



Aktivitäten zur Solaren Kühlung in Österreich – ein Überblick zu Ergebnissen des dreijährigen Forschungsprojekts „SolarCoolingOpt“

Bettina Nocke

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)
A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19
AUSTRIA

www.aee-intec.at AEE - Institut für Nachhaltige Technologien



Abschlussworkshop **SolarCoolingOpt** Graz, 12.11.2013

Auftraggeber und Projektpartner

Auftraggeber des Projekts:

Klima- und Energiefonds

Im Rahmen des Forschungsprogramms **Neue Energien 2020**

Abgewickelt über die **Österreichische
Forschungsförderungsgesellschaft**

Projektpartner:

AEE - Institut für Nachhaltige Technologien (Projektleitung)

AIT - Austrian Institute of Technology

TU Graz - Institut für Wärmetechnik

ASiC - Austria Solar Innovation Center

Podesser Consulting

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH

TU Wien ICT

Pink Energie- und Speichertechnik GmbH

SOLID GmbH

Enertec Naftz & Partner OG

Feistritzwerke – STEWEAG GmbH

Greiner Renewable Energy GmbH

WILO Pumpen Österreich GmbH

Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften

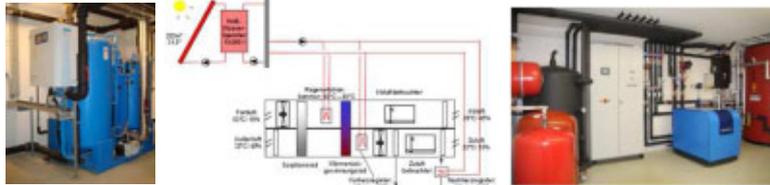
www.aee-intec.at AEE - Institut für Nachhaltige Technologien





Ausgangssituation

Solar Cooling Monitor (2009 – 2012)



„Gut gemeinte“ Anlagen, weniger effizient als geplant

Projektidee:

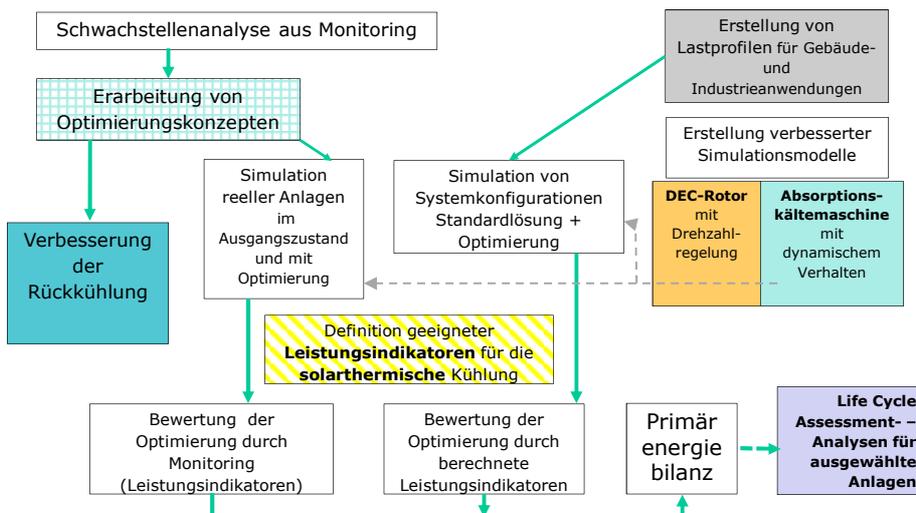
Primärenergetische Optimierung von Anlagen zur solaren Kühlung mit effizienter Anlagentechnik und innovativen Regelstrategien – **SolarCoolingOpt**



Projektzielstellungen und Vorgehensweise

REALISIERTE ANLAGEN

SIMULATION VON ANLAGEN





Simulation als Optimierungswerkzeug?

Eines der Projektziele:

Definition von Anforderungen an Simulationsprogramme und deren Komponentenmodelle, die notwendig sind, um die identifizierten Parameter simulationstechnisch optimieren zu können.

Durch Simulation sind Prognosen von zu erwartendem Betriebsverhalten, Nutzenergie und Energieaufwand möglich.

Veränderungen im System können gezielt geplant und ihre Auswirkungen vorab berechnet werden.



Wo findet Solare Kühlung Anwendung? Welche Szenarien mit Simulation untersuchen?

