

IEA Solares Heizen und Kühlen Task 53: Neue Generation der solaren Kühl- und Heizsysteme

T. Selke, M. Rennhofer,
D. Neyer, A. Thür, R. Köll

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

3/2020

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

IEA Solares Heizen und Kühlen Task 53: Neue Generation der solaren Kühl- und Heizsysteme

DI Tim Selke, Dr. Marcus Rennhofer
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Dr. Daniel Neyer, Alexander Thür, PhD
Universität Innsbruck
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
AB Energieeffizientes Bauen

M.Sc. Rebekka Köll
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Wien, September 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	9
2	Abstract.....	11
3	Ausgangslage.....	13
4	Projekthalt	16
5	Ergebnisse	19
	5.1. Referenzsysteme.....	19
	5.2. Simplifizierte Visualisierung der SAC Systemtypologien	26
	5.3. T53E4-Tool Entwicklung.....	31
	5.4. Monitoring Prozedere.....	37
	5.5. Analyse und Bewertung von Systemen der neuen Generation	40
6	Vernetzung und Ergebnistransfer.....	47
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	49
	Anhang.....	59
	Ausgewählte Publikationen.....	59

1 Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Der Studie 'The Future of Cooling' [OECD/IEA 2018] zu Folge wächst der Energiebedarf zur Raumklimatisierung rascher als jeder andere Endenergiebedarf im Gebäudesektor. Im Zeitraum von 1990 bis 2016 hat sich der globale weltweite Energieverbrauch auf über 2000 TWh verdreifacht. Wird nicht entsprechend gegengesteuert, soll sich der Energiebedarf für Klimatisierung bis 2050 weiter verdreifachen. Man geht davon aus, dass die drei Länder Indien, Indonesien und China bis 2050 etwa die Hälfte des gesamten weltweiten Zuwachses von Klimaanlage (ACs) verantworten. Schätzungsweise werden bis 2050 über 2 Milliarden ACs in China und Indien installiert.

Solare Klimatisierung (SAC) stellt eine wirksame technische Alternative dar, um sowohl den Raumkomfort für die Menschen zu verbessern als auch den Ressourcenverbrauch sowie die CO₂-Emissionen durch den Einsatz erneuerbarer Energie wirksam zu reduzieren.

Inhalte und Zielsetzungen

Der SHC Task 53 ist als wertvolle Weiterentwicklung der vorangegangenen Arbeitsgruppen der SHC Task 38 (Solar Air-Conditioning and Refrigeration) [task38] und SHC Task 48 (Quality Assurance & Support Measures for Solar Cooling Systems) [task48] gestaltet. Die internationale Arbeitsgruppe beforschte erstmalig sowohl solarthermisch als auch solarelektrisch angetriebene Kühl- bzw. Klimatisierungsverfahren im kleineren Leistungsbereich (kleiner 100 kW thermisch).

Ergebnis der Kooperationsgemeinschaft SHC Tasks 53 sind eine Reihe von Unterlagen, Leitfäden und Werkzeugen, die Marktakteure unterstützen, um qualitativ hochwertige, langlebige und zuverlässige solare Kühl- und Heizsysteme umzusetzen.

Methodische Vorgehensweise

In Kooperation mit insgesamt 22 Organisationen (Forschungsinstitute, Universitäten und Unternehmen) aus zehn Ländern wurden im IEA SHC Task 53 zahlreiche Themen behandelt und in Ergebnisberichten veröffentlicht. Die österreichischen Teilnehmer haben maßgeblich Koordinations- und Leitungsaufgaben übernommen und konnten die Inhalte mitgestalten. Basierend auf den Erkenntnissen und Erfahrungen aus nationalen und internationalen Projekten zum Thema ‚Solares Kühlen und Heizen‘ und ‚Photovoltaik‘ brachten die österreichischen Partner ihre jeweilige Expertise ein. Einerseits wurden relevante Informationen und Ergebnisse aufbereitet und zur Verfügung gestellt und andererseits wurden Methoden zur standardisierten Langzeitbeobachtung, zur Bewertung und Analyse des energetischen, ökologischen und wirtschaftlichen Betriebsverhaltens auf Basis von Mess- und Simulationsdaten entwickelt und angewendet.

Die österreichischen Teilnehmer des IEA SHC Task 53 arbeiteten an der aktiven Verbreitung der wesentlichen Erkenntnisse in Österreich. Dazu wurde unter anderem ein nationaler Workshop im Oktober 2018 in Graz durchgeführt.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Zahlreiche Ergebnisberichte und Dokumente sind auf der offiziellen Website der SHC Task53 (<http://task53.iea-shc.org/>) veröffentlicht. Signifikante österreichische Beiträge sind in den folgenden Ergebnisberichten zu finden:

- D_A.1 Englischsprachiger Bericht "Definition of the existing cooling reference systems"
- D_A.2 Englischsprachiger Bericht "State of the art of new generation commercially available products"
- D_A.4 Englischsprachiger Bericht "Report on a new and universal classification method "new generation solar cooling square view" for generic systems"
- D_B.2 Englischsprachiger Bericht „Netzfreundliche SHC-Systeme“
- D_C.2 Englischsprachiger Bericht "Adapted Monitoring Procedure of New Generation Solar Heating & Cooling Systems"
- D_C.3 Englischsprachiger Bericht „T53E4 Tool – To Assess a System's Technical and Economic Potential"
- D_C.4 Englischsprachiger Bericht „Monitoring data analysis on technical issues & on performances"
- "Position Paper - Solar Heating and Cooling & Solar Air-Conditioning" [PosPaper 2018]

Durch die Anwendung der Unterstützungsmaßnahmen und Werkzeuge kann es gelingen, die Verbreitung der Technologie des solaren Kühlens und Heizens - mit über den Lebenszyklus der Anlagen stark reduziertem fossilem Primärenergieaufwand - deutlich zu forcieren.

Derzeit arbeitet eine kleine Gruppe an einem Konzeptpapier für die thematische Ausrichtung einer neuen SHC Task mit dem Arbeitstitel „Solar Cooling for the Sunbelt Regions“. Hier sollen bewährte SHC-Systeme für die Länder im Sonnengürtel der Erde adaptiert werden, um leistbar, sicher und zuverlässig zu klimatisieren. Österreichische Teilnehmer bringen sich in diesen Definitionsprozess ein.

Aufgrund der finanziellen Unterstützung durch das BMVIT konnte Österreich im Forschungs- und Entwicklungsbereich zur Systemtechnologie ‚Solares Kühlen und Heizen‘ die entwickelte Expertise weiter ausbauen und die Mitarbeiter der nationalen Forschungseinrichtungen sind angesehene und willkommene Partner auf internationaler und europäischer Ebene.

2 Abstract

Initial Situation/Motivation

According to the study 'The Future of Cooling' [OECD/IEA 2018], the energy demand for air-conditioning (AC) is growing faster than any other final energy demand in the building sector. Between 1990 and 2016, global energy consumption tripled to over 2000 terawatt hours. If no appropriate measures are taken, the energy requirement for air-conditioning is expected to triple further by 2050. It is assumed that by 2050 the three countries India, Indonesia and China will account for about half of the total worldwide increase in air-conditioning systems (ACs). It is estimated that over 2 billion ACs will be installed in China and India by 2050.

Solar Air-Conditioning (SAC) is an effective technical solution for improving people's comfort and reducing resource consumption and CO₂ emissions by applying renewable energy resources.

Contents and objectives

SHC Task 53 is designed as a valuable continuation of the previous working groups of SHC Task 38 (Solar Air-Conditioning and Refrigeration) and SHC Task 48 (Quality Assurance & Support Measures for Solar Cooling Systems). For the first time, the international working group researched both solar-thermal and solar-electrically driven cooling and air-conditioning processes in the capacity range less than 100 kW thermal.

The result of the SHC Tasks 53 cooperation is a series of documents, guidelines and tools that support market players in implementing high-quality, durable and reliable solar cooling and heating (SHC) systems.

Methodical approach

In cooperation with a total of 22 organisations (research institutes, universities and companies) from ten countries, the SHC Task 53 dealt with numerous topics and published reports. The Austrian participants have coordinated and managed tasks/ activities and thus they were able to help shape the content. Based on the findings and experiences from national and international projects on 'Solar Cooling and Heating' and 'Photovoltaics', the Austrian partners contributed their respective expertise. On the one hand relevant information and results were prepared and provided and on the other hand methods for standardised long-term monitoring, the evaluation approach and analysis of the energetic, ecological and economic SHC system performance were developed for measurement and simulation data.

The Austrian participants of the IEA SHC Task 53 worked on the active dissemination of the main findings in Austria. Among other things, a national workshop was held in Graz in October 2018.

Results and conclusions

Numerous deliverables and documents are published on the official website of SHC Task53 (<http://task53.iea-shc.org/>). Significant Austrian contributions can be found in the following results reports:

- D_A.1 Englischsprachiger Bericht "Definition of the existing cooling reference systems"
- D_A.2 Englischsprachiger Bericht "State of the art of new generation commercially available products"
- D_A.4 Englischsprachiger Bericht "Report on a new and universal classification method "new generation solar cooling square view" for generic systems"
- D_B.2 Englischsprachiger Bericht „Netzfrendliche SHC-Systeme"
- D_C.2 Englischsprachiger Bericht "Adapted Monitoring Procedure of New Generation Solar Heating & Cooling Systems"
- D_C.3 Englischsprachiger Bericht „T53E4 Tool – To Assess a System's Technical and Economic Potential"
- D_C.4 Englischsprachiger Bericht „Monitoring data analysis on technical issues & on performances"
- "Position Paper - Solar Heating and Cooling & Solar Air-Conditioning" [PosPaper 2018]

By applying the developed support measures and tools, it may be possible to significantly accelerate the rollout of solar cooling and heating technology - with significantly reduced fossil primary energy consumption over the life cycle of the SHC systems.

A small expert group is currently working on a concept paper for shaping a new SHC Task with the working title "Solar Cooling for the Sunbelt Regions". Here, proven SHC systems are to be adapted for the countries in the Earth's sun belt to provide affordable, safe and reliable air-conditioning. Austrian participants are involved in this definition phase of the new SHC Task.

Due to the financial support of the BMVIT, Austria was able to further expand its expertise in the field of research and development of the system technology 'Solar Cooling and Heating' and the researchers of the national institutions are respected and welcome partners on an international and European level.

3 Ausgangslage

Weltweiter Anstieg des Energiebedarfs zur Gebäudeklimatisierung bzw. -kühlung

Der Studie 'The Future of Cooling - Opportunities for energy-efficient air-conditioning' der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung und der Internationalen Energieagentur [OECD/IEA 2018] zu Folge wächst der Energiebedarf zur Raumklimatisierung weltweit rascher als alle anderen Endenergien im Gebäude. Im Zeitraum von 1990 bis 2016 hat sich der globale Energiebedarf verdreifacht. Die Raumkühlung - typischerweise mittels einer elektrisch betriebenen Klimaanlage (AC) - trägt zunehmend zum globalen Energiebedarf bei. Der weltweite Absatz von Klimaanlagen wächst stetig und signifikant: Seit 1990 hat sich der Jahresabsatz von ACs auf 135 Millionen Einheiten mehr als verdreifacht. Inzwischen sind rund 1,6 Milliarden Geräte in Gebrauch, mehr als die Hälfte davon in nur zwei Ländern - der Volksrepublik China und den Vereinigten Staaten von Amerika. Diese ACs unterscheiden sich enorm hinsichtlich ihrer Energieeffizienz, ihr Betrieb verbraucht jedes Jahr über 2 000 Terawattstunden (TWh) Strom, was zweieinhalb Mal so viel ist wie der gesamte Stromverbrauch Afrikas. Es besteht kein Zweifel daran, dass die globale Nachfrage nach Raumkühlung und der dafür benötigten Energie in den nächsten Jahrzehnten weiter steigen wird.

Österreich und Gebäudekühlung

Die Zusammenfassung für Entscheidungstragende des Österreichischen Sachstandsberichtes Klimawandel 2014 [APCC 2014] enthält nachfolgende Aussagen: „In Österreich ist die Temperatur in der Periode seit 1880 um nahezu 2 °C gestiegen, verglichen mit einer globalen Erhöhung um 0,85 °C. Der erhöhte Anstieg ist speziell auch für die Zeit ab 1980 beobachtbar, in der dem globalen Anstieg von etwa 0,5 °C eine Temperaturzunahme von etwa 1 °C in Österreich gegenübersteht. Temperaturextreme haben sich markant verändert, so sind z. B. kalte Nächte seltener, heiße Tage aber häufiger geworden. Im 21. Jahrhundert wird sich diese Entwicklung verstärkt fortsetzen und damit wird auch die Häufigkeit von Hitzewellen zunehmen.“

Das aktuelle Programm "Smart Cities Demo – Living Urban Innovation" des Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung adressiert bereits Umsetzungsprojekte zur urbanen Kühlung. Dazu sollen Lösungen von innovativen Kühltechnologien im Gebäudebestand und zur Kühlung durch Wasser im öffentlichen Raum durch Experimentierräume in der realen Stadt erprobt werden.

Durch die wachsende Nachfrage nach höherem sommerlichen Raumkomfort ist in österreichischen Städten bereits ein Trend in der gebauten Umgebung zu erkennen. Beispielsweise wird in Wien durch den zunehmenden Dachgeschossausbau neuer Wohnraum durch Nachverdichtung geschaffen. Diese Wohnräume der oberen Geschosse werden bereits mit Klimageräten ausgestattet oder sind nachrüstbar gestaltet. Die Gebäudetechnik wird für private Einfamilienhäuser durch Nutzung aktiver Kühltechnologien zur Verbesserung der Sommertauglichkeit adaptiert. Es werden bereits erdreichgekoppelte Wärmepumpen in Kombination mit einer Bauteiltemperierung verbaut und während der heißen Sommerwochen in der Stadt kann die reversible Wärmepumpe als Kältemaschine in Betrieb genommen werden oder die Raumwärme wird direkt über Erdsonden ins Erdreich abgeführt.

Mission Innovation (MI) Innovation Challenges | IC7: Affordable Heating and Cooling of Buildings

Anlässlich der UN-Klimakonferenz 2015 in Paris wurde die Mission Innovation (MI) als globale Forschungsinitiative gegründet. Österreich wurde während des dritten Mission Innovationsministertreffens in Malmö im Mai 2018 Mitglied des Mission Innovation Networking. Ziel ist es, den Klimawandel in Zusammenarbeit mit privaten Investoren zu bekämpfen und die Entwicklung sauberer Energietechnologien voranzutreiben. Österreich hat eine Klima- und Energiestrategie vorgelegt [M2030].

