

Technologie-Perspektiven für die solare Kühlung

Hans-Martin Henning

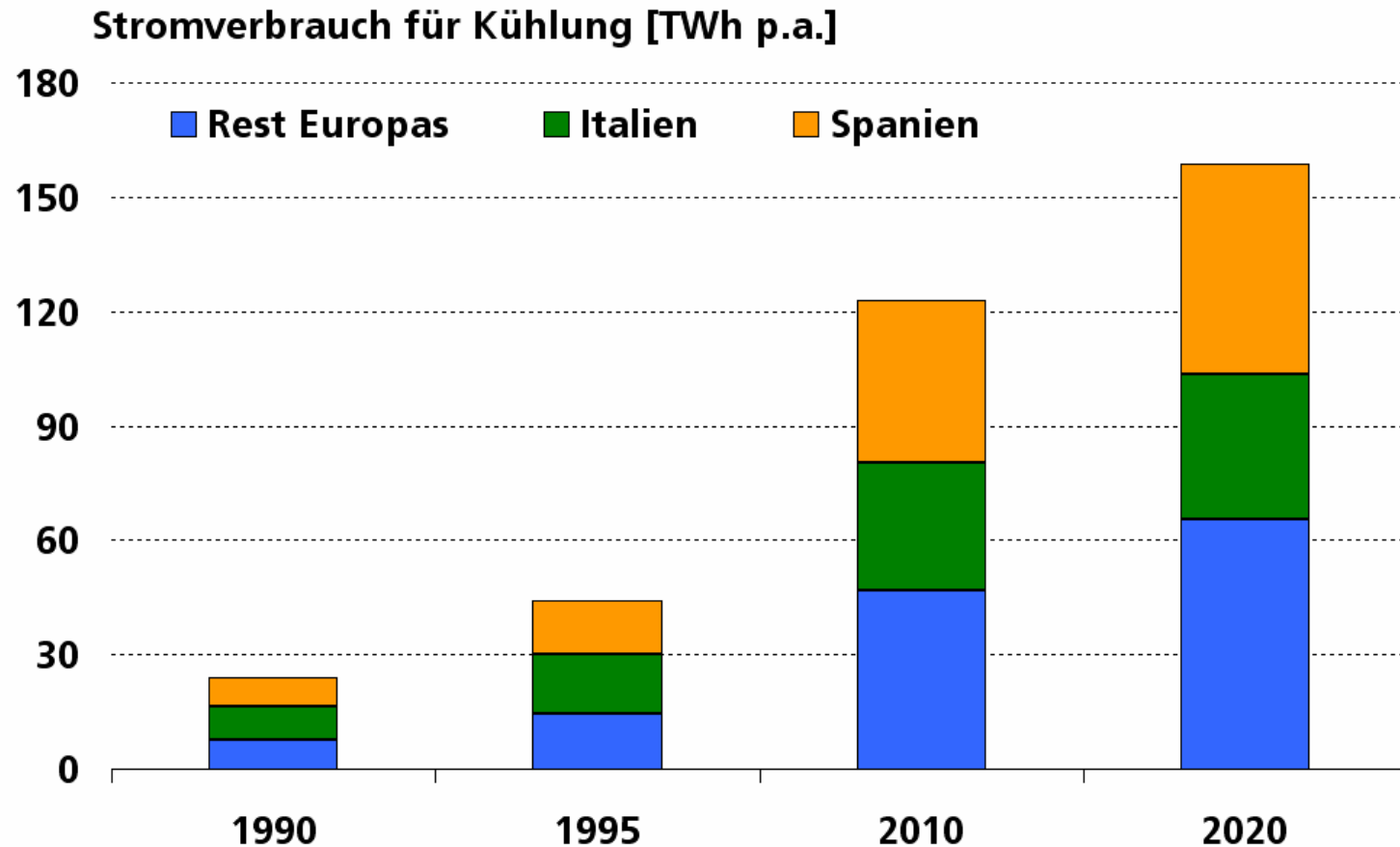
**Abteilungsleiter Thermische Anlagen und
Gebäudetechnik**

**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 geschlossenen, 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

