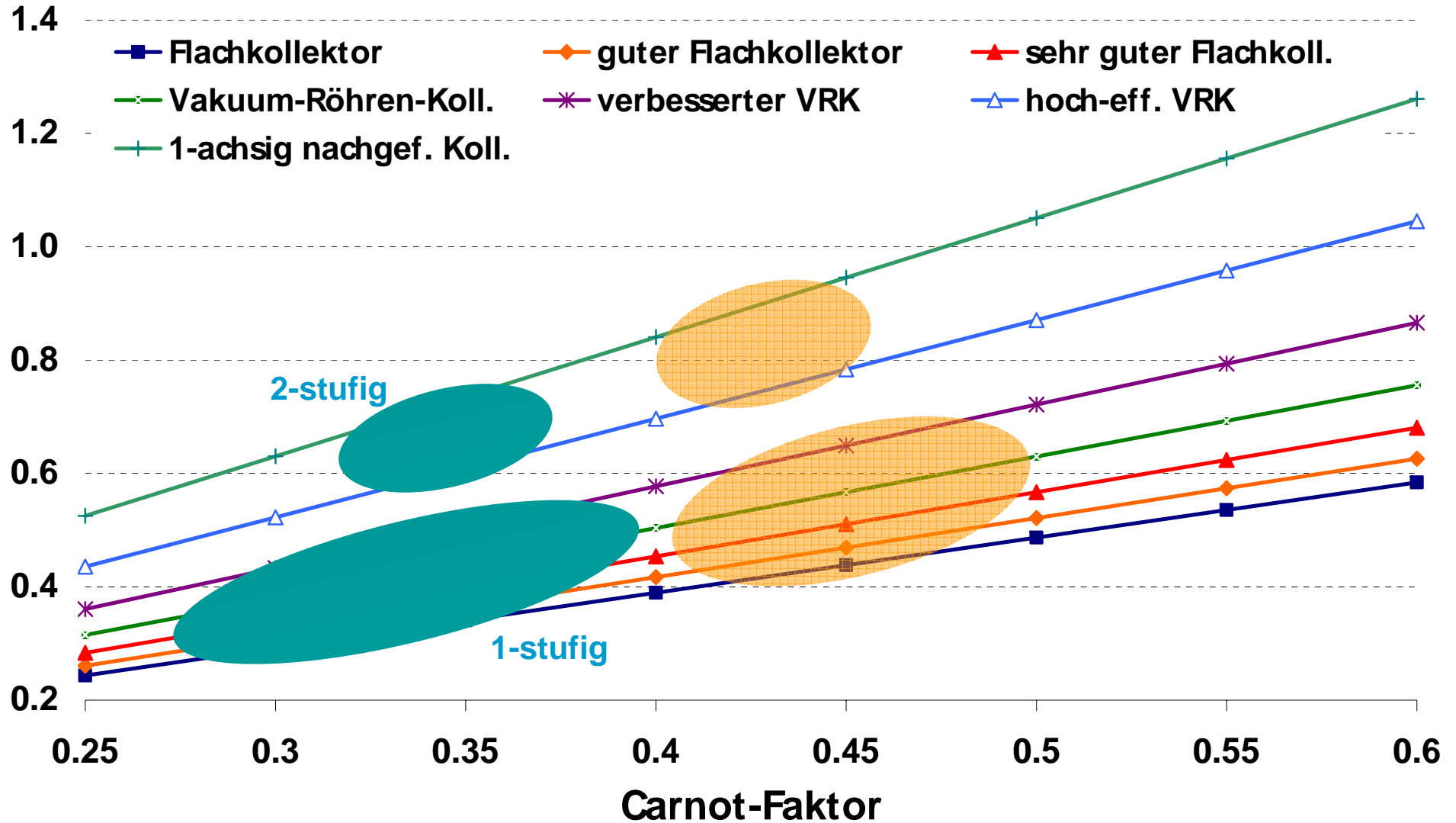
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.35
- hocheffizienter VR-Kollektor, Carnot-Faktor 0.35
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.55
- hocheffizienter VR-Kollektor, Carnot-Faktor 0.55



# Potenzial Effizienz



maximaler  $COP_{solar}$  (für  $G=800 \text{ W/m}^2$ )



- **Leistungsdichte**

- Erhöhung der Leistungsdichte durch
  - Verbundsysteme Sorptionsmittel-Wärmetauscher (insbesondere Adsorption)
  - Fortgeschrittene Fluidikkonzepte (Mikro-Fluidik)
  - Fertigungstechnische Integration (bei hohen Stückzahlen)
- Heute: rund 25 W pro Liter Bruttovolumen am Nennbetriebspunkt im kleinen Leistungsbereich (< 50 kW)
- Zukünftig > 50 W pro Liter

- **Kosten**

- Deutliche Reduktion der Systemkosten durch

- Industrielle Fertigung Kältemaschinen: Reduktion um 75 % bezogen auf heutige Kosten (im Bereich kleiner Leistung)
- Fertigung von Systemen aus einer Hand (Anbieter solares Heizen und Kühlen)
- Kompaktsysteme (Kits) im Bereich kleiner Leistung
- Standardisierte Lösungsansätze für größere Leistung (gewerbliche Anwendung)
- Effiziente Planungshilfsmittel