Einer der wesentlichen Herausforderungen zur Innovation (Innovation Challenges) widmet sich dem leistbaren Heizen und Kühlen von Gebäuden. Es wurde die Problemstellung leistbares Heizen und Kühlen in die Liste der zukünftigen Herausforderungen aufgenommen, da bis 2050 ein Anstieg des Gebäudekühlbedarfs um 300 Prozent in Schwellen- und Entwicklungsländern erwartet wird. Die steigenden globalen Temperaturen werden die vermehrte Nutzung von Klima- und Kühlgeräten forcieren und zu ihrem globalen Wachstum beitragen.

Um diesem globalen Trend der Zunahme der Treibhausgasemissionen aufgrund wachsender Implementierung von Raum- bzw. Gebäudekühlgeräten wirksam entgegenzutreten, stellt das Verfahren der ‚Solaren Klimatisieren bzw. Kühlen‘ eine technische Lösungsoption dar. In diesem technischen Konzept nutzt man die Solarenergie, die mit hohem Anteil für die auftretenden Kühllasten im Gebäude verantwortlich ist, zum Antrieb des jeweiligen Kälteverfahrens. Das zeitliche Auftreten von Kühlenergiebedarf und verfügbarer Sonnenenergie korreliert stark und insofern kann ohne großen technischen Aufwand für die Energiespeicherung direkt solar klimatisiert bzw. gekühlt werden.

Die Technologie „Solares Klimatisieren und Kühlen“

Die solare Kühlung ist eine vielversprechende Technologie, die wirtschaftliche Gebäudekühlung bzw. -klimatisierung ermöglicht. Durch die technische Systemkombination von solaren Energiesystemen und elektrisch bzw. thermischen angetriebenen Klimatisierungs- und Kälteverfahren, ist der Betrieb der Anlagen mit niedrigen CO₂-Emissionen verbunden. Diese technische Lösungsoption weist im Vergleich zu anderen aktiven Kühltechnologien eine Reihe von attraktiven Eigenschaften auf. Beispielsweise tragen solarunterstützte Kühlsysteme dazu bei, den Stress im elektrischen Netz, der durch die hohen Spitzenlasten der massenhaft eingeschalteten Klimageräte entsteht, zu reduzieren.

Unter dem Begriff „solares Klimatisieren und Kühlen“ werden im Wesentlichen zwei Technologiekombinationen verstanden:

- 1) Eine Photovoltaikanlage liefert solaren Strom, um eine Wärmepumpe oder ein Klimagerät mit elektrischer Energie in Betrieb zu setzen.
- 2) Solarthermische Kollektoren liefern die Wärme, um eine thermische Sorptionskältemaschine anzutreiben, die konditionierte Luft oder Kaltwasser erzeugt.

Beide Systemlösungen können auch ganzjährig Warmwasser bereitstellen oder Raumwärme erzeugen. Die jeweilig erforderlichen Systemkomponenten sind marktreif. Verschiedene Publikationen der IEA Solar Heating and Cooling Program (IEA SHC) Arbeitsgruppen geben einen guten Überblick über den Stand der Technik und Märkte [Henning 2013], [Status 2015].

In den letzten zwei Dekaden wurden mehr als 1.500 solargetriebene Kühltssysteme in Betrieb genommen, die überwiegende solarthermische Kollektoren einsetzen und thermische Kältemaschinen nutzen, um Luft zu konditionieren oder Kaltwasser zu erzeugen [Status 2015].

Das Interesse an diesen Systemlösungen wird zunehmen, da die Kosten für die Erzeugung und Verteilung von Strom in Spitzenzeiten hoch bleiben wird und es weltweit zu großen Steigerungen des Klimatisierungs- und Kühlenergiebedarfs kommen wird. Die Attraktivität von solaren Kühltssystemen wird weiter steigen.

Zielsetzung der IEA SHC Task 53

Der SHC Task 53 ist als wertvolle Weiterentwicklung der früheren Arbeitsgruppen der SHC Task 38 (Solar Air-Conditioning and Refrigeration) [task38] und SHC Task 48 (Quality Assurance & Support Measures for Solar Cooling Systems) [task48] gestaltet. Der Themenschwerpunkt der SHC Task 53 adressiert neuartige Kühl- und Heizsysteme mit solarthermischem und/oder solarelektrischem Antrieb im kleinen Leistungsbereich (kleiner als 100 kW thermisch). Durch die internationale Zusammenarbeit entstand eine Sammlung von geeigneten Unterlagen, Leitfäden und Instrumenten, die insbesondere die Markteinführung stimulieren soll. Marktakteure werden unterstützt, um qualitativ hochwertige, langlebige, zuverlässige und energieeffiziente Anlagen zu realisieren.

Um die Zielsetzung zu erreichen, haben sich Aktivitäten auf fünf Bereiche konzentriert:

- Untersuchung neuartiger solarelektrisch und/ oder solarthermisch angetriebener Kühl- und Heizsysteme mit Fokus auf Zuverlässigkeit, Anpassungsfähigkeit und Qualität.
- Nachweis der Wirtschaftlichkeit der solaren Kühl- und Heizsysteme der neuen Generation
- Lebenszyklusanalyse (LZA) unter energetischen und ökologischen Gesichtspunkten
- Aktive Unterstützung zur verbesserten Markteinführung neuartige solarer Kühl- und Heizsysteme für Gebäude weltweit
- Erhöhung der Energieversorgungssicherheit und Aufzeigen positiver Effekte durch Demand Side Management Strategien

4 Projektinhalt

Darstellung des gesamten IEA-SHC Tasks

Eines der ersten Implementing Agreements im Rahmen der IEA war das 1977 ins Leben gerufene "Solar Heating and Cooling Programme" (SHC). Seitdem wurden eine Vielzahl von Forschungsprojekten zur aktiven und passiven Solarenergienutzung, Tageslichtnutzung und die Anwendung dieser Technologien in Gebäuden und anderswo (z.B. Landwirtschaft und Industrie) durchgeführt.

Das SHC Executive Committee hat sich folgende Ziele gesetzt:

- Die Leistungsfähigkeit von Technologien und Konzepten zum solaren Heizen und Kühlen zu verbessern.
- Informationen zu Technologien, Konzepten und Anwendungen zum solaren Heizen und Kühlen zur Verfügung zu stellen.
- Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit über den Stand der Technik und Nutzen von solarem Kühlen und Heizen zu informieren.
- Industrie und Regierungen dabei zu unterstützen, den Marktanteil von Technologien und Konzepten zum solaren Heizen und Kühlen zu erhöhen.

Internationale Zusammenarbeit und österreichische Beiträge

Offiziell und regelmäßig nahmen insgesamt 22 Organisationen (Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Universitäten) aus neun Ländern aktiv am SHC Task 53 teil. Experten und Vertreter folgender Länder waren beteiligt: Australien, China, Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich, Schweden, Schweiz und Spanien. Der Task wurde von Herrn Mugnier der Firma Tecsol aus Frankreich geleitet. Die Aktivitäten wurden in vier verschiedenen Subtasks durchgeführt und unterschiedliche Ländervertreter haben diese geleitet.

- Subtask A (Leitung Österreich: Tim Selke, AIT)
- Subtask B (Leitung Italien: Roberto Fedrizzi, EURAC Research)
- Subtask C (Leitung Schweden: Richard Thygesen, Mälardalen University)
- Subtask D (Leitung Frankreich; Daniel Mugnier, TEC SOL)

Im Subtask A wurden nachfolgende Themen bearbeitet:

- Definition und umfassende Beschreibung der Referenzsysteme
- Überblick zu SAC-Anlagen der neuen Generation
- Dokumentation und Untersuchungen zu Speicher- (elektrisch und thermisch) und Regelungskonzepten
- Technisch und ökologischer Vergleich und Lebenszyklusanalysen von referenz- und von neuartigen SAC-Anlagen

Die Themenschwerpunkte im Subtask B waren:

- Netzfrendlichkeit der SAC-Anlagen
- Festlegungen der Randbedingungen für Modellierung und Simulationen

- Identifikation und Überprüfung von theoretischen Modelle und Durchführung von transienten Systemsimulationen
- Untersuchungen zur Regelungsstrategien und Optimierungsmaßnahmen von solar elektrischen und solarthermischen Systemvarianten
- Umfassende Systemvergleich hinsichtlich Kosten, Betriebsverhalten und Zuverlässigkeit

Die Arbeiten im Subtask C konzentrierten sich auf Untersuchungen zu nachfolgenden Themen:

- Definition und Festlegung von Prozeduren zur messtechnischen Langzeitbeobachtung des Betriebsverhalten für solarthermische und solarelektrische Systeme
- Auswahl von NG SHC-Systemen
- Intensive Datenanalyse der Messwerte und Darstellung des energetischen, ökologischen und ökonomischen Betriebsverhalten von Anlagen der neuen Generation

Der Subtask D widmete sich der Verbreitung und der Unterstützung der Marktdurchdringung. Es wurde eine offizielle SHC Task53 Website aufgesetzt und ein regelmäßiger Newsletter berichtete über die Highlights der Arbeiten und Veranstaltungen der SHC Task53. Abschließend wurde ein Positionspapier verfasst, welches über die offizielle Website abrufbar ist.

Der SHC Task 53 wurde offiziell im März 2014 gestartet und endete im Juni 2018. Nachfolgende österreichische Forschungspartner waren an der Durchführung des SHC Task 53 beteiligt:

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH / Center for Energy (AIT)
- Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE Institut für Nachhaltige Technologien (AEE Intec)
- Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften (UIBK)

Die aktive Teilnahme Österreichs am IEA SHC Task 53 war durch die Leistungen der drei Forschungseinrichtungen deutlich sichtbar. Die österreichischen Forschungspartner leiteten einerseits den Subtask A und andererseits koordinieren sie sieben Aktivitäten und unterstützen die Koordination der Subtask C maßgeblich. Nachfolgend werden diese Leitungs- und Koordinationsaufgaben spezifiziert:

- Leitung der Subtask A, Tim Selke (AIT)
- Koordination der Aktivität „A1 Reference Systems“, Tim Selke (AIT)
- Koordination der Aktivität „A4 System Integration“, Tim Selke (AIT)
- Koordination der Aktivität „B2 Grid Impact“, Tim Selke (AIT)
- Koordination der Aktivität „B5 System Intercomparison“ (UIBK)
- Unterstützung/Übernahme der Leitung von Subtask C, (UIBK)
- Koordination der Aktivität „C1 Monitoring procedure ..“, (AEE Intec)
- Koordination der Aktivität „C3 Monitoring data analysis ... (AEE Intec, UIBK)
- Koordination der Aktivität „C4 Road mapping and lobbying actions“ (UIBK)

Maßgebliche Beiträge durch die österreichischen Forschungspartner sind in den nachfolgenden Publikationen auf der offiziellen SHC Task 53 Website¹ einzusehen und abrufbar.

- D1.1 Englischsprachiger Bericht "Definition of the existing cooling reference systems"

¹ <http://task53.iea-shc.org/publications>

- D1.2 Englischsprachiger Bericht "State of the art of new generation commercially available products"
- D1.4 Englischsprachiger Bericht "Report on a new and universal classification method "new generation solar cooling square view" for generic systems"
- D2.1 Englischsprachiger Bericht „Netzfrendliche SHC-Systeme"
- D3.2 Englischsprachiger Bericht "Adapted Monitoring Procedure of New Generation Solar Heating & Cooling Systems"
- D3.3 Englischsprachiger Bericht „T53E4 Tool – To Assess a System's Technical and Economic Potential"
- D3.4 Englischsprachiger Bericht „Monitoring data analysis on technical issues & on performances"
- "Position Paper - Solar Heating and Cooling & Solar Air-Conditioning"

5 Ergebnisse

Nachfolgend werden gezielt ausgewählte Ergebnisse der österreichischen Beiträge vorgestellt. Im Rahmen dieses Endberichtes wird über die erreichten Ergebnisse durch die österreichischen Teilnehmer berichtet, wobei die englischsprachigen Berichte des offiziellen SHC Task 53 die geleisteten österreichischen Beiträge im vollen Umfang wiedergeben. Nachfolgende ausgewählte Themenbereiche zu der neuen Generation von solaren Kühl- und Heizsystemen werden vorgestellt:

- Referenzsysteme
- Simplifizierte Visualisierung der Systemtypologie
- T53E4-Tool Entwicklung
- Monitoring Prozeduren
- Analyse und Bewertung des Betriebsverhaltens von Systemen der neuen Generation

5.1. Referenzsysteme

Zielsetzung

Eine der Zielsetzungen der internationalen Arbeitsgruppe der SHC Task 53 war es, einen umfassenden technischen Bericht zu marktüblichen Referenzsysteme im Bereich bis etwa 100 kW Kühleistung zu erstellen. Es wurden drei verschiedene Arten von Referenzsystemen identifiziert, die am Markt eine dominierende Rolle einnehmen, d.h. Mono-Split-, Multi-Split- und VRF-Systeme (Variable Refrigerant Flow) wurde als Standardsysteme angenommen. Die Aufgabe bestand darin einerseits Kurzbeschreibungen zu liefern, um die technischen Funktionalitäten und Komponenten vorzustellen und andererseits die Energieeffizienz während des Betriebs dieser Referenzsysteme zu beziffern.

Methode

Die Informationen und Darstellung zu den definierten Referenzsystemen (Mono-Split-, Multi-Split- und VRF-Systeme) erfolgt durch a) technische Skizzen, b) eine kurze schriftliche Dokumentation und c) über die Präsentation von ausgewählten Labormessergebnisse untersuchter Referenzsystemen. Die Labormessungen wurden von SHC Task 53 Teilnehmern durchgeführt. Insbesondere die Darlegung von Kennzahlen zur Beschreibung des energetischen Betriebsverhaltens wurden in den Mittelpunkt gerückt. Dazu wurden die energetischen Kennzahlen a) *Energy Efficiency Ratio* (EERc) für Kühlen und b) die Arbeitszahl *Coefficient of Performance* (COPh) für Heizen ausgewählt.