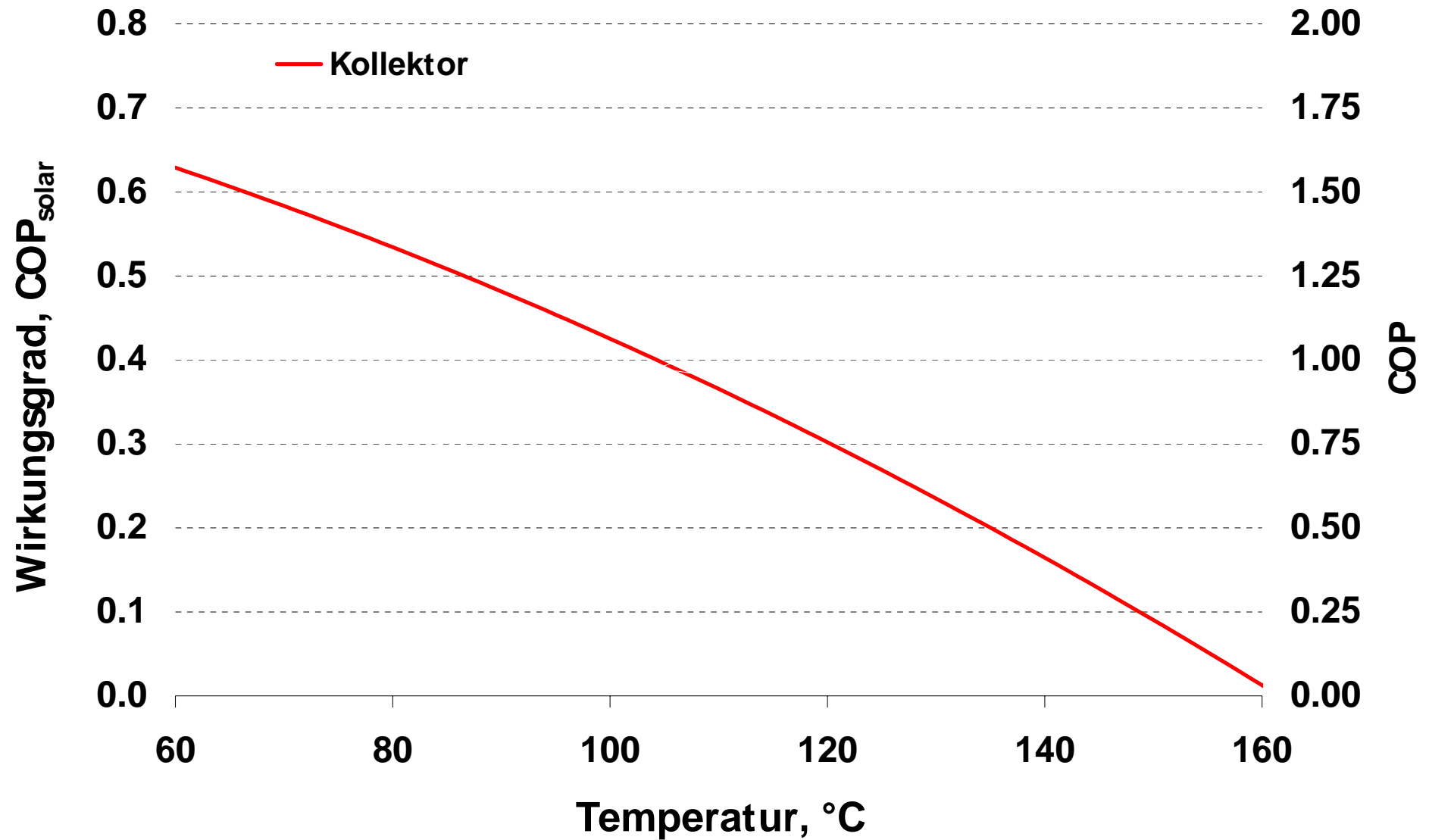
- **Systemtechnik**

- 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, ...