Lastfiles für

Büro, Hotel, Krankenhaus, Wohnhaus

gemäßigtes Klima **Wien**

mediterranes Klima **Athen**

Heißes Kontinentalklima **Kairo**

subtropisches Klima **Honolulu**

Äußere Lasten (Temperaturen, Feuchte, Sonneneinstrahlung)

Innere Lasten

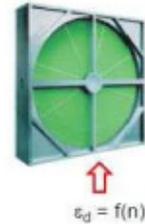
Nutzerprofile, WW-Bedarf

Auch industrielle Anwendungen wurden in Erwägung gezogen und 2 Fallbeispiele untersucht

Neue Komponentenmodelle: DEC-Rotor Silikagel

Drehzahl geregelter Rotor

Bei verfügbaren Simulationsmodellen wird die Abhängigkeit der Entfeuchtungsleistung von der Rotordrehzahl unzureichend abgebildet.



→ **Entwicklung eines neuen Modells** mit dem das Verhalten des Sorptionsrades in Abhängigkeit von der Drehzahl simuliert werden kann

Neue Komponentenmodelle: Absorptionskältemaschine Ammoniak-Wasser (Kälteleistung 19 kW)

Am Prüfstand

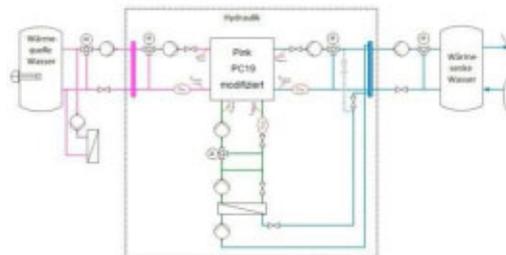
Stationär

- ⇒ t_{hot_in} von 75 bis 95 °C bei $\Delta T_{hot} \leq 10$ K
- ⇒ t_{cool_in} von 24 bis 36 °C bei $\Delta T_{cool} \leq 10$ K
- ⇒ t_{cold_out} von 6 bis 15°C bei $\Delta T_{cold} \leq 6$ K

dynamisch

- ⇒ On/Off Zyklen
- ⇒ Vermessung verschiedener Betriebsparameter (T, v)

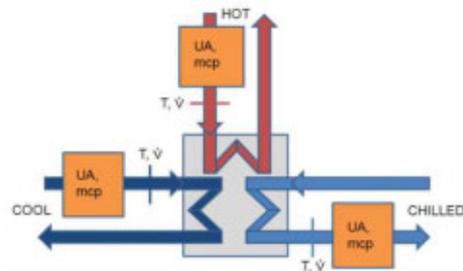
Detaillierte Messung des internen Kreislaufs



Neue Komponentenmodelle: Absorptionskältemaschine Ammoniak-Wasser

Ableitung eines Kennlinienmodells:

- ⇒ Matrix mit ca. 9000 Betriebspunkten (für Temperaturen und Volumenströme)
- ⇒ Mit Berücksichtigung thermischer Massen ist die Abbildung einer dynamischen Leistungsregelung möglich.



Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation

Für folgende Anlagentypen wurden Simulationen durchgeführt, in denen eine „Standard“-Konfiguration mit Varianten unter primärenergetischen Gesichtspunkten verglichen wurde :

- Gebäudekühlung über Lüftungsanlage mit Desiccant-Rotor
- Gebäudekühlung mit Absorptionskältemaschine $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$, 19kW
- Grundlast-Kaltwassererzeugung mit Absorptionskältemaschine $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$, 1470 kW, Standort: Singapur



Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation

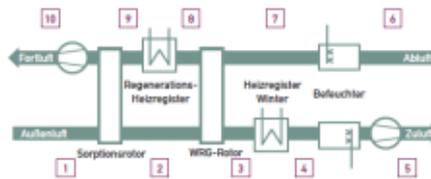
1. Beispiel:

Gebäudekühlung über **Lüftungsanlage** mit **Desiccant-Evaporative-Cooling-Prinzip** (Silikagelrotor)

Nutzungen: Büro und Hotel, verschiedene Standorte

Sehr gutes Primärenergie-Einsparpotential

- Bei moderatem Klima: bei ganzjähriger Nutzung ermöglicht die sorptionsgestützte Lüftungsanlage Kühlung im Sommer UND Feuchterückgewinnung im Heizbetrieb.
- Bei heißem Klima mit nicht zu hoher Luftfeuchtigkeit: Sorptionsanlage ermöglicht Entfeuchtung UND Kühlung im Sommer.