Die englischsprachige Publikation zur Darstellung der Referenzsysteme enthält Informationen und Hinweise zu den europäischen und internationalen Standards und Vorschriften zum besseren Verständnis der vom Hersteller deklarierten Leistungsindikatoren [EN 14825] und [ISO 16538]. Weiters wurde eine umfassende Parameterstudie, die auf den Ergebnissen der transienten Simulation aus einem Europäischen Forschungsprojekt [Inspire] basieren, in den Bericht aufgenommen. Diese Arbeiten geben einen guten Überblick über die jährliche energetischen Betriebsverhalten von Anlagen zum solaren Kühlen in Abhängigkeit von verschiedenen

Systemkombinationen für verschiedene Gebäudeanwendungen und Klimaregionen. Dieser englischsprachige Bericht endet mit der Dokumentation und grafischen Darstellung einiger Feldtestdaten von betriebenen Mono-split- und VRF-Systemen einem dem deutschen Forschungsprojekt [EvaSolK 2013]. In diesem vorliegenden Bericht wird kurz auf die Beschreibung der Referenzsysteme eingegangen.

Ergebnisse

Mono-Split-Systeme

Mono-Split-Systeme umfassen ein einzelnes Außen- und ein einzelnes Innengerät. Fast alle auf dem Markt befindlichen Mono-Split-Geräte ermöglichen den Kühl- und Heizmodus. Die Umschaltung zwischen Kühl- und Heizbetrieb erfolgt über ein Vierwegeventil (siehe Abbildung 1). Im Vergleich zu Multi-Split- und VRF-Systemen (Variable Refrigerant Flow) befindet sich das Expansionsgerät im Außengerät. Außengeräte sind mit Kältemittel vorgefüllt, eine zusätzliche Kältemittelbefüllung während der Installation ist nur bei einer überlangen Rohrverbindung zwischen Innen- und Außengerät erforderlich.

Die Kühlleistung reicht von ca. 1,5 bis 7 kW, typische Kühlleistungen sind 2,6, 3,5 und 5,2 kW

R_{410A} wird häufig als Kältemittel eingesetzt. Um die direkten Treibhausgasemissionen zu reduzieren, sind seit einigen Jahren Systeme mit den Kältemitteln R₃₂ (Firmen: Daikin, Panasonic und Toshiba) und R₂₉₀ Propan (Firmen: Godrej, Midea, Gree) auf dem Markt.

Wechselrichter gesteuerte Rotationskompressoren dominieren auch in Low-Budget-Produkten, um die geforderten Wirkungsgrade zu erreichen. Als Expansionsgeräte werden je nach Kühlleistung und Preisniveau Kapillarrohre oder elektronische Expansionsventile eingesetzt.

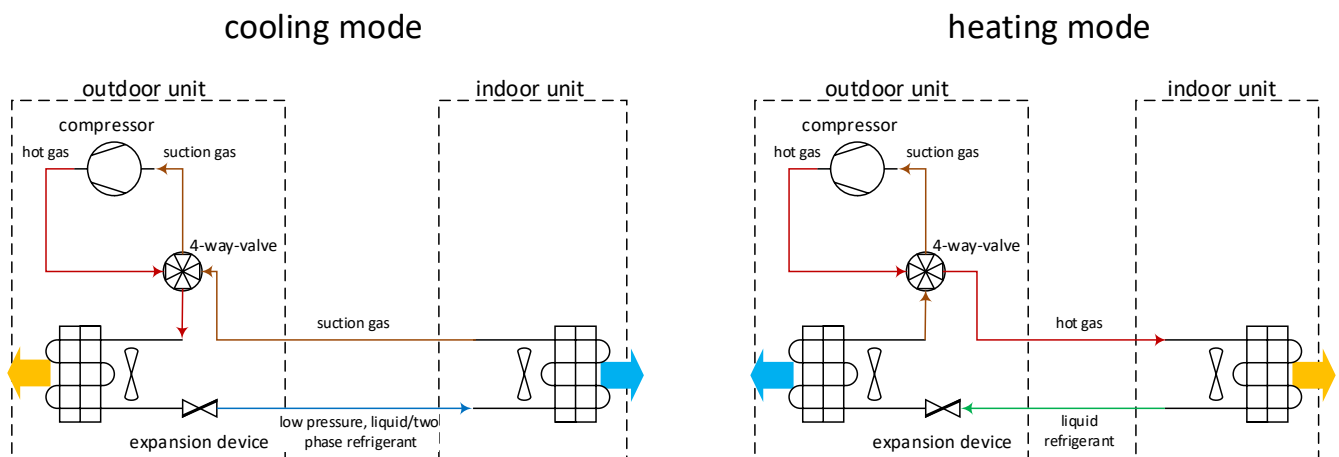


Abbildung 1: Schematische Darstellung von Mono-Split-Geräten in den beiden Betriebsmodi Kühlen (links) und Heizen (rechts). (Quelle ILK Dresden)

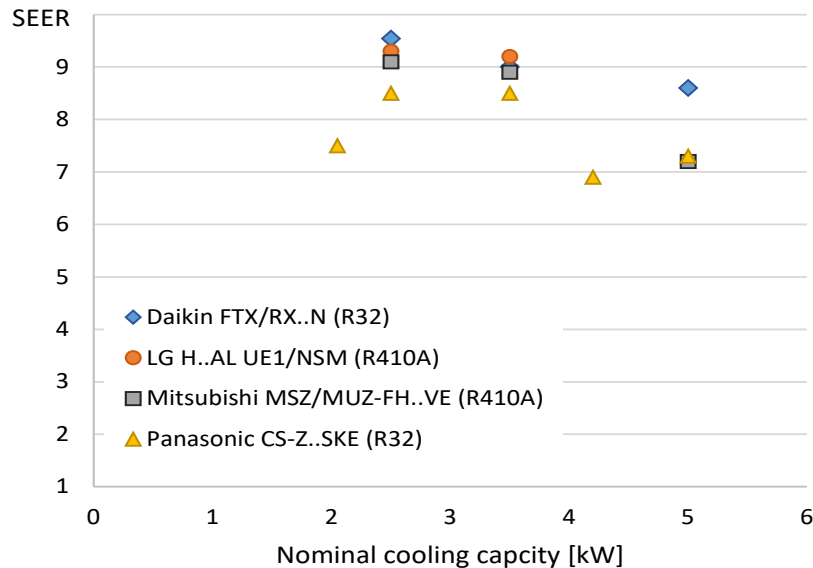


Abbildung 2: Berechnete Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) Werte von vier verschiedenen hoch-effizienten, marktverfügbaren Mono-Split-Geräten. (Quelle: ILK Dresden)

In Europa verkaufte Mono-Split-Geräte fallen unter die Ökodesign-Richtlinie EU Nr. 206/2012 (Durchführungsrichtlinie 2009/125/EG). Die Effizienz wird als Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) bezeichnet, der nach EN 14825 berechnet wird. Es werden Energielabels von A+++ bis D definiert. Der SEER Minimalwert, der nicht unterschritten werden darf, hängt vom Global warming potential (GWP) des verwendeten Kältemittels ab: 4,6 für Kältemittel mit GWP > 150 und 4,14 für Kältemittel mit GWP < 150. Die verfügbaren Produkte erreichen SEERs bis zu 9,5, was der Energiekennzeichnung A+++ entspricht (siehe Abbildung 2).

Multi-Split-Systeme

Bei Multi-Split-Systemen wird die Technologie der Direktexpansion (DX) auf Anwendungen ausgedehnt, bei denen größere Räume oder höhere Gebäudekühlungsanforderungen abgedeckt werden sollen. Anstelle von einem Außengerät und einem Innengerät werden größere Außengeräte an mehrere Innengeräte angeschlossen. In der Regel ist jedes Innengerät durch ein eigenes Kältemittelleitungspaar mit dem Außengerät verbunden (vgl. Abbildung 3). Das gesamte System kann im Kühl- oder Heizmodus betrieben werden, wobei alle Innengeräte im gleichen Modus arbeiten. Waren die Systeme früher mit einem Verdichter konstanter Drehzahl ausgestattet, werden heute oft Wechselrichter gesteuerte Verdichter eingesetzt.

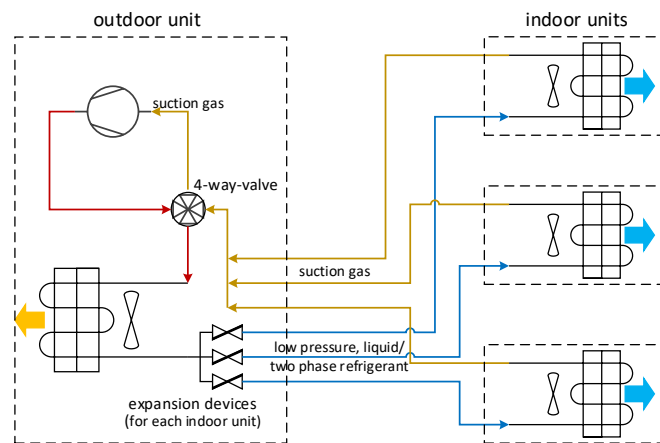


Abbildung 3: Technisches Schema eines Multi-Split-Gerätes zum Heizen und Kühlen
(Quelle: ILK Dresden)

Multi-Split-Systeme werden für kleine bis mittlere Gebäude mit ca. 9 Inneneinheiten eingesetzt. Typische Anwendungen sind:

- Wohngebäude
- Hotels
- Büros

Im Vergleich zu VRF-Systemen, wie im nachfolgenden Abschnitt beschrieben, sind Multi-Split-Systeme in Größe, Rohrleitungslänge und Funktionsvariabilität eingeschränkter.

VRF (Variabler Kältemittelstrom)

VRF-Systeme stellen den neuesten Stand der Entwicklung von Multi-Split-Systemen dar. Diese Systeme können auf die thermische Gebäudelast reagieren, indem sie den Kältemittelmassenstrom variieren. Wie bei klassischen Multi-Split-Systemen bestehen sie aus einem Außengerät und mehreren Innengeräten, die im klimatisierten Raum positioniert sind. Die Außeneinheit beinhaltet den Kompressor, den Wärmetauscher, die Expansionsvorrichtung, ein Vierwegeventil und einige zusätzliche Kältekomponenten wie einen Economiser. Jedes Innengerät ist mit einer individuellen Expansionseinheit ausgestattet, die eine lokale Steuerung der Heiz- oder Kühlleistung ermöglicht. Außerdem können sie lüften und entfeuchten. Für Rohrleitungen und Wärmeträger gibt es verschiedene Arten von VRF-Systemen. Die gebräuchlichsten sind Zweirohr- und Dreirohr Luft-Luft-VRF-Systeme.

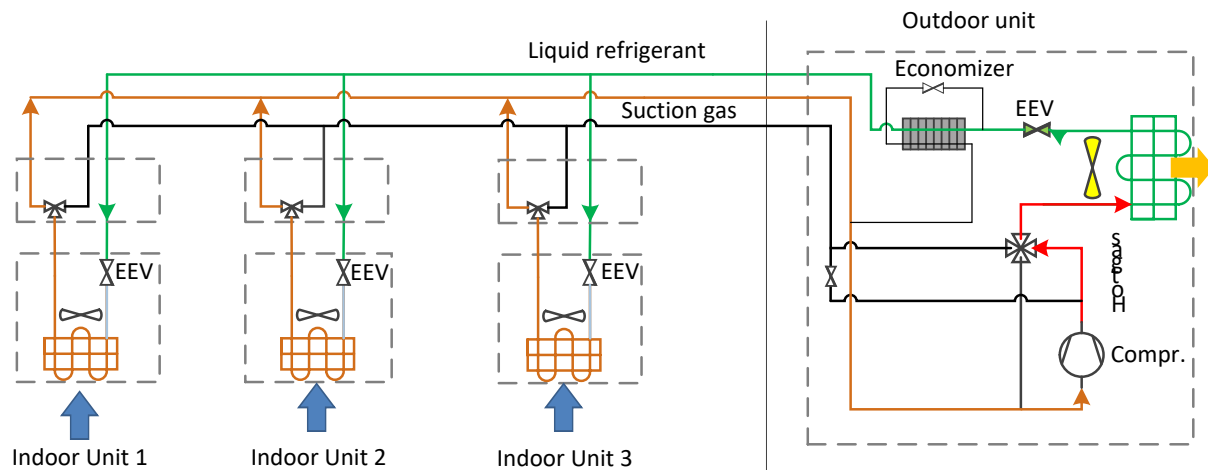


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines VRF-Gerätes als Dreileitersystem im Kühlbetrieb mit seinen Hauptkomponenten und Hilfsgeräten (Quelle: Hochschule München).

Die Innengeräte führen die Raumwärme ab, indem sie das Kältemittel verdunsten. Die Verdampfung wird durch das elektronische Expansionsventil (EEV) des Innengerätes und durch den Kompressor gesteuert. Das EEV regelt den Grad der Überhitzung am Verdampferauslass, während der Verdichter so eingestellt wird, dass im Niederdruckteil der Sollwert erreicht wird. Der Kältemitteldampf gelangt über die Sauggasleitung in den Verdichter. Im nächsten Schritt wird der Dampf auf ein höheres Druckniveau verdichtet. Das unter Druck stehende, überhitzte Kältemittel (Heißgas) wird dann in den Kondensator geleitet, wo es durch Abführung der Wärme an die Umgebung verflüssigt wird. Das flüssige Kältemittel passiert den Economizer und kehrt zu den Innengeräten zurück.

Abbildung 5 verdeutlicht den VRF-Systembetrieb im Heizmodus. In diesem Fall fungieren die Innengeräte als Kondensatoren. Die elektronischen Expansionsventile der Innengeräte dienen zur Steuerung des Durchflusses und der Unterkühlung des kondensierten Kältemittels am Ausgang des Kondensators. Das verflüssigte Kältemittel wird zum Außengerät zurückgeführt, wo es verdampft und wieder verdichtet wird. Die Steuerung des gesamten Kältemittelstroms wird durch das elektronische Expansionsventil am Eingang des Verdampfers beeinflusst. Der Verdichter steuert den Niederdruckpegel, um den Sollwert zu erreichen.

Ein Dreileiter-VRF-System ist in der Lage, im Wärmerückgewinnungsmodus zu arbeiten, indem es die Energie von einem Raum in einen anderen überführt, d.h. es wird gleichzeitig geheizt und gekühlt. Abbildung 5 veranschaulicht diesen Betriebszustand mit dominierendem Wärmebedarf: Das Innengerät 1 befindet sich im Kühlmodus, d.h. es absorbiert Wärme, während sich die Innengeräte 2 und 3 im Heizmodus befinden. Der Wärmetauscher im Außengerät arbeitet als Verdampfer und bringt zusätzlich eine geringe Wärmemenge ein. So kann der Gesamtwärmestrom im VRF-System ausgeglichen werden.