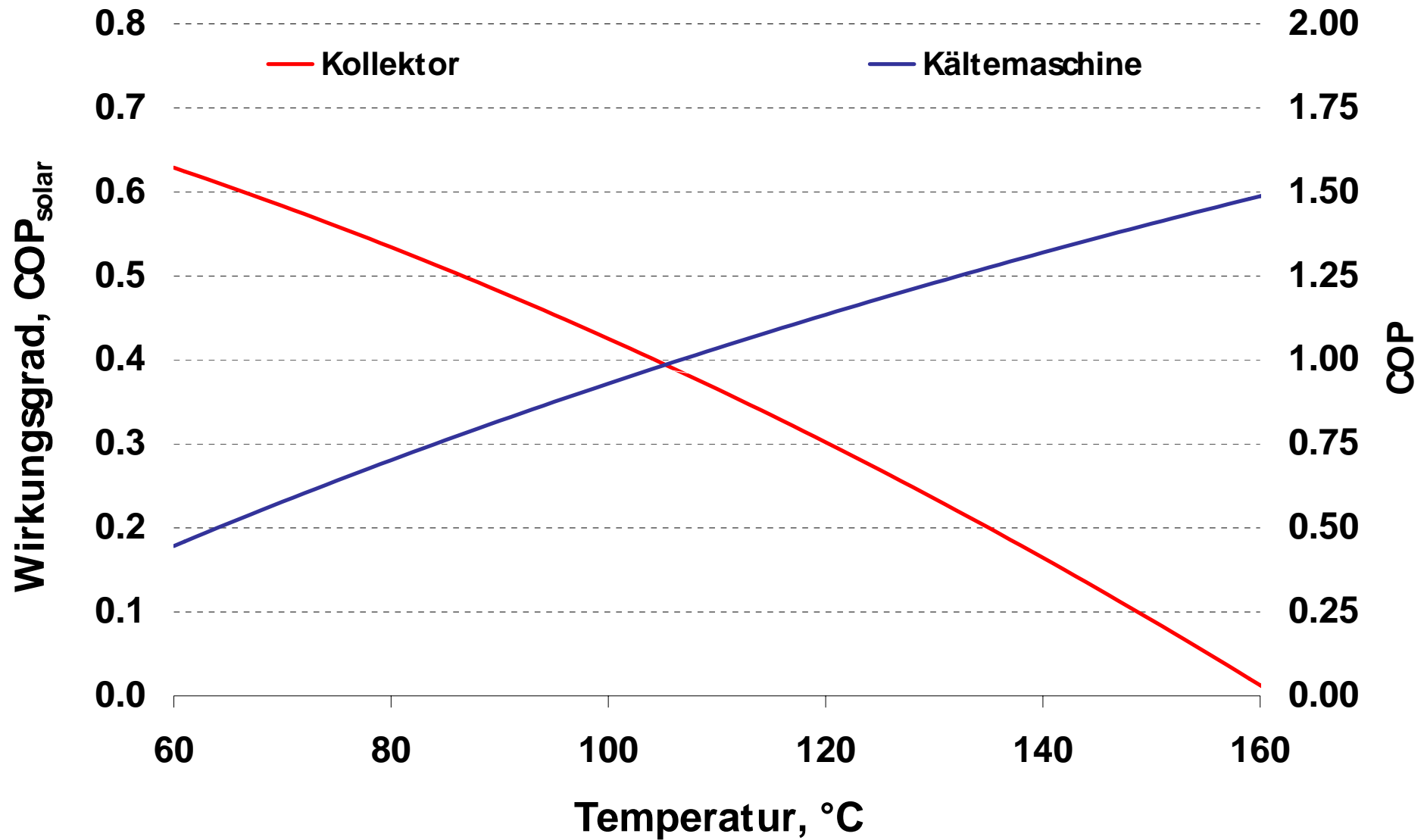
- **Effizienz**

- 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

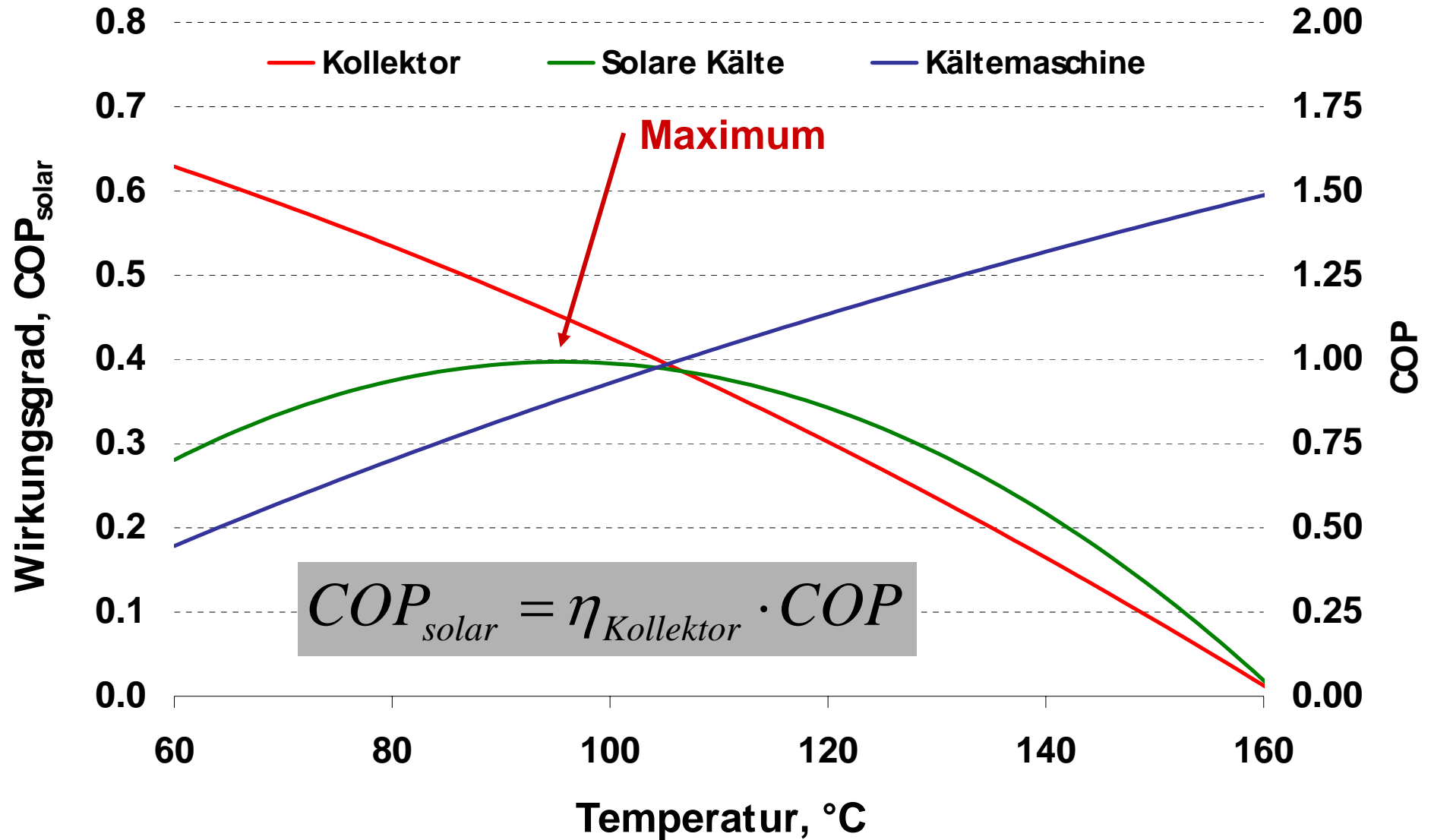