Quelle: AIT



Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation

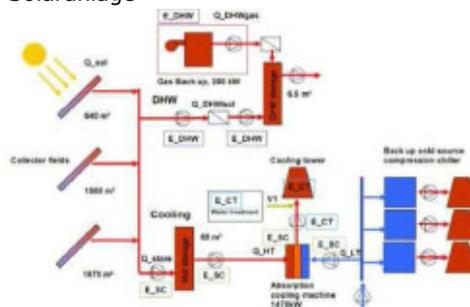
2. Beispiel:

United World Campus Singapur

1,5 MW Absorptionskältemaschine

Folgende Optimierungspotential wurden anhand von Simulationen untersucht:

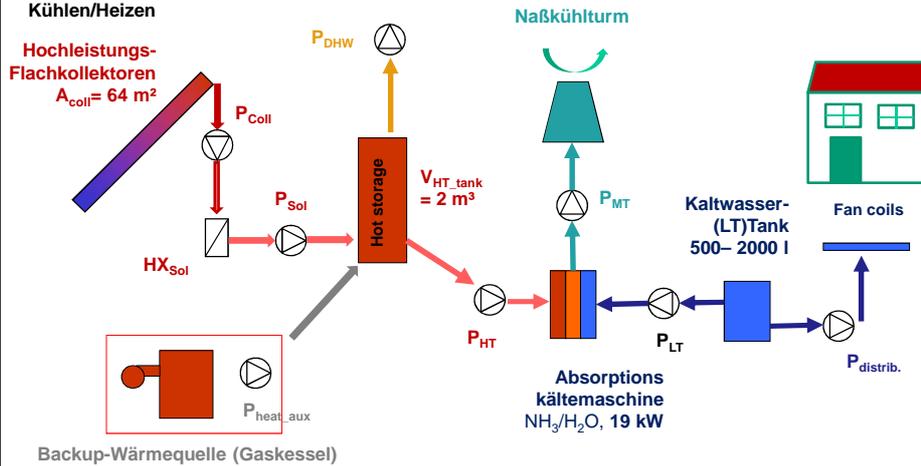
- Längere Ausnutzung der Solarwärme im Tagesverlauf – Herausfinden eines energetischen Optimums der Kollektorfläche und entsprechende Dimensionierung der gesamten Solaranlage
- Leistungsregelung für den Teillastbetrieb (Drehzahlregelung Pumpen im Rückkühlkreis)





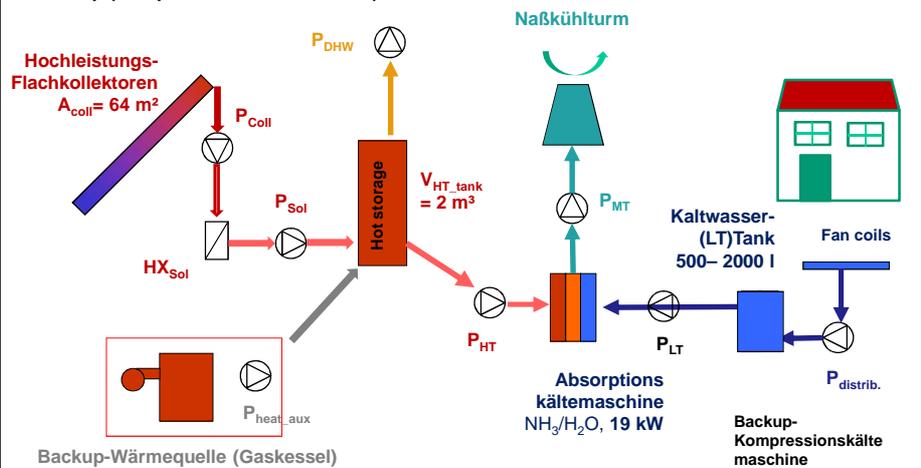
Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation

Basiskonfiguration mit Kaltwasserspeicher (LT-Tank) und thermischem Back-Up für Kühlen/Heizen



Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation

Eine der optimierten Konfigurationen, hier: ohne Kaltwasserspeicher und mit elektrischem Back-Up (Kompressionskältemaschine)





Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation

Ansätze zur Verringerung des Primärenergieeinsatzes für die solarthermische Kühlung

Anpassung des Betriebs an benötigte Kühllast –
Regelungsstrategie für Teillastbetrieb

Einführung eines Faktors, der in Abhängigkeit von der Kaltwasserrücklauf­temperatur die Massen­ströme des Generator- und des Rückkühlkreises, ggf. auch die Ventilator­drehzahl des Kühlturms, regelt:

Part Load Indicator PLI

Wenn Kaltwassersolltemperatur eingehalten: $PLI = 1$

→ **maximale Massen­ströme im Generator- und Rückkühlkreis**

Wenn Kaltwassersolltemperatur unterschritten: $PLI < 1$

→ **Massen­ströme im Generator- und Rückkühlkreis werden reduziert**

Dies simulationstechnisch wirklichkeitsnah nachzubilden, ist erst mit neuem Modell möglich!



Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation

Weitere Konfigurationen im Vergleich:

Thermisches Back-Up (Gaskessel)

Kaltwasserspeicher 500, 1000, 1500 oder 2000 Liter
mit einem Temperatursensor (unten am Speicher)
oder zwei Sensoren (oben und unten),
jeweils mit Hysterese von 3 K:

- OnOff-Betrieb
- PLI-Regelung

Elektrisches Back-Up (Kompressionskältemaschine)

- mit Kaltwasser-Speicher 500 Liter, OnOff-geregelt
- mit Kaltwasser-Speicher 500 Liter, PLI-geregelt
- ohne Kaltwasser-Speicher, PLI-geregelt



Leistungsindikatoren

SPF_{el/th} – Seasonal Performance Factor

bewertet die Effizienz der Anlage inkl. möglicher An- und Abfahrverluste.

In verschiedenen Systemgrenzen möglich

PER Primary Energy Ratio

Primärenergieeinsparung gegenüber einer Referenzanlage mit

- $SPF_{el} = 2,8 \text{ kWh}_c / \text{kWh}_{el}$
 - Primärenergiefaktor für Strom und Gas (Europamix)
- $PER_{ref} = 1,12 \text{ kWh}_c / \text{kWh}_{prim}$



Leistungsindikatoren

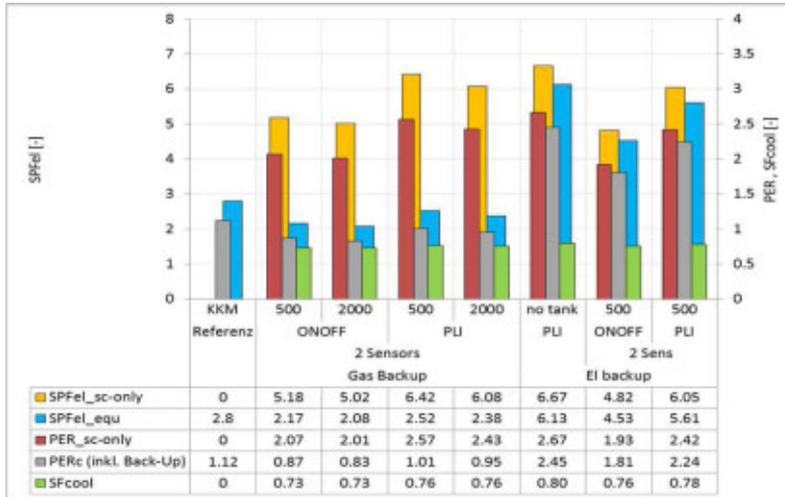
SPF_{el_equ}

stellt jenen SPF dar, den eine konventionelle Kompressionskältemaschine aufweisen müsste, um dieselbe Primärenergieeffizienz wie die solarthermische Kältebereitstellung zu erreichen.



Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation (Auswahl)

Wien, Büro, Kühlung über Fan-Coils (10°C/15°C)

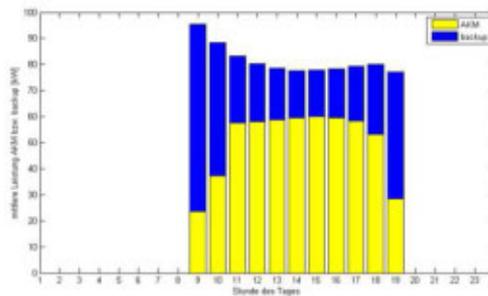


Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation - weitere

Athen, Büro (gleich groß wie in Wien)
Bauteilaktivierung (15°C/18°C)

Wesentlich höhere Ausnutzung der Maschine im Jahresverlauf (beinahe die dreifache Kälteenergie wird in einer Kühlperiode bereitgestellt)

ABER:
 Tagesprofil zeigt, dass hohe Lasten in den Morgen- und Abendstunden den solaren Beitrag senken.