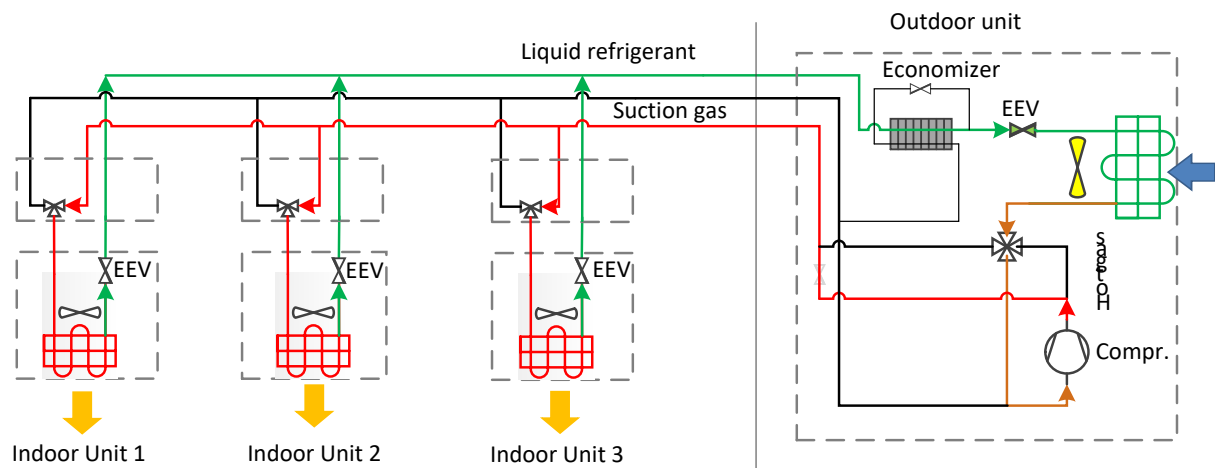


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines VRF-Gerätes als Dreileitersystems im Heizbetrieb (Quelle: Hochschule München).

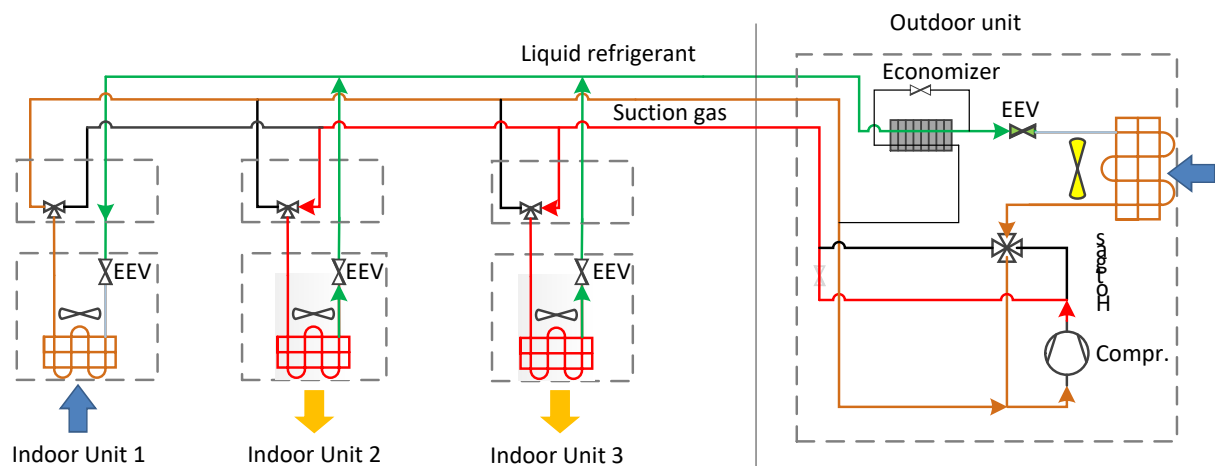


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines VRF-Systems als Dreileitersystems im Wärmerückgewinnungsmodus (Quelle: Hochschule München).

Die Effizienz von drei verschiedenen 3-Dreileiter VRF-Systemen mit Wärmerückgewinnung sind in Abbildung 7 beziffert. Die angeführten Kennwerte der ausgewählten Produkte wurden aus Herstellerangaben extrahiert. Die Nummer gibt das Modell des Herstellers an (siehe Tabelle 1).

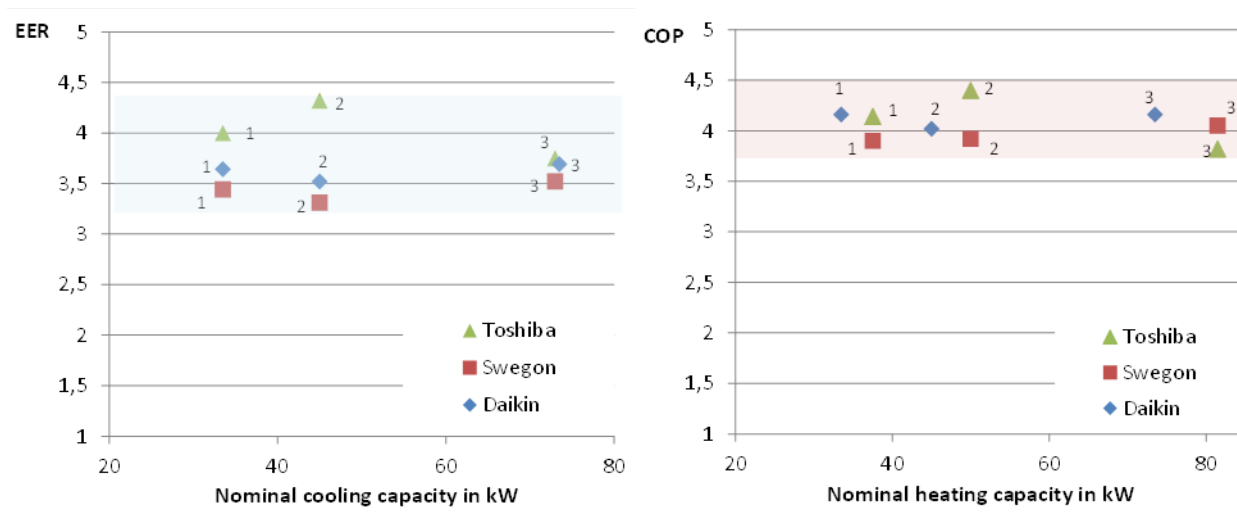


Abbildung 7: Darstellung der aus Kennzahlen extrahierten Leistungszahlen (EERc/COPh) für Heizen und Kühlen für drei verschiedene VRF- 3-Leiter-Systeme in Abhängigkeit ihrer nominellen Leistung (Quelle Hochschule München).

Tabelle 1: Auflistung der neun untersuchten VRF-Geräte von drei unterschiedlichen Herstellern.

Hersteller	1	2	3
Swegon	AJYA108GALH	AJYA144GALH	AJYA234GALH
Daikin	REYQ12T	REYQ16T	DE.REYQ26T
Toshiba	MMY-MAP1204FT8-E	MMY-AP1614FT8-E	MMY-AP2614FT8-E

5.2. Simplifizierte Visualisierung der SAC Systemtypologien

Zielsetzung

Gemäß internationalen Arbeitsplan zielte eine Aktivität der Arbeitsgruppe darauf ab, eine Klassifizierung der neuen Generation von solaren Heiz- und Kühlsystemen durch eine geeignete Visualisierung vorzunehmen. Dazu sollte eine graphische Grundskizze entwickelt werden, der die verschiedenen Topologien der Systemkonfiguration leicht verständlich und standardisiert visualisiert. Dazu wurde Vorarbeiten aus anderen Technology Collaboration Programmes (TCPs) der Internationalen Energieagentur als Basis verwendet, beispielsweise Heat Pump Technology ANNEX 44. Die Visualisierungsansicht sollte zumindest einerseits die Quelle zur energetischen Versorgung und andererseits die wesentlichen Systemkonfigurationen und deren technische Komponenten umfassen.

Methode

Die Komplexität der möglichen Bauformen solarer Kühl- und Heizsysteme ist hoch und aufwendige Energieflussdiagramme und technische Zeichnungen sind nützlich und wesentlich, um die Funktionsweise, den technischen Betrieb und den detaillierten schematischen Aufbau der besprochenen oder entwickelten Systeme abzubilden. Zur raschen visuellen Erfassung von Systemeigenschaften werden die essentiellen Informationen dazu (zentral vs. dezentral, Energiequelle, Bereitstellung und Verlustleistung der Kühlung etc....) über eine eigens entwickelte schematische reduzierte Darstellung kommuniziert.

Im Folgenden wird das grafische Grundprinzip beschrieben. Abbildung 8 zeigt das Grundschema, das aus mehreren Informationsbereichen zusammengesetzt ist. Wesentliche technischen Energieliefersysteme sind enthalten und Komponenten oder Einheiten werden durch Kästchen mit dem Namen der Ressource, Komponente oder Einheit angegeben. Das Grundprinzip zur visuellen Identifikation des solaren Kühl- und Heizanlagentyps enthält folgende Inhalte und Darstellungen:

- Die Grundskizze enthält den Namen des SAC-Systems oder des Projektes und die beteiligten Firmen werden benannt.
- Die Zuordnung zu der technisch nutzbaren Energiequelle (Sonnenenergie, Umweltwärme des Erdreichs, usw.) bzw. - der verfügbaren Energieinfrastruktur (Abwärme, Fernwärme- und Kältenetze und öffentliches Stromnetz) ist möglich.
- Die Installationsart des Systems wird über die Farbe des Kastenrahmens ausgewiesen (schwarz = zentrale Installationsart, blau = dezentral im Gebäude, rot = in der Gebäudehülle und grün = außen am Gebäude befestigt)
- Die Systeme zum solaren Kühlen und Heizen liefern Warm-/Kaltwasser oder klimatisierte/ Frischluft, um letztlich die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit des Raumes entsprechend den Komfortanforderungen zu regeln. Dies wird durch die farbigen durchgezogenen und unterbrochenen Pfeile in der Legende ersichtlich.
- Weiters ordnet die Legende farblich Massen- oder Energieströme zu.
- Der Bereich ‚Energiebereitstellung‘ gibt Auskunft über welche lokalen Energieliefersysteme das Energiekonzept verfügt. Beispielhaft werden in Abbildung 8 Photovoltaik, Solarthermie und elektrische bzw. thermische Speicher aufgezählt.

- Der Bereich ‚Energieumwandlung‘ definiert die Komponenten, die zur Energieumwandlung von den Energiequellen in Wärme, Kälte oder Lüftung verwendet werden. Beispielhaft werden hier die Wärmepumpe, Kompressionskältemaschine u.a. genannt.
- Die Beschreibung der Energieübergabesysteme erfolgt über die Benennung der technischen Komponenten, die die Energie an das Gebäude abgeben. Beispielhaft werden Heiz- und Kühlregister, Kühldecke genannt.

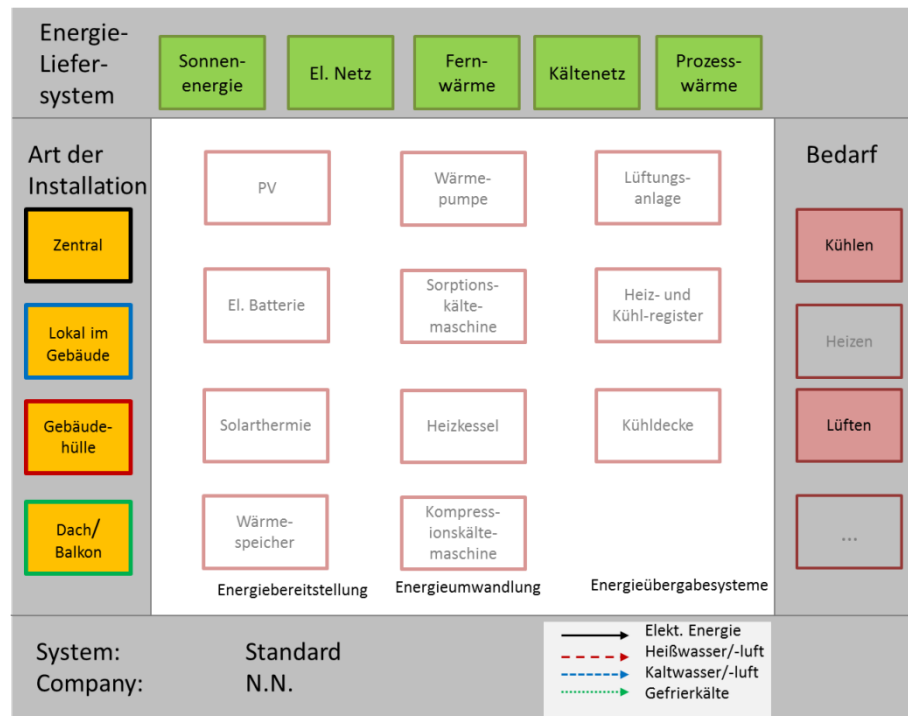


Abbildung 8: Simplifizierte schematische Darstellung zur raschen visuellen Erfassung des Anlagenkonzeptes einer solaren Kühl- und Heizsystems (Quelle: AIT)

Zur simplifizierten Visualisierung werden die im solaren Kühl- und Heizsystem verwendeten technischen Komponenten farblich gekennzeichnet. Die Rahmen dieser Boxen sind entsprechend der Integrationsart farblich gekennzeichnet. Alle graphischen Kästchen, die ein SKH-System bilden, werden durch Linien verbunden. Diese Linien repräsentieren die Energie-, Wärme- oder Kälteströme in den entsprechenden Farben der Legende. Die Kästchen, die das SKH-System darstellen werden farblich hervorgehoben und die anderen bleiben in der Darstellung, die Kästchen sind dann allerdings ausgebläst. Auf diese Weise ist die Ansicht der simplifizierten Visualisierung gleich und ermöglicht einen schnellen Vergleich verschiedener Systeme. Das simplifizierte Visualisierungsschema gibt einen topologischen Überblick über Art und zeigt die wichtigsten Systemkomponenten, ihre grundlegenden Funktionsweisen, ihr Anschlussprinzip und ihre Integrationsposition.