Effizienz solare Kälte



Effizienz solare Kälte



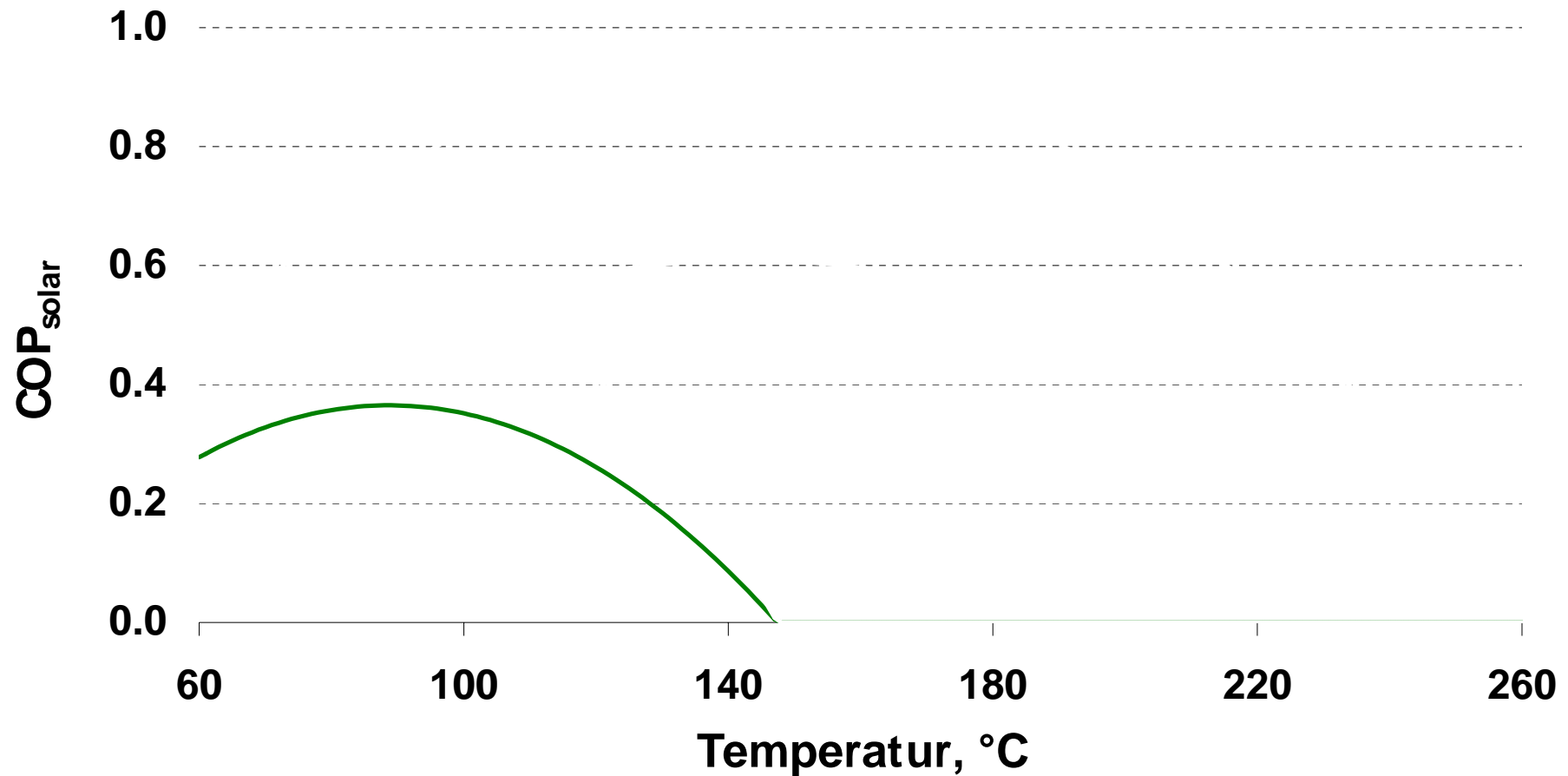
Effizienz solare Kälte