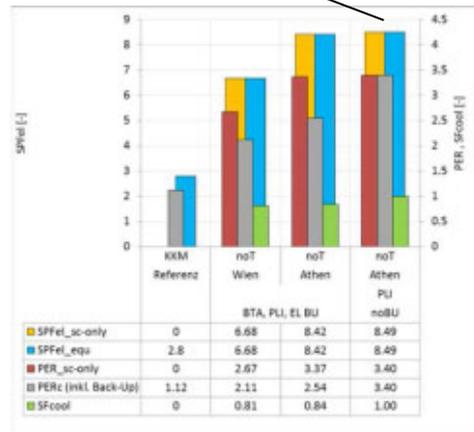
Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation - Optimierungen

Athen, Büro, Bauteilaktivierung (15°C/18°C), Leistungsregelung ohne Kaltwasserspeicher

Zusätzlich: Verzicht auf BackUpChiller

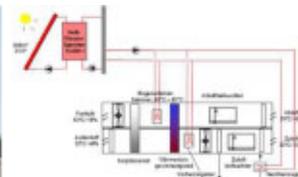
Veränderungsmaßnahmen an der Anlage:

- **Anpassung** der AKM an Kühllast (ca. 35 kW)
- **Verdoppelung** der Kollektorfläche und des Speichers
- die Hälfte der **Kollektoren** nach Südosten, die andere nach Südwesten **ausgerichtet**
- **Kein** Zusatz von **Frostschutzmittel** im Kollektorkreis



Optimierungen der Betriebsweisen bestehender Anlagen

Optimierung der Regelungsstrategie für solargestützte Bürokühlung mit Desiccant-Anlage in Wien (ENERGYbase)
(285m² Kollektorfläche, 2x 8860 m³ Luftvolumenstrom)



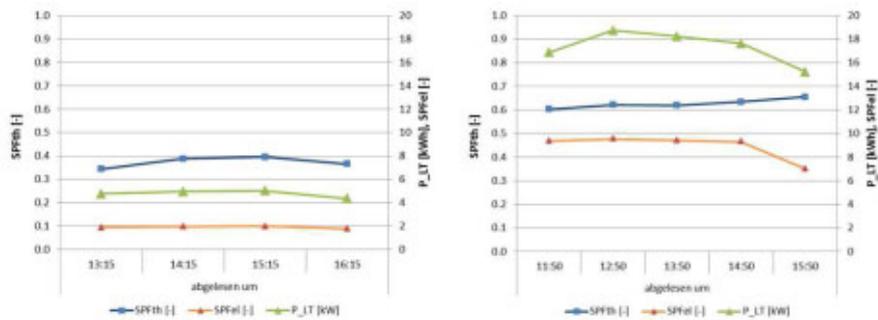
Im Frühjahr 2013 wurde das komplette Regelsystem umprogrammiert, um die Anlage besser auf gewünschte Zuluftkonditionen (Temperatur und Feuchte) einregeln zu können.

Die Anlage läuft störungsfrei, Monitoringdaten werden ausgewertet...

Monitoringergebnisse von optimierten Betriebsweisen

Kälteanlage für Bürokühlung (AEE INTEC, Gleisdorf)

(AbsorptionsKM 19 kW, Fabrikat Pink)



Kühlleistung, thermische und elektrische Arbeitszahl für 19kW-Anlage Büro AEE INTEC, Kühlturm 57 kW, Sommer 2013

Geringe Kühlanforderung, Verschmutzung im Rückkühlkreis, keine Leistungsregelung

Hohe Kühlanforderung, einwandfreier Betrieb, Leistungsregelung im HT- und MT-Kreis

Ergebnisse aus Kühlturmentwicklung

Kälteanlage für Bürokühlung (AEE INTEC; Gleisdorf)

Entwicklung eines **Funktionsmusters** für einen **kostengünstigen** und **effizienten Nasskühlturm**

- Kühlturm ohne Rieselkörper und mit integrierter Wasseraufbereitung, deutliche Stromverbrauchsminderung beim Ventilator und, bei angewandter Leistungsregelung, auch bei der Rückkühlpumpe
- Anschaffungskosten vergleichsweise sehr gering
- Konstruktive Maßnahmen zur Verhinderung des Schmutzeintrags für künftiges verbessertes Modell identifiziert
- Ein zu klein dimensionierter Kühlturm führt zu Verschiebung der Rückkühltemperaturen nach oben, auch wenn die gewünschte Temperaturspreizung erreicht wird.