Ergebnis

In dieser Publikation wird die Anwendung der simplifizierten Visualisierungsart für zwei Anwendungsfälle demonstriert: a) Anwendung für Referenzsystem zur klassischen Kühlung und/oder Klimatisierung ohne Nutzung lokaler Sonnenenergie, b) Anwendung einer multifunktionalen Fassade mit PV Integration für ein solar-autonomes Kühlgerät im Büro.

Die internationale Publikation dieser Arbeit enthält noch weitere simplifizierte Visualisierungen unterschiedlichster solaren SKH-Systeme.

a) Referenzsystem

Das gewählte Referenzsystem ist ein Standardkühlsystem, bei dem beispielsweise eine konventionelle Kompressionskältemaschine mit Strom aus dem Netz gespeist wird. Das erzeugte Kaltwasser wird einem Lüftungsgerät mit Kältereiger zugeführt. In den Raum gelangt somit mechanisch gekühlte und entfeuchtete Luft. Alle technischen Einheiten sind zentral (d.h. Farbe der Blackbox-Linie) installiert und die Zirkulation von Luft und Kaltwasser erfolgt über Luftkanäle bzw. Kaltwasserleitungen der Verteilersysteme. Die schematische reduzierte Visualisierungsansicht ist in Abbildung 9 dargestellt.

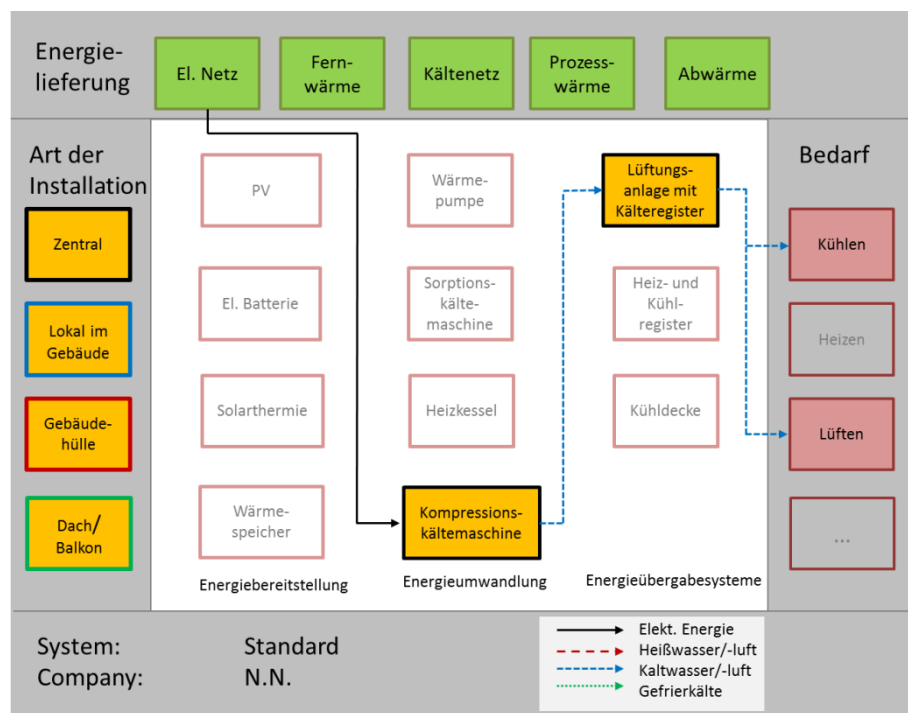


Abbildung 9: Simplifizierte schematische Darstellung zur raschen visuellen Erfassung eines Referenzsystems zum Lüften und Kühlen (Quelle AIT).

b) Multifunktionalen Fassade mit PV Integration für ein solar-autonomes Kühlgerät im Büro

Ziel des österreichischen Forschungsprojektes COOLSKIN war die Entwicklung, Bewertung und Funktionsprüfung eines fassadenintegrierten Energiesystems zur Kühlung. Fassadenintegrierte Photovoltaikmodule wandeln die Sonneneinstrahlung auf die vertikale Fassade direkt in Strom um. Dieser lokal erzeugte Solarstrom liefert die Antriebsenergie für eine Kompressionskältemaschine, die wiederum die Zuluft über ein Kälterregister abkühlt. Die Raumlufttemperatur wird der Büroeinheit hinter der Fassade somit im einem behaglichen Bereich gehalten. Das COOLSKIN-Systemkonzept zeichnet sich durch eine dezentralisierte Stromversorgung und durch eine Fassadenintegrierte Kühl- und Lüftungseinheit aus. Das System kann durch die Nutzung von Solarstrom energieautonom, d.h. es werden keine weiteren externen Energiequellen verwendet. Vom österreichischem Projektteam wurden zur Erfüllung der Projektanforderungen nachfolgende Methoden angewendet: i) Systemsimulationen, ii) experimentelle Tests mit einem Funktionsmodell des Systems und iii) Feldtests unter realen Betriebsbedingungen.

Abbildung 10 ist eine Fotografie des Test-Mock-Up der COOLSKIN-Fassade auf dem Testgelände der Technischen Universität Graz. Abbildung 11 zeigt das im Feldtest implementierte COOLSKIN-Systemkonzept in der simplifizierten Visualisierungsansicht.

Der Strom für den Antrieb des gesamten Energiesystems wird durch eine fassadenintegrierte PV-Anlage bereitgestellt, bei der der Solarstrom direkt verbraucht oder in einer Batterie zwischengespeichert werden kann. Die elektrische Verschaltung ermöglicht das Umgehen der elektrischen Batterie. Ein kompaktes, ebenfalls in die Fassade integriertes Wärmepumpensystem entzieht dem Büroraum Wärme zur Kühlung über konditionierte Luft und zirkulierendes Kaltwasser. In diesem Fall werden alle technischen Komponenten des Energiesystems in die Gebäudehülle (Fassade) integriert (z.B. rote Linienfarbe des Kästchens).



Abbildung 10: Fotografie des Test-Mock-Up der COOLSKIN-Fassade auf dem Testgelände der Technischen Universität Graz (Quelle: TU Graz).

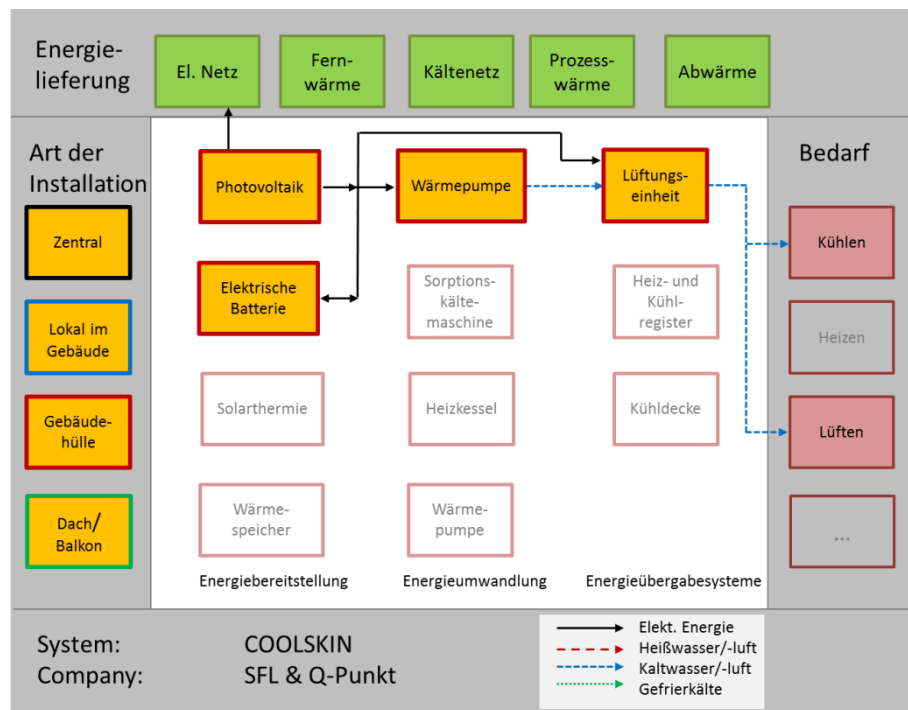


Abbildung 11: Simplifizierte schematische Darstellung zum COOLSKIN-System. In die Fassade (rote Rahmenfarbe der Kästchen) sind sowohl die Photovoltaikmodule als auch die Wärmepumpen- und Lüftungseinheit integriert (Quelle AIT).

Dieses kooperative F&E-Projekt 'COOLSKIN' wurde vom nationalen Klima- und Energiefonds im Rahmen des Programms 'e!MISSION' in der ersten Ausschreibung 2014 finanziert.

Im englischsprachigem Bericht „*State of the art of new generation commercially available products*“ der Arbeitsgruppe der SHC Task 53 werden Systemkonfigurationen von rund zehn identifizierten solaren Kühl- und Heizsystemen der neuen Generation (kommerziell verfügbar und F&E) mit Hilfe der simplifizierten Visualisierungsansicht schematisch dargestellt. Dieser Bericht lässt sich von der offiziellen Website der SHC Task53 unter Publikationen herunterladen.

5.3. T53E4-Tool Entwicklung

Zielsetzung

Das T53E4-Tool dient zur Beurteilung von solaren Heiz- und -kühlsystemen (SHC). Das Tool ermöglicht die Analyse und Bewertung einer breiten Palette von solaren Heiz- und -kühlsystemen der neuesten Generation für verschiedene Anwendungen (Raumheizung (SH), Warmwasser (DHW), Kühlung (C) usw.). Solar umfasst solarthermisch und solarelektrisch (photovoltaisch) betriebene Systeme. Die Key Performance Indikatoren werden verwendet, um das gesamte SHC-System mit dem Task 53-Referenzsystem (Ref) sowie mit einem individuell ausgewählten (spezifischen) Referenzsystem zu vergleichen.

Die Bewertung erfolgt anhand technischer und wirtschaftlicher Kennzahlen auf Basis monatlicher Energiebilanzen. Technische Kennzahlen berechnen den Nutzungsgrad des Gesamtsystems oder eines Teilsystems (C, DHW, SH usw.) auf Basis einer beliebigen erneuerbaren oder nicht erneuerbaren Primärenergieversorgung. Es können viele abgeleitete technische Zahlen (z. B. Komponentenwirkungsgrad) berechnet werden. Eine umfassende Wirtschaftlichkeitsprüfung mit standardisierten Kosten ist ebenso enthalten wie eine Kennzeichnung des Systems. Die Kennzeichnung erfolgt in Anlehnung an die „European Energy Labeling Guideline“ [2010/30 / EU 2010].

Jedes SHC-System wird unter vordefinierten Standardwerten des Task 53 [task53] (z. B. Primärenergiefaktor für Elektrizität), aber auch unter länderspezifischen Randbedingungen (z. B. Australien, Standort New Castle usw.) bewertet. Gegebenenfalls können diese Eingabewerte auch als monatliche Werte definiert werden. Im Vergleich zu den Arbeiten in der SHC Task 48 [task48] können komplexere Systeme evaluiert und die Bewertung des Systems und der Subsysteme erweitert werden.

Um das gewünschte SHC-System zu erstellen, sind folgende Komponenten und Heiz- / Kühlquellen / -senken im Tool enthalten. In jeder Kategorie können einzelne (spez.) Komponenten definiert werden.

- Solarquellen: Flachkollektor, Vakuumröhrenkollektor, Photovoltaik
- Wärmequellen: Erdgas, BHKW, Wärmepumpe und reversible Wärmepumpe, Absorptionswärmepumpe und reversible Absorptionswärmepumpe, Fernwärme, Brennwertkessel, Elektrische Heizung, Ölkessel, Pelletkessel
- Kältesenken: Luft- oder wassergekühlter Kompressionskältemaschinen, Absorptionskältemaschine (single/double effect), Adsorptionskältemaschine, Fernkälte
- Kühlturm: Nasskühlturm, Trockenkühlung, Hybridkühlung
- Speicher: Warmwasserspeicher, Kaltwasserspeicher, Batteriespeicher

Jede Kombination dieser Komponenten kann im Tool dargestellt werden. Das Tool ist auf ein solarthermisches Kollektorfeld und ein PV-Feld sowie auf bivalente Systeme (zwei Heiz- und / oder Kühlquellen) beschränkt. Es können zwei Speichergrößen für jeden Speichertyp implementiert werden. Bei jeder anderen Konfiguration müssen Komponenten zusammengeführt und innerhalb bestimmten Grenzen (Effizienz, Kosten usw.) als eine Einheit behandelt werden.

Innerhalb des Tools werden die SHC-Anlagen auf Basis erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energieflüsse (NRE) dargestellt. Technische Kennzahlen werden für unterschiedliche Systemgrenzen berechnet. Die detaillierte wirtschaftliche Analyse ermöglicht eine eingehende Betrachtung und einen Vergleich verschiedener Systemkonfigurationen. Einen Überblick über die Energieflüsse gibt Abbildung 12.