Einfluss von Kollektor und Effizienz KM



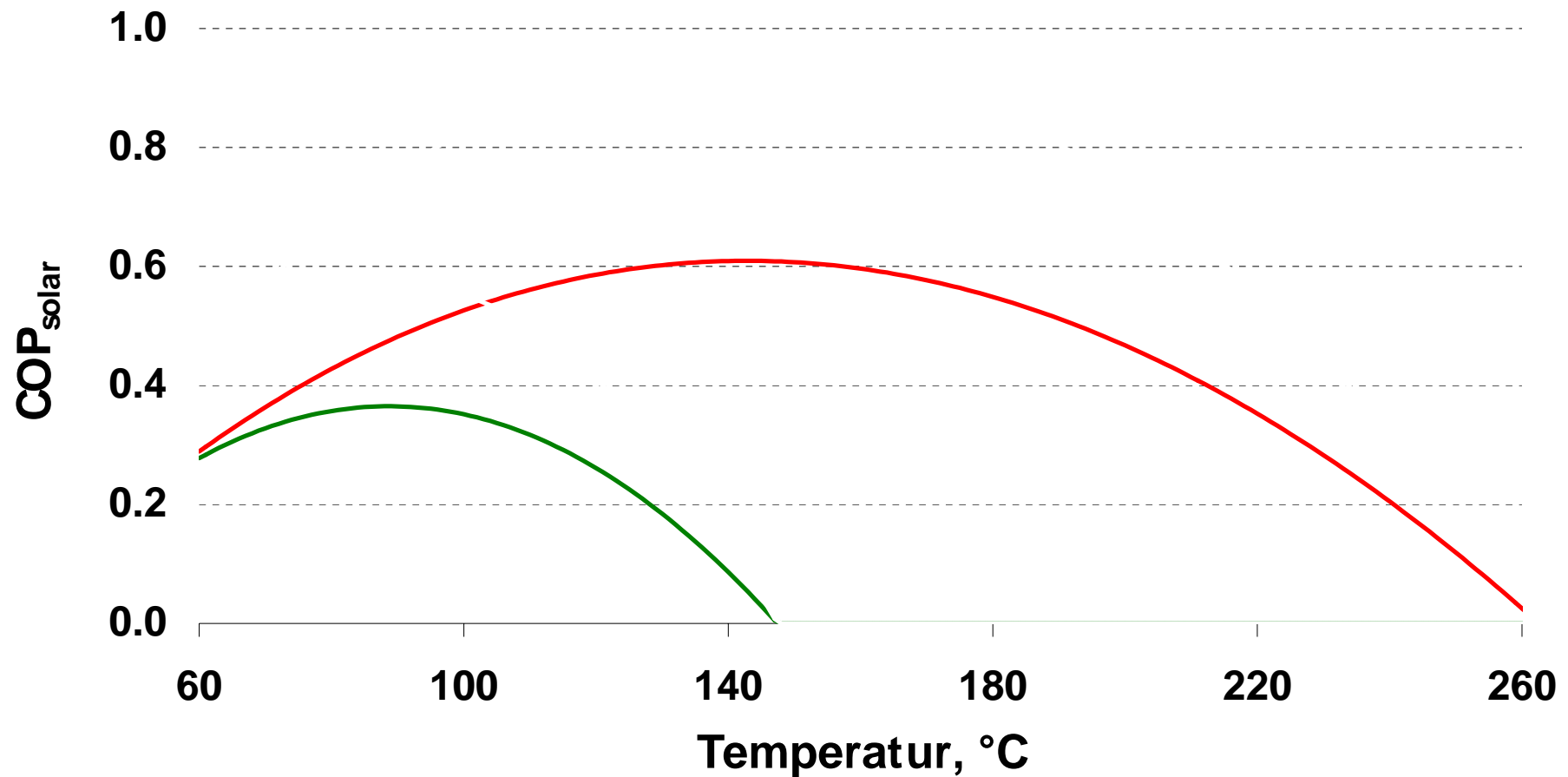
— guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.35