- **Anwendung und Markt**
  - Erhöhte Marktdurchdringung durch
    - Bekanntheit bei Planern und Installateuren
    - Nutzerfreundliche Planungshilfsmittel
    - Verbesserte Wirtschaftlichkeit durch
      - niedrigere Anfangskosten
      - gesicherte Betriebskosteneinsparung

# F+E-Bedarf – Grundlagen (Auswahl)



Forschungseinrichtungen Maßnahme	Zeitachse			Aufwand	
	Kurz 3..5 a	Mittel 5..10 a	Lang 10..20 a	gering - mittel	mittel - hoch
Neue, hochporöse Sorptionsmaterialien (Adsorption)		X	X		X
Ionische Flüssigkeiten (Absorption)		X			X
Neue Legierungen (Magneto-kalorische Verfahren)			X		X
Verbundmaterialien und neue Strukturmaterialien (Adsorption)		X		X	
Mikrofluidik-Konzepte (verschiedene)		X		X	
Effiziente Kältespeicher (PCM, ...)		X			X
Optimierte Kreisläufe (mehrstufig, interne Wärmerückgewinnung, ...)	X	X			X
Neue Verfahren (thermo-mechanisch, Magneto-Kalorik, ...)		X	X		X
Leistungsfähige Modellierungswerkzeuge (Multi-Skalen-Modelle) (alle Verfahren)		X	X		X

# F+E-Bedarf – angewandte F+E (Auswahl)



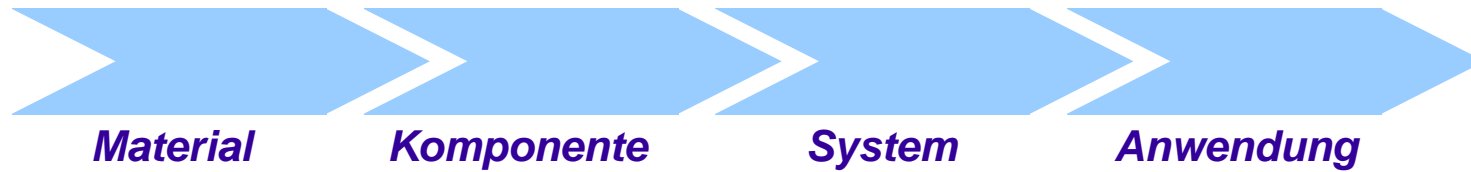
Forschungseinrichtungen, Industrie	Zeitachse			Aufwand	
	Kurz 3..5 a	Mittel 5..10 a	Lang 10..20 a	gering - mittel	mittel - hoch
Entwicklung neuer Maschinen auf Basis der neuen Konzepte (Grundlagen-F+E)		X	X		X
Integrierte Kältemaschinen Sorption-Kompression (Integration Back-up)		X	X		X
Offene Flüssigsorptionssysteme mit thermochemischem Speicher		X		X	
Gekühlte, offene Sorptionsverfahren (effiziente Luftentfeuchtung)		X		X	
Moderne Regelungskonzepte auf Komponenten- und Systemebene (Fuzzy-Logik, selbstlernende Systeme, ...)		X		X	
Optimierte Rückkühlverfahren (geringer/kein Wasserverbrauch, geringer Stromverbrauch)		X			X
Planungstools (Anlagen, Thermodynamische Optimierung, Integration in Kältenetze, ...)	X	X		X	X

- **Nutzerfreundliche Auslegungs- und Planungstools**
- **Entwicklung von Inbetriebnahmefethoden und Richtlinien**
- **Entwicklung von Hydraulikkonzepten, Richtlinien zur Gestaltung und erprobte Betriebs- und Wartungskonzepte für Gesamtsysteme**
- **Umfangreiche Monitoringprogramme verschiedener Systeme unterschiedlicher Konfigurationen, Größen (verschiedene Klimata und Betriebsbedingungen)**
- **Geeignete Fördermodelle (abhängig von PE-Einsparung und CO<sub>2</sub>-Einsparung), Marktanreizprogramm**
- **Entwicklung standardisierter Leistungskriterien für Komponenten und Gesamtsysteme**
- **Entwicklung von Standards für Prüfung und Tests von Komponenten und Systemen**
- **Entwicklung angemessener Schulungsmaterialien für verschiedene Stufen der Ingenieurausbildung**
- **Curricula für Hochschule, Meisterschulen, Technikerschulen**

- **Steigende Bedeutung von Kühlung**
- **Wichtiger Exportmarkt für deutsche Industrie**
- **Hemmnisse heute schwerpunktmäßig**
  - Systemebene
  - Wirtschaftlichkeit
- **Technologische Perspektiven durch**
  - Grundlegende Verbesserungen an heutigen Verfahren
  - Vollständig neue Verfahren
  - Systemintegration und Regelung
  - Transfer in Praxis, Handhabbarkeit für Akteure
- ***Robuste Anlagen zum solaren Heizen und Kühlen***

- ... **Christian Stadler, Fa. Sonnenkraft**
- ... **allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Arbeitsgruppe 4 „Solare Kühlung und Prozesswärme“**
- ... **den Experten, die im Rahmen eines Experten-Hearings Forschungsagenda beigetragen haben**
- ... **dem BMU für die Unterstützung der Arbeiten der DSTTP**
- ... **Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit**

**Backup**



- **Eingrenzung**
- **Stand**
- **Hemmnisse**
- **Potenziale**
- **F+E-Bedarf**
- **Zusammenfassung**