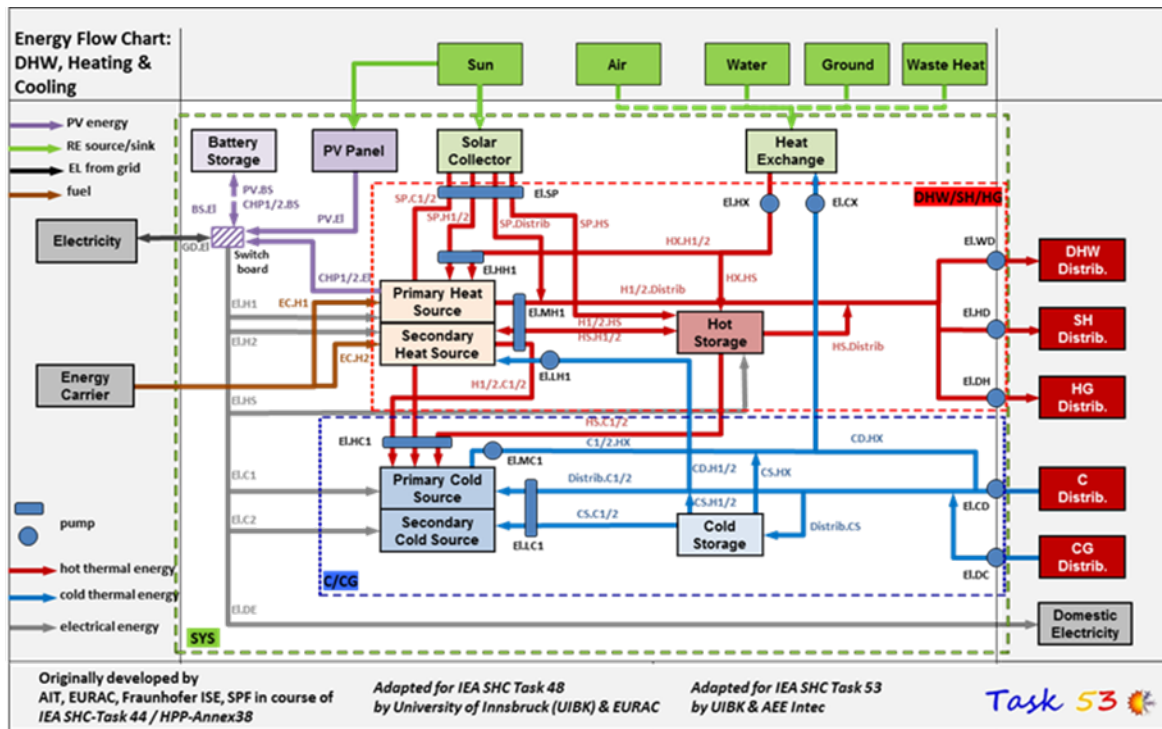


Abbildung 12: Schema der maximal möglichen Komponenten eines SHC-Systems die im Auswerte-Tool berücksichtigt werden können.

Bei der Bewertung der integrierten solaren Heiz- und -Kühlsystemen muss die Verteilung sowohl der Solar- als auch der Backup- Energiequellen auf alle relevanten Anwendungen (i) zur Raumheizung, (ii) zur Warmwasserbereitung und (iii) zur Raumkühlung berücksichtigen. Darüber hinaus kann die zeitliche Verteilung der Wärmeströme maßgeblich durch die Verfügbarkeit von Wärme- und / oder Kältespeichern beeinflusst werden. Infolgedessen können Leistungs- (bzw. Energie) Indikatoren auf viele verschiedene Arten unter Berücksichtigung verschiedener Systemgrenzen oder unter Verwendung verschiedener Energiemengen (z. B. nicht erneuerbare Primärenergie (PE_{NRE}), thermische oder elektrische Energie) berechnet werden. Die Leistungsbewertung erfordert eine genaue Definition der Systemgrenzen und Leistungsindikatoren.

Die Hauptindikatoren die das T53E4 Tool berechnet sind die saisonale Arbeitszahl (seasonal performance factor - SPF), die primärenergetische Arbeitszahl (primary energy ratio - PER), die elektrisch äquivalente Arbeitszahl (SPFequ) und die nicht erneuerbare Primärenergieeinsparung ($fsav_{NRE}$).

Im Folgenden werden die wichtigsten technischen und ökonomischen Kennzahlen kurz beschrieben.

- Leistungszahlen

Der Leistungszahl (Coefficient of Performance COP) ist für Wärmepumpen definiert, die die nutzbare Wärmekapazität ($\dot{Q}_{th}$) und den elektrischen Aufwand ($\dot{Q}_e$) für einen gegebenen Satz von

Randbedingungen (Quelle, Senke) vergleichen. Es wird unter stationären Bedingungen gemessen, die häufig in Normen für eine gewünschte Anwendung definiert sind (z. B. Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung nach EN 16147).

$$COP = \frac{\dot{Q}_{th}}{\dot{Q}_{el}} \quad \left[\frac{kW}{kW} \right] \quad \text{Gleichung (1)}$$

Dieser Nutzungsgrad wird auch für Kältemaschinen, Klimaanlage, aber auch für Kühltürme definiert und als Energy Efficiency Ratio (EER) bezeichnet. Der EER ist das Verhältnis der nutzbaren Kühlleistung ($\dot{Q}_c$) zur gesamten elektrischen Leistung ($\dot{Q}_{el}$) unter bestimmten Bedingungen (z. B. luft- oder wassergekühlte Klimaanlage).

$$EER = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_{el}} \quad \left[\frac{kW}{kW} \right] \quad \text{Gleichung (2)}$$

Eine Absorptionskältemaschine wird mit Wärmeenergie betrieben. Daher ist die Basis des Verhältnisses die thermische Leistung ($\dot{Q}_{th}$) unter den bestimmten Bedingungen und wird als thermisches Leistungszahl (EER_{th}) bezeichnet.

$$EER_{th} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_{th}} \quad \left[\frac{kW}{kW} \right] \quad \text{Gleichung (3)}$$

- Saisonale Leistungszahl

Für eine standardisierte saisonale Effizienz wird eine Reihe von stationären COPs unter verschiedenen Umgebungsbedingungen (COP_i / EER_i) mit einem relativen Gewichtungsfaktor (h_i) summiert. Es wird angenommen, dass der Gewichtungsfaktor die gesamten Umgebungsbedingungen über ein Jahr hinweg darstellt und eins ergibt. Der Zeitschritt für die Summe kann zwischen monatlichen Durchschnittswerten und Minuten variieren. Der gesamte saisonale Leistungskoeffizient für eine Wärmepumpe wird als Seasonal Coefficient of Performance (SCOP) bezeichnet, für die elektrisch angetriebenen Kaltwassersätze als Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER). Bestimmte spezielle Bedingungen existieren und sind entsprechend gekennzeichnet und gekennzeichnet (z. B. European Seasonal Energy Efficiency Ratio - ESEER).

$$SCOP = \sum COP_i * h_i \quad \left[\frac{kW}{kW} \right] \quad \text{Gleichung (4)}$$

$$SEER = \sum EER_i * h_i \quad \left[\frac{kW}{kW} \right] \quad \text{Gleichung (5)}$$

- Arbeitszahl

Sobald das Wirkungsgradverhältnis nicht mehr auf stationären Bedingungen basiert und Start / Stopp und dynamisches Verhalten über einen bestimmten Zeitraum umfasst, wird die Kennzahl als saisonaler Arbeitszahl (SPF) bezeichnet. Sie hängt von den verschiedenen Lasten ab (Raumheizung - SH, Brauchwasser - Warmwasser, Kühlung - C) und kann entweder auf der elektrischen Energie (SPF_{el}) oder auf der thermischen Energie (SPF_{th}) basieren. Der Aufwand stellt die Gesamtsumme aller Hilfsmittel (elektrisch oder thermisch) dar, wird also entsprechend der Systemgrenze aufsummiert. Wenn ein System sowohl elektrisch als auch thermisch angetriebene Komponenten enthält, kann diese Kennzahl irreführend sein, da sie sich nur auf Teile des Systems bezieht und daher ein hoher elektrischer Wirkungsgrad nicht unbedingt ein Hinweis auf qualitativ hochwertige Systeme ist.

$$SPF_{el} = \frac{\int (\dot{Q}_{SH} + \dot{Q}_{DHW} + \dot{Q}_C) dt}{\int \sum P_{el} dt} \quad \left[\frac{kWh}{kWh} \right] \quad \text{Gleichung (6)}$$

$$SPF_{th} = \frac{\int (\dot{Q}_{SH} + \dot{Q}_{DHW} + \dot{Q}_C) dt}{\int \sum Q_{th} dt} \quad \left[\frac{kWh}{kWh} \right] \quad \text{Gleichung (7)}$$

- IEA SHC Task 53 Reference System

Als Maßstab für solare Heiz- und Kühlsysteme wird ein herkömmliches nicht erneuerbares Referenzsystem definiert: eine luftgekühlte Kompressionskältemaschine und ein Erdgaskessel und ihre zugehörigen Wirkungsgrade werden entsprechend berücksichtigt.

Die luftgekühlte Kompressionskältemaschine basiert auf der Auslegung des gesamten Kältekreislaufs und ändert sich mit der Anlagengröße. Die Kompressortechnologie, der Wärmetauschertyp, die interne Regelstrategie und das grundlegende Layout beeinflussen den EER und die Investitionskosten entsprechend. Je größer die Kältemaschinen sind, desto effizienter sind sie. Daher steigt der EER mit zunehmender Leistung.

Der Gesamtwirkungsgrad des Erdgaskessels basiert auf seinem Auslastungsgrad und dem Gesamtwirkungsgrad der Teillast, somit kann die Effizienz über das Jahr variieren. Durch weniger Start- / Stopp- und Standby-Verluste ist der Wirkungsgrad unter Volllastbedingungen höher als unter Teillastbedingungen. Wenn die Warmwasserbereitung in der Anwendung enthalten ist, wird ein Speichervolumen angenommen, um die gesamten Wärmeverluste der Anlage zu berechnen.

- Nicht-erneuerbare primärenergetische Arbeitszahl

Um Probleme im Zusammenhang mit nur teilweise aussagekräftigen Kennzahlen zur Systemeffizienz zu vermeiden, wird die nicht-erneuerbare primärenergetische Arbeitszahl (PER_{NRE}) verwendet. Die Arbeitszahl basiert auf der gesamten nutzbaren Heiz- und Kühlenergie ($Q_{CD} + Q_{DC} + Q_{HD} + Q_{WD} + Q_{DH} + Q_{el,DE}$) und wird mit dem nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand des Systems verglichen. Strom (Q_{el} , Netz (GD) und PV) und andere Wärmeeinträge (Energieträger, Q_{EC}) werden in nicht erneuerbare Primärenergieeinheiten mit einem (länderspezifischen) Primärenergiefaktor (ε_{el} , ε_{EC}) umgewandelt.

$$PER_{NRE} = \frac{Q_{CD} + Q_{DC} + Q_{HD} + Q_{WD} + Q_{DH} + Q_{el,DE}}{\frac{Q_{EC}}{\varepsilon_{EC}} + Q_{el} * \left(\frac{\%_{GD,el}}{\varepsilon_{el}} + \frac{\%_{PV,el}}{\varepsilon_{PV,el}} \right)} \quad \left[\frac{kWh_{use}}{kWh_{prim}} \right] \quad \text{Gleichung (8)}$$

Dieses PER_{NRE} wird für das gesamte erneuerbare / solarbasierte System und für das standardisierte Referenzsystem berechnet. Der Wärmebedarf wird summiert ($Q_{HD} + Q_{WD} + Q_{DH}$) und beinhaltet die Verluste für die Warmwasserbereitung ($Q_{loss,ref}$). Die Umrechnung auf Endenergienutzung erfolgt über den Bezugswirkungsgrad des Erdgaskessels ($\eta_{HB,ref}$) und den Primärenergieaufwand über den entsprechenden Primärenergiewandlungsfaktor (ε_{EC}). In ähnlicher Weise wird der Kältebedarf summiert ($Q_{CD} + Q_{DC}$) und durch den gesamten Wirkungsgrad der luftgekühlten Kompressionskältemaschine ($SPF_{C,ref}$) und den entsprechenden Primärenergiefaktor (ε_{el}) umgerechnet. Der elektrische Hilfsbedarf ($Q_{el,ref}$) und der Haushaltsstrombedarf ($Q_{el,DE}$) werden entsprechend mit ε_{el} umgerechnet.

$$PER_{NRE.ref} = \frac{Q_{CD} + Q_{DC} + Q_{HD} + Q_{WD} + Q_{DH} + Q_{el.DE}}{Q_{HD} + Q_{WD} + Q_{DH} + Q_{loss.ref} + \frac{Q_{CD} + Q_{DC}}{SPF_{C.ref} \cdot \varepsilon_{el}} + \frac{Q_{el.ref} + Q_{el.DE}}{\varepsilon_{el}}} \left[\frac{kWh_{use}}{kWh_{prim}} \right] \quad \text{Gleichung (9)}$$

- nicht erneuerbaren Primärenergieeinsparungen

Da dieses PER_{NRE} in der Praxis nicht verbreitet ist, wird ein relatives Verhältnis definiert, um die Qualität des gesamten SHC-Systems auszudrücken. Die nicht erneuerbaren Primärenergieeinsparung ($f_{sav.NRE}$) vergleicht somit das PER_{NRE} mit dem $PER_{NRE.ref}$, und es werden jeweils die NRE-Primärenergieeinsparungen der solaren Bereitstellung mit jenem des Referenzsystems verglichen.

$$f_{sav.NRE} = 1 - \frac{PER_{NRE.ref}}{PER_{NRE}} \quad [-] \quad \text{Gleichung (10)}$$

- elektrisch äquivalente Arbeitszahl

Die Größenordnung der PERs, die weit unter dem elektrischen Wirkungsgrad (SPF_{el}) liegen kann, ist zwar nicht vergleichbar und kann daher missinterpretiert werden. Daher wird der nicht erneuerbare Primärenergiefaktor für Elektrizität (ε_{el}) verwendet, um das PER_{NRE} des gesamten Systems in eine elektrisch äquivalente Arbeitszahl (Equivalent Seasonal Performance Factor - SPF_{equ}) umzurechnen. Dieser SPF_{equ} kann verwendet werden, um thermisch und elektrisch angetriebene Systeme auf derselben Basis zu vergleichen, zumindest wenn die gesamte Systemgrenze der Bewertung dieselben Komponenten und denselben Zeitrahmen umfassen.

$$SPF_{equ} = \frac{PER_{NRE}}{\varepsilon_{el}} \quad [-] \quad \text{Gleichung (11)}$$

- annualisierte Kosten

Die ökonomische Bewertung basiert auf der Annuitätsmethode und den zugrunde liegenden ökonomischen Faktoren (Lebensdauer einer Komponente, Inflation, Zinssätze, usw.). Die annualisierten Gesamtkosten ($C_{an.tot}$) umfassen Investitionen und Ersatzinvestitionen ($C_{an.IN}$), Strom ($C_{an.EL}$: HVAC, Haushaltsstrom, Einspeisung: PV, DC, DH), Energieträger ($C_{an.EC}$: Energiequellen, Fernwärme / Fernkälte) und Betriebskosten ($C_{an.OP}$: Wasser, Instandhaltung).

$$C_{an.tot} = C_{an.IN} + C_{an.EL} + C_{an.EC} + C_{an.op} \quad [€/a] \quad \text{Gleichung (12)}$$