Einfluss von Kollektor und Effizienz KM



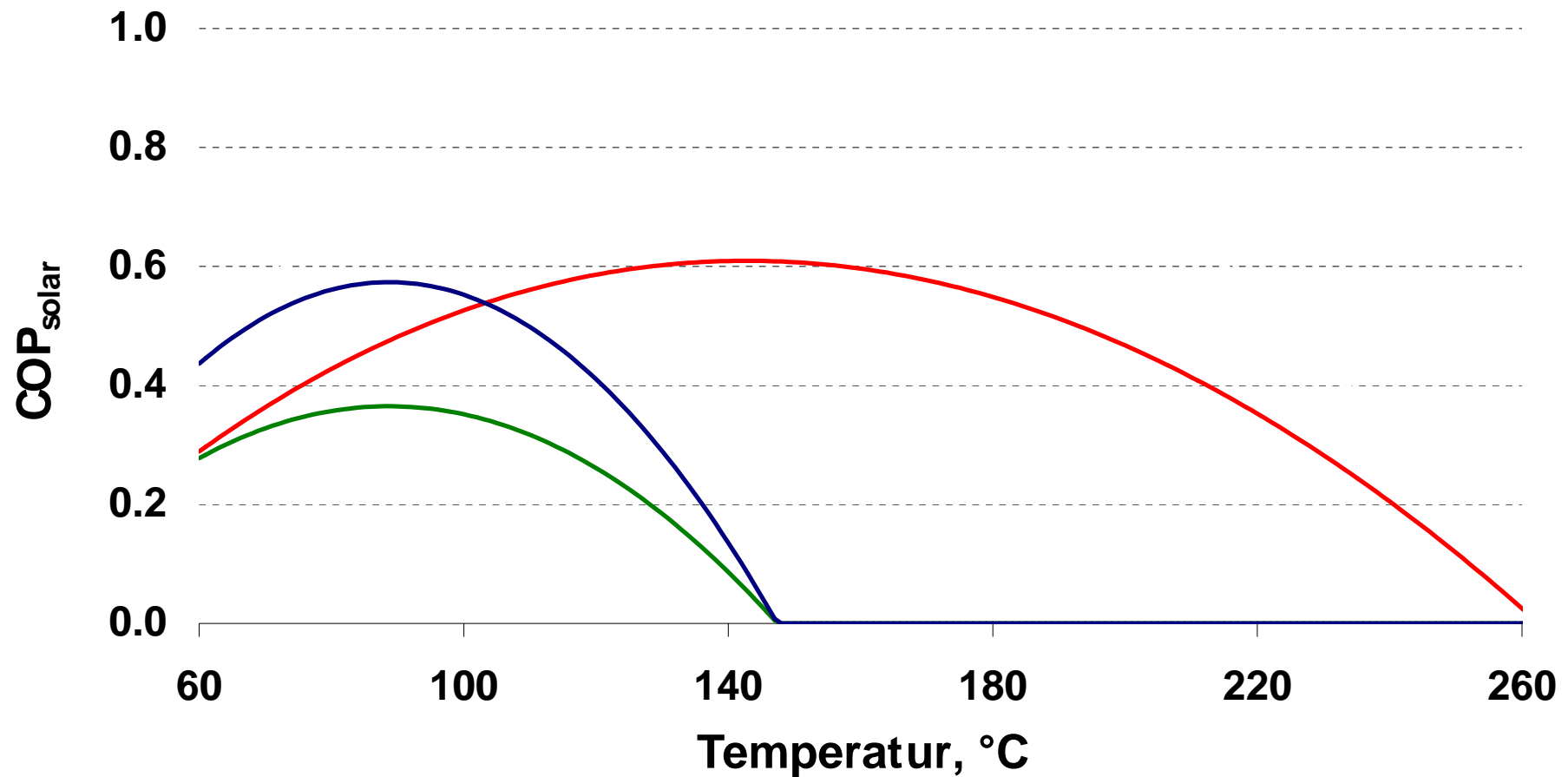
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.35
- hocheffizienter VR-Kollektor, Carnot-Faktor 0.35