Lösungsmöglichkeiten:

Vergrößerung des Luftvolumens, strömungstechnische Optimierungen

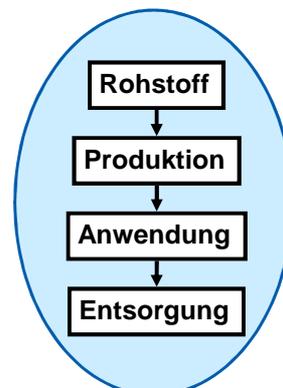
Vergleich von Anlagenkonfigurationen durch Simulation UND durch Monitoring

Einige der wichtigsten Schlußfolgerungen:

- **Kaltwasserspeicher** und zusätzliche Pumpe **vermeiden**, (reduzierte Verluste + Kosteneinsparung) stattdessen **lastgeführte Regelung**
- **Temperaturen im Generatorkreis** nicht höher als nötig, auch um den Rückkühlkreis nicht durch **Überschusswärme** zu belasten
- Bei **Integrierung** der solaren Kühlanlage in **vorhandenes** haustechnisches System, Regelung der Kühlanlage mit vorhandener Regelung **abstimmen**; alle Optionen berücksichtigen, um gegenseitige Fehlbeeinflussung zu vermeiden, auch Ein- und Ausschaltpunkte (Hysteresen)
- Sorgfältige **Positionierung** aller **Temperatursensoren**
- Zumindest minimales **Datenmonitoring**, um Fehlfunktionen schnell zu erkennen und zu korrigieren
- Sorgfältige Planung, Inbetriebnahme und Überwachung des **Kühlturms**

Ökobilanz/Lebenszyklusanalyse

- Lebenszyklusanalyse von thermischen Kühlsystemen im Vergleich zu einem Referenzsystem mit KKM
- Untersuchung von THG-Reduktionspotential und Primärenergieaufwand für Errichtungs-, Betriebs- und Entsorgungsphase
- Ergebnisse im Endbericht verfügbar



Ergebnisse des Forschungsprojekts

- Neue Modelle für AKM und Sorptionsrad mit dynamischem Betriebsverhalten, die in der Lage sind, regelungstechnisch relevante Eigenschaften der Komponenten nachzubilden, stehen zur Verfügung.
- Ein Funktionsmuster für einen effizienten und kostengünstigen Rückkühlturm wurde erfolgreich entwickelt und getestet.
- Standortbezogener Systemvergleich von DEC-Anlagen in Büros zeigt potentielle Primärenergieeinsparung von 35% in Athen, jedoch durch Feuchterückgewinnung im Winter in Wien bis zu 45% .
- Standortbezogener Systemvergleich von AKM Anlagen unter 20 kW zeigt ca. 30% höhere Energieeffizienz in Athen ($SPF_{el_SC} = 8,5$) im Vergleich zu Wien ($SPF_{el_SC} = 6,5$).

Ergebnisse des Forschungsprojekts

- Das Optimierungspotential einer AKM unter 20 kW wurde durch dynamische Regelung und Einsparung von Kaltwasserspeicher in einer Höhe von 40% (SPF_{el_SC} von 4,8 auf 6,7) errechnet.
- Das Optimierungspotential einer AKM mit 1,5 MW wurde durch Anpassung der Kollektorfläche, Speichervolumen und dynamische Regelung von Pumpen und Ventilator in einer Höhe von 60% (SPF_{el_SC} von 7 auf 11) errechnet.
- Anlagenoptimierungen von meßtechnisch begleiteten AKM unter 20 kW ergaben Primärenergieeinsparungen von 60% (=> Ziel-Potential: 75%)

Weiterer Forschungsbedarf

- Bessere Ausschöpfung der dynamischen Leistungsregelung
- SPFel > 10 sollten immer erreicht werden
- Die Reduzierung des Primärenergiebedarfs für thermische Kühlung ist im Zusammenhang mit der Gebäuderegulung weiter zu verbessern;
- Optimierung der Systemkonfigurationen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit
- Verbesserung der Zuverlässigkeit der Rückkühltechnik einschließlich Wasseraufbereitung für offene Kühltürme
- Erweiterung der Betrachtungen von solarthermischen auf solarelektrische Systeme bzw. Kombinationen aus beiden

DANKE FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT!



Bettina Nocke
AEE INTEC
Feldgasse 19
A - 8200 Gleisdorf
b.nocke@aee.at