- Energiegestehungskosten

Die Energiegestehungskosten (Levelized Cost of Energy - LCOE) vergleichen die annualisierten Gesamtkosten ($C_{an.tot}$) mit dem gesamten Nutzen des Systems ($Q_{CD} + Q_{DC} + Q_{HD} + Q_{WD} + Q_{DH} + Q_{el.DE}$). Die Energiegestehungskosten beziehen sich immer auf das Gesamtsystem, da sich die Kosten weder nach ihren Anwendungen noch nach einer anderen Basis trennen lassen. Die Energiegestehungskosten werden für das SHC-System und für das standardisierte Referenzsystem berechnet.

$$LCOE = \frac{C_{an.tot}}{Q_{CD} + Q_{DC} + Q_{HD} + Q_{WD} + Q_{DH} + Q_{el.DE}} \left[\frac{€}{kWh} \right] \quad \text{Gleichung (13)}$$

- Relative Mehrkosten

Die relativen Mehrkosten (Cost Ratio - CR) werden berechnet, um die Wirtschaftlichkeit des SHC-Systems durch das Verhältnis der Energiegestehungskosten des SHC-Systems ($LCOE_{SHC}$) zu den Kosten des Referenzsystems ($LCOE_{ref}$) auszudrücken. Es wäre auch möglich, die annualisierten Kosten zu vergleichen, solange die gelieferte und nutzbare Energiemenge dieselbe ist. Wenn das Ergebnis der CR größer eins ist, führt das SHC-System zu höheren Kosten als das Referenzsystem. Ist das Ergebnis kleiner eins, können durch die solare Bereitstellung im betrachteten Zeitraum wirtschaftliche Einsparungen erzielt werden.

$$CR = \frac{LCOE_{SHC}}{LCOE_{ref}} = \frac{C_{an.tot.SHG}}{C_{an.tot.Ref}} \quad [-] \quad \text{Gleichung (14)}$$

Da alle Ergebnisse von den vordefinierten Randbedingungen abhängen, wird ein umfassendes Sensitivitätsanalysetool implementiert. Die generische Struktur ermöglicht die Auswahl jedes Wertes, der als Eingabe für die Berechnung dient, und die Definition des Bereichs für jede Variation. Dies beinhaltet alle ökonomischen Parameter, die Umrechnungsfaktoren und Referenzwirkungsgrade, aber auch die Energiebilanz des gesamten Systems. Somit kann die Sensitivität aller Ergebnisse in Abhängigkeit von Änderungen der Randbedingungen berechnet und entsprechend dargestellt werden. Standardmäßig werden sechs Randbedingungen der Task 53 Auswertung analysiert.

28 Systeme werden im Bericht [Köll, Neyer 2018] analysiert (vgl. Kapitel 5.5). Die zugrunde liegenden Systeme repräsentieren ein breites Spektrum von Anwendungen, Systemdesigns und -größen und bestätigen die Eignung und Zuverlässigkeit des entwickelten Werkzeugs und seiner technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen.

5.4. Monitoring Prozedere

Zielsetzung

Die Basis für einen einheitlichen Vergleich der Performance verschiedener SHC-Systeme ist eine vollständige und richtige Messung der zur Auswertung benötigten Parameter. Die Entwicklung eines generalistischen Monitoringkonzepts wurde bereits in bisherigen und laufenden Aktivitäten der IEA SHC Task 38, 44 und 48 vorgenommen, um verlässliche Indikatoren und aussagekräftige Informationen über die Leistung sowie die Primärenergieeinsparung und -reduzierung von Treibhausgasen und schließlich auch wirtschaftliche Kriterien zu erhalten.

Das Monitoring installierter solarunterstützter Kühl- und Heizsysteme stellt ein grundlegendes Instrument dar, um nicht nur das überwachte System selbst zu optimieren, sondern auch Rückschlüsse für eine geeignete Auswahl der Auslegung und Steuerung für zukünftige Installationen zu ziehen.

Die sogenannten New Generation SHC-Systeme umfassen nicht nur thermisches sondern auch elektrisches Heizen und Kühlen mit Hilfe von Solarstrom und/oder Solarthermie. Aus diesem Grund muss eine größere Bandbreite an Komponenten berücksichtigt werden. Daher wurden im Task 53 die Anzahl der zu berücksichtigten Energieströme deutlich erweitert und daher auch das Monitoring-Verfahren angepasst.

Methode

Das Hauptziel des Monitoring-Verfahrens ist die einheitliche Überprüfung der Funktionalität und Leistung der SHC Anlagen. Innerhalb des Task 53 wurden diese Richtlinien auf ihre Gültigkeit für "New Generation Systems" überprüft und bei Bedarf aktualisiert bzw. erweitert.

In Abbildung 12 sind die wichtigsten Systemgrenzen durch strichlierte Linien markiert:

- Gesamtes SHC-System: sys (grün)
- Kühlung: C, Kälteverteilung: CD, oder Fernkälte: DC, (blau)
- Warmwasser: DHW, Raumheizung: SH, oder Fernwärme: DH (rot)

Im Schema sind alle Komponenten abgebildet die für die Auswertung mittels Tools berücksichtigt werden können. Blaue Felder und Pfeile betreffen die Kühlung, rote Felder betreffen Heizung und Warmwasser, grüne Felder betreffen Quellen aus erneuerbaren Energien, braune Felder sind Energiequellen aus nicht erneuerbaren Quellen und lila Felder betreffen erneuerbar produzierten Strom. Das Monitoring umfasst ebenfalls die nicht-erneuerbaren Energiequellen und den Stromverbrauch. Die grauen Pfeile zeigen die elektrischen Stromflüsse die ebenfalls essenziell für die Bewertung der Anlagen sind.

Für die Messung oder Bestimmung eines Wärmeflusses bei Feldversuchen wird folgende Methode vorgeschlagen:

- Wird der Wärmestrom durch Kühlen oder Erhitzen eines Wasser- oder Wasser/Glykol-Kreises erzeugt, so wird er direkt mit einem Wärmemengenzähler gemessen.

- Wenn der Wärmestrom direkt durch das Wärmepumpen-Kältemittel an die Luft oder an einen Tank abgegeben wird, wird er indirekt durch das Wärmepumpen-Kältemittel berechnet.
- Die Tankverluste können durch spezifische Tests abgeschätzt werden

Das vorgestellte Verfahren folgt so weit wie möglich dem Verfahren, das für Solar Heat Driven Chiller (SHDC) von IEA SHC Task 38 "Monitoring Procedure for Solar Cooling Systems" (Napolitano A. et al, 2010) und IEA SHC Task 48 "Deliverable M-C4.3 - Final Report Measurement and Verification Procedures" (Boudehenn F. et al, 2013) entwickelt wurde. Diese Dokumente sind auf der Task-Webseite verfügbar.

Ergebnisse

Das Ergebnis des Monitoring-Verfahren besteht aus einer Excel-Datei, in der die aufgezeichneten Daten gesammelt und auf täglicher, monatlicher oder jährlicher Basis ausgearbeitet werden.

Das Monitoring-Verfahren kann auf zwei Ebenen durchgeführt werden:

Erste Ebene: Tägliche Daten. Berechnung von COP, Primärenergieanteil, Solarertrag, Produktionsfaktor, etc. eines Tages. Die Daten werden üblicherweise alle 1 bis 5 Minuten aufgezeichnet und bilden die Basis für die Weiterverarbeitung und Berechnung der Parameter

Zweite Ebene: Monatliche, saisonale Daten. Die durchschnittlichen Daten des täglichen Verarbeitungsprozesses werden zu monatlichen und saisonalen Daten von COP, Primärenergiequote, Solarbeitrag, Produktionsfaktor usw. zusammengeführt.

Neben den bereits in Kapitel 5.3 dargestellten Kennzahlen werden weiter Kennzahlen für die Bewertung der Systeme herangezogen.

Dies sind für PV-gespeiste Systeme:

Elektrischer Deckungsgrad (PV)

%-Anteil des Gesamtstroms (Summe von Strom aus Netz ($E_{GD,EL}$) und PV ($E_{PV,EL}$)), der von den PV-Modulen bereitgestellt wird.

$$PV(\%) = \frac{E_{PV,EL}}{E_{GD,EL} + E_{PV,EL}} \quad \text{Gleichung. (15)}$$

Produktionsfaktor (PF):

Der Produktionsfaktor ist der Anteil and produzierter Wärme (Q_{Sys}), im Vergleich zu dem maximum an bereitgestellten el. Strom.

$$PF = \frac{Q_{Sys}}{2.5 \cdot (E_{GD,EL} + E_{PV,Max})} \quad \text{Gleichung. (16)}$$

Für die solarthermischen Systeme:

Solarer Deckungsgrad (SC):

Prozentualer Anteil der Gesamtwärme/- kälte (Summe aus Wärme von Solarkollektoren (Q_{SC}) und Back-up System ($Q_{Hot\ BackUp}$), der von den Solarkollektoren bereitgestellt wird.

$$SC(\%) = \frac{Q_{SC}}{Q_{SC} + Q_{Hot\ BackUp}}$$

Gleichung. (17)

5.5. Analyse und Bewertung von Systemen der neuen Generation

Zielsetzung

Im Rahmen der Activity C3 des IEA SHC Task 53 wurden Daten von solaren Kühlsystemen gesammelt und in einem ersten Schritt auf Plausibilität und Vollständigkeit überprüft. Auf Basis dieser Sammlung wurden repräsentative Systeme ausgewählt und im Detail analysiert. Die Ergebnisse wurden in Form eines Deliverables zusammengefasst und veröffentlicht [KöllNeyer2018]. Die Systeme werden auf technischer und wirtschaftlicher Basis mit dem entwickelten T53E4-Tool (Neyer et al., 2016) analysiert, welches die Bewertung und das Benchmarking von unterschiedlichen SHC- aber auch Referenzsysteme ermöglicht.

Die Hauptziele dieser Arbeiten waren:

- i) die Systemleistung und -kosten mit Standard-Referenzsystemen zu vergleichen,
- ii) den Unterschied zwischen solarthermischen und PV betriebene Kühl- und Heizsystemen zu analysieren
- iii) einen umfassenden Einblick in die Randbedingungen der Bewertung und ihre wichtigsten Ergebnisse zu erhalten.
- iv) anhand einer Sensitivitätsanalyse den Einfluss verschiedener Rahmendbedingungen auf die Systemeffizienz sowie -kosten zu untersuchen

Methode

Tool:

Der generelle Vergleich von SHC Systemen ist aufgrund der großen Unterschiede der ausgewählten Systeme z.B. unterschiedliche Anwendung (Warmwasser, Heizung und/oder Kühlung), unterschiedliche Leistungen und Verbräuche, oder unterschiedlichen Wärmequellen sehr komplex. Daher wurde das innerhalb des Tasks entwickelte T53E4 Tool verwendet um die technische sowie ökonomische Effizienz der Systeme anhand der jährlichen Energiebilanz zu bewerten (vgl. Kapitel 5.3.)

Die Ergebnisse aus dem Tool werden verwendet um anhand einer Trendanalyse die technische sowie ökonomische Performance der unterschiedlichen Systeme zu vergleichen und darzustellen. Für die technische Effizienz wird die nicht-erneuerbare Primärenergieeinsparung ($f_{\text{sav.NRE}}$) herangezogen, für die ökonomische Bewertung das relative Kostenverhältnis der annualisierten Kosten (Cost Ratio = CR). Zusätzlich wurden mit einer Sensitivitätsanalyse durch Variation verschiedener Parameter wie Investitionskosten, Gas- und Strompreis, sowie die Effizienz des Referenzsystems u.a. deren Einfluss auf die technische und ökonomische Performance untersucht und dargestellt.

Anlagen:

Die SHC-Systeme bieten eine große Vielfalt an unterschiedlichen Systemdesigns und Anwendungen. In Summe wurden 28 unterschiedliche Systeme analysiert und verglichen. Die folgenden Grafiken zeigen eine Übersicht über die Technologien gruppiert nach der Hauptkomponenten (i) PV: elektrisch angetriebene und photovoltaisch unterstützte Systeme, (ii) ST:

thermische und solarthermisch unterstützte Systeme, (iii) ST+HP: elektrisch angetriebene und solarthermisch unterstützte Systeme und (iv) ST+PV: durch Photovoltaik und Solarthermie unterstützte Systeme gebündelt. Die Anwendungen sind nach dem Energiebedarf von Raumheizung (SH), Kühlung (C) und Warmwasserbereitung (DHW) und verschiedenen Kombinationen daraus zusammengefasst.

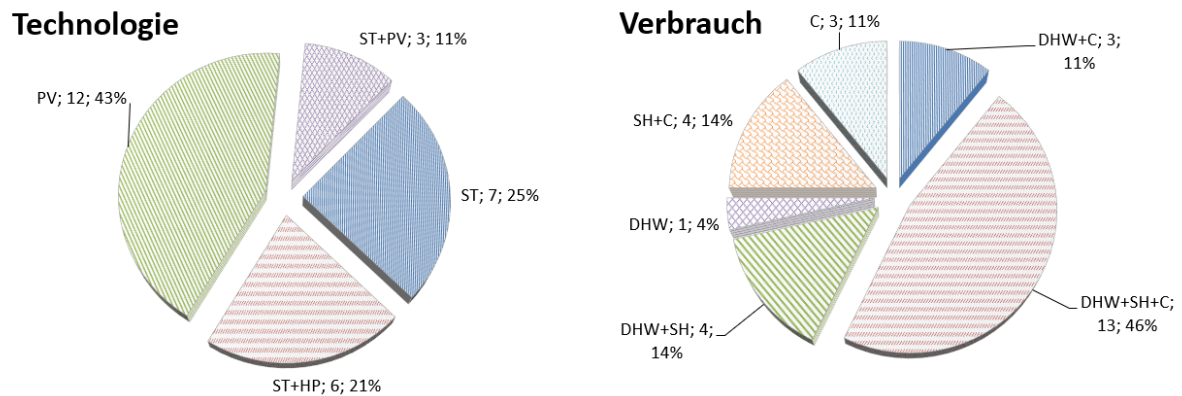


Abbildung 13: Übersicht der ausgewählten Systeme gruppiert nach Technologie sowie Anwendung. (Quelle UIBK)

Etwa die Hälfte der SHC-Systeme nutzt einen solarthermischen Kollektor (13 Systeme, 46%) zur Unterstützung der SHC-Anlage. Sechs nutzen die Solarthermieanlage (ST) in Kombination mit einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe, weitere sieben ST-Anlagen werden in Kombination mit thermischen Backups eingesetzt. Zwölf der analysierten Systeme sind PV-unterstützte Systeme (43%) und weitere drei (11%) nutzen beide Technologien, solarthermische Kollektoren und PV.