Einfluss von Kollektor und Effizienz KM



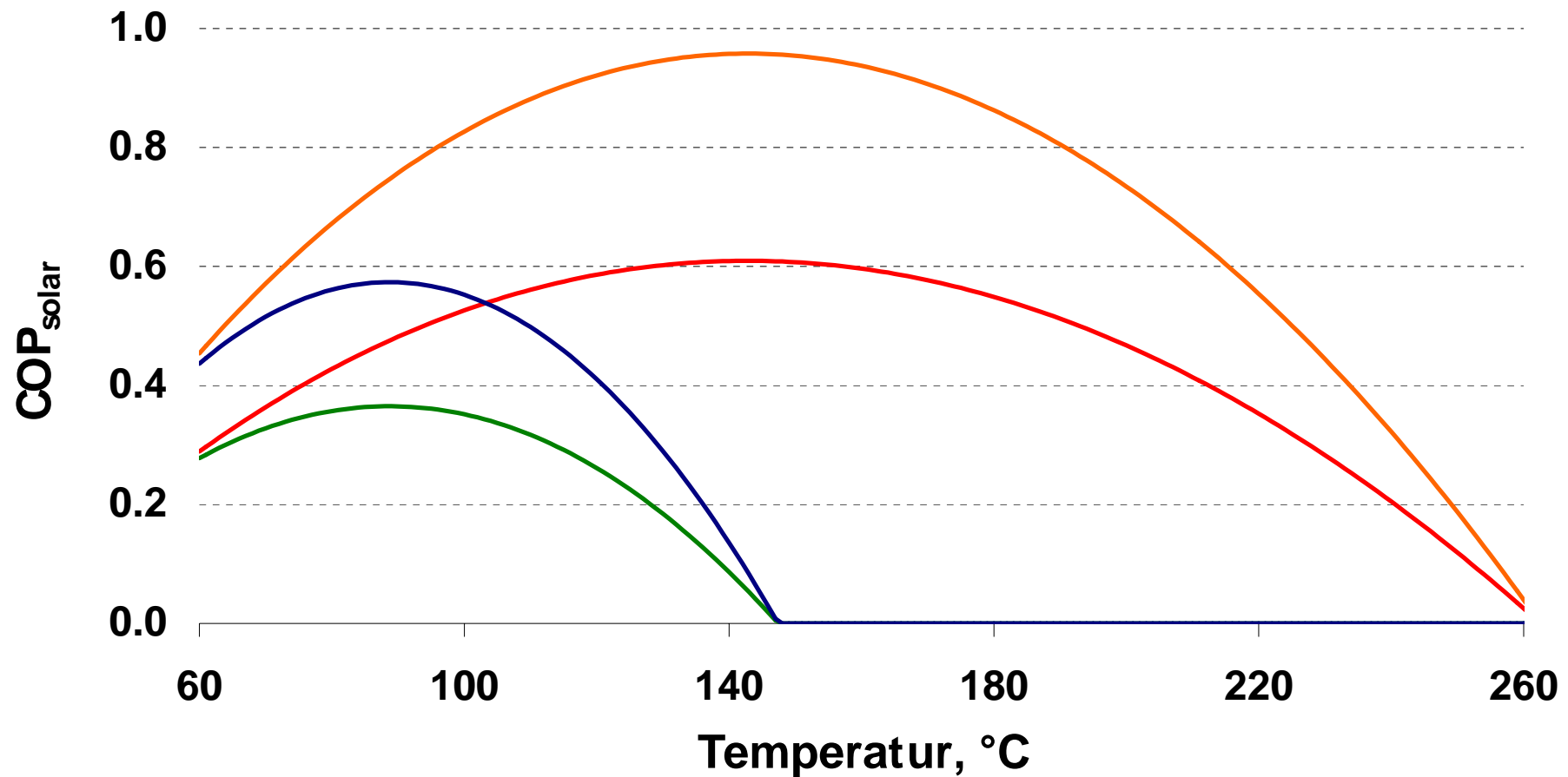
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.35
- hocheffizienter VR-Kollektor, Carnot-Faktor 0.35
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.55



Einfluss von Kollektor und Effizienz KM



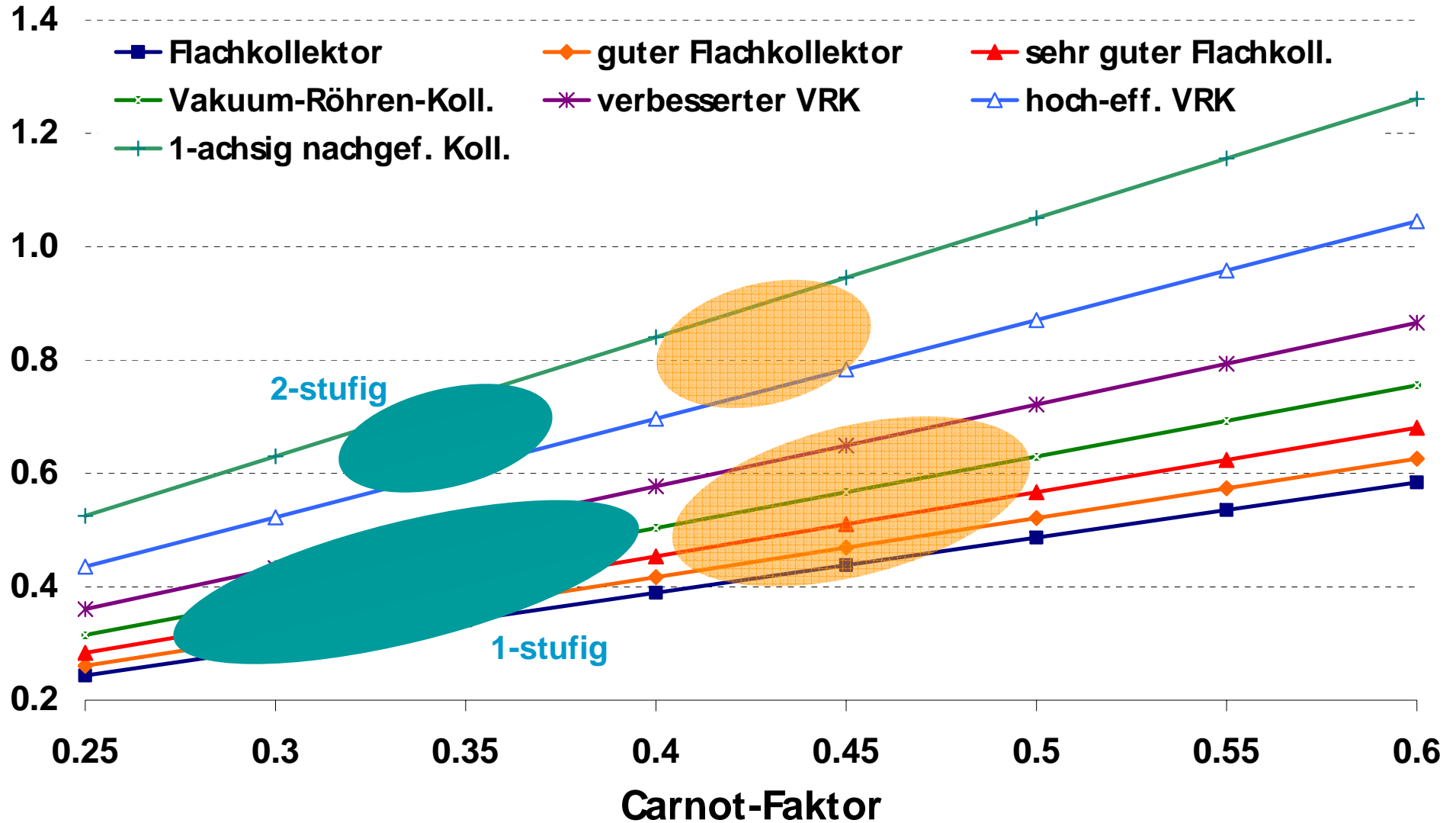
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.35
- hocheffizienter VR-Kollektor, Carnot-Faktor 0.35
- guter Flachkollektor, Carnot-Faktor 0.55
- hocheffizienter VR-Kollektor, Carnot-Faktor 0.55



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)



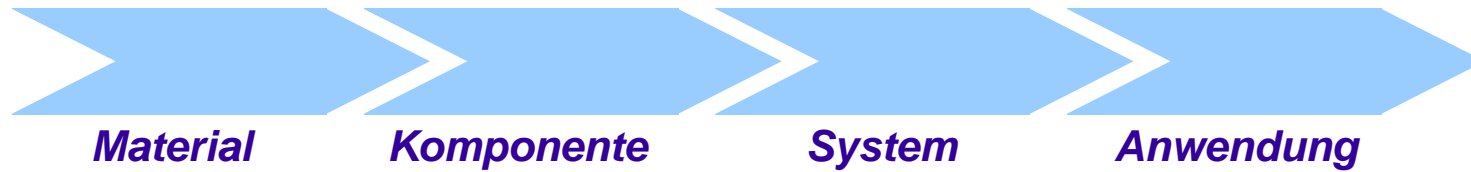
Forschungseinrichtungen, Industrie	Zeitachse			Aufwand	
	Kurz 3..5 a	Mittel 5..10 a	Lang 10..20 a	gering - mittel	mittel - hoch
Entwicklung neuer Maschinen auf Basis der neuen Konzepte (Grundlagen-F+E)		X	X		X
Integrierte Kältemaschinen Sorption-Kompression (Integration Back-up)		X	X		X
Offene Flüssigsorptionssysteme 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 Inbetriebnahmemethoden 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 CO₂-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**