Die analysierten Systeme werden von kleinen Anlagen mit einer Gesamtwärme-/Kälteleistung von weniger als 10 kW dominiert (vgl. Abbildung 14) und liefern daher auch im Jahresverlauf eine geringere Energiemenge von weniger als 10 MWh. Bei den kleineren Anlagen handelt es sich hauptsächlich um PV-Anlagen, während die meisten solarthermischen Anlagen eine Energieproduktion von mehr als 100 MWh aufweisen (vgl. Abbildung 15). Bei den mittelgroßen Anlagen dominieren Systeme mit Wärmepumpe in Kombination mit solarthermischen Kollektoren und PV-Systemen.

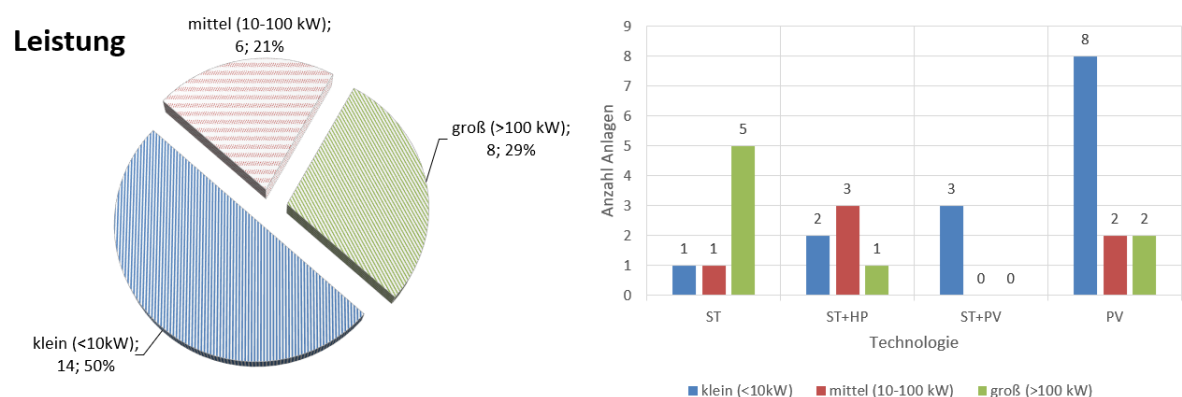


Abbildung 14: Übersicht der ausgewählten Anlagen nach deren Größen/Kapazitäten (Quelle UIBK)

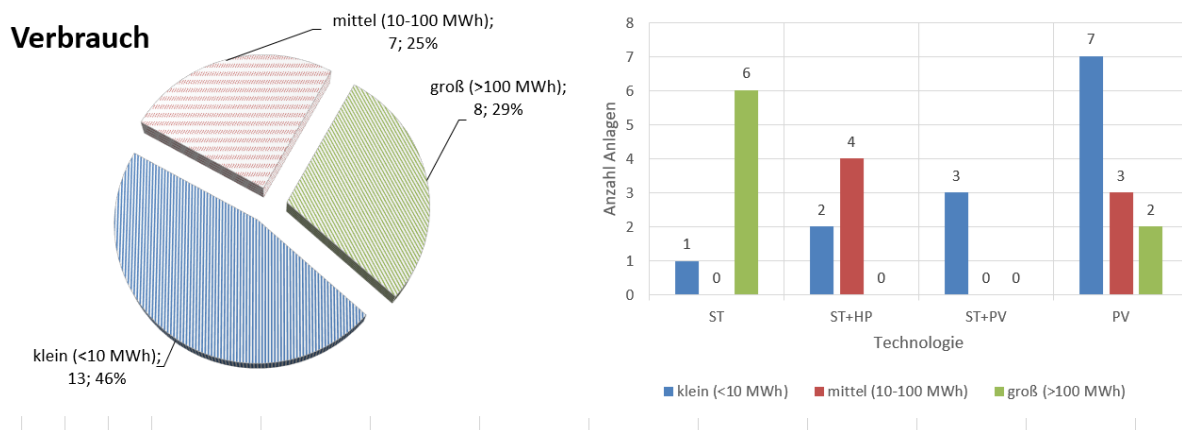


Abbildung 15: Übersicht der Anlagen nach deren jährlichen Energieverbräuchen. (Quelle UIBK)

Ergebnisse

Die Ergebnisse aus der technischen Auswertung ($fsav_{NRE}$) und ökonomischen Auswertung (CR) wurden mittels Punkte-Diagramm gegenübergestellt und entsprechende Trendlinien erstellt.

Trendanalyse

Solarthermische vs. PV SHC System

SHC-Systeme, die Solarthermische (ST) Anlage mit einem zusätzlichen Boiler (Gas, Biomasse, ...) kombinieren, sind kostengünstig bei geringeren Primärenergieeinsparungen (20-40 %). Bei höheren Einsparungen (70-100 %) steigt die Cost Ratio, aber der Trend zeigt, dass der Anstieg geringer ist als bei den Solarthermieanlagen in Kombination mit einer Wärmepumpe. Der Grund dafür ist, dass die Kombination von Solarthermie-Kollektor und Kessel eine effiziente Nutzung beider Technologien ermöglicht. Da sich das SHC-System durch relativ hohe Investitionskosten bei sehr niedrigen Betriebskosten auszeichnet, können sie effizient zur Abdeckung der Grundlast eingesetzt werden. Andererseits zeichnen sich Kessel durch niedrige Investitionskosten, aber relativ hohe Brennstoffkosten aus und sind daher effizienter, um den Spitzenbedarf zu decken. SHC-Anlagen mit Solarkollektoren in Kombination mit einer Wärmepumpe hingegen zeigen einen stärkeren Kostenanstieg bei höheren Primärenergieeinsparungen, da diese Anlagen überwiegend von Investitionskosten dominiert werden.

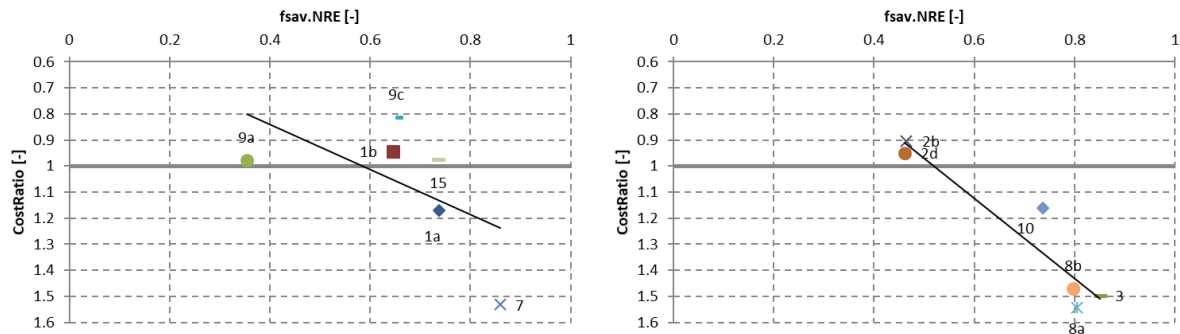


Abbildung 16: Trendanalyse von ST-Anlagen mit Boiler (links) und ST-Anlagen mit Wärmepumpe (rechts) (Quelle UIBK)

In Abbildung 17 sind SHC-Systeme mit kombinierter Nutzung von PV und Solarthermie dargestellt. Da die Anzahl der repräsentativen Systeme sehr gering ist, konnte kein Trend festgestellt werden. Auf der rechten Seite ist der Trend der PV-gespeisten Systeme zu sehen. Es zeigt sich, dass das Kostenverhältnis mit dem Anstieg der nicht-erneuerbaren Primärenergieeinsparungen leicht zunimmt. Einige Beispiele zeigen, dass gut konzipierte PV-gesteuerte Systeme auch bei besserer ökologischer Bilanz kostengünstig sein können. Die Anlagen #6, 11a, 11b sind von diesem Trend ausgeschlossen, da sie als Quelle für Haushaltsstrom dienen und durch die dafür größere Auslegung auch höhere Investitionskosten verursachen.

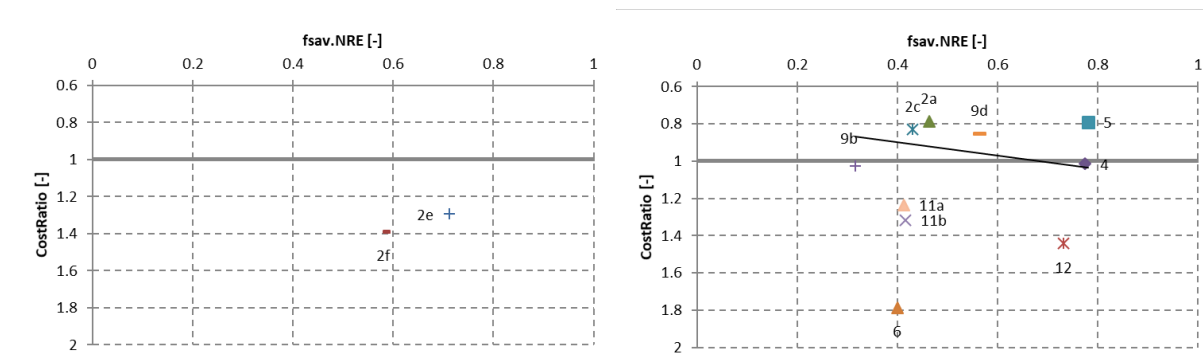


Abbildung 17: Trendanalyse von kombinierten ST+PV Anlagen (links) und PV-basierten Anlagen (rechts). (Quelle UIBK)

Klimatischer Standort: Norden vs Süden

Für diesen Vergleich wurden die Systeme nach südlichem und nördlichem Klima mit typischen Heiz- und Kühllasten eingeteilt.

Der Vergleich in Abbildung 18 zeigt deutlich den Unterschied zwischen den Standorten. Während die im Süden gelegenen Systeme auch bei höheren Primärenergieeinsparungen kostenmäßig mit dem Referenzsystem konkurrieren können, nimmt der CR-Wert für nördliche Systeme stark zu. Hauptgrund für die gute Performance der südlichen Region sind die höheren Solarerträge über das ganze Jahr sowie eine längere Kühlzeit mit höheren Lasten, um die reichlich vorhandene Sonnenenergie im Sommer effizienter zu nutzen.

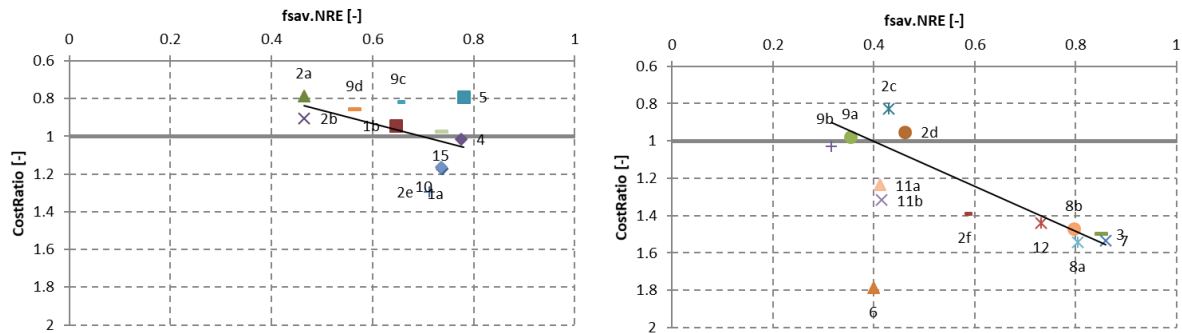


Abbildung 18: Trendanalyse von SHC Anlagen in südlichen (links) und nördlichen Klimaregionen (rechts). (Quelle UIBK)

Solarthermische vs. PV SHC Systeme nach Standort

Wie aus Abbildung 18 ersichtlich hat der Standort der Anlage einen großen Einfluss auf die Performance der Systeme. Daher werden in Abbildung 19 nochmals die ST und PV basierten Systeme unter Berücksichtigung des Standortes verglichen.

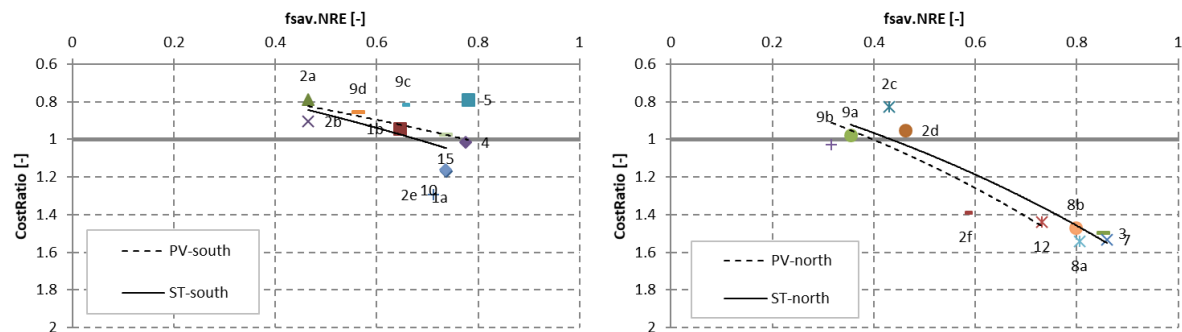


Abbildung 19: Trendanalyse von ST und PV basierten Heiz- und Kühlsystemen eingeteilt nach ihrem Standort in südlichen (links) und nördlichen Klimaregionen (rechts). (Quelle UIBK)

Der Trend in Abbildung 19 für PV und ST unter Berücksichtigung des Standorts ist nahezu gleich. Für den südlichen Standort zeigt der PV-Trend etwas günstigere Kosten, für die nördlichen Standorte ist es umgekehrt und die ST Systeme zeigen die niedrigeren Kosten. Der CR für den südlichen Standort liegt bei fast allen Anlagen <1, während für den nördlichen Standort nur ein System mit geringen Primärenergieeinsparungen gleiche Kosten erreichen kann. Für höhere Primärenergieeinsparungen von 80 % sind mit zusätzlichen Kosten von >40% im Vergleich zum Referenz-Kühl- und Heizsystem zu rechnen.

Sensitivitätsanalyse

Alle dargestellten Ergebnisse der Trendanalyse basieren auf vordefinierten technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen. Wenn sich eine dieser Grenzen ändert, können sich die Ergebnisse mehr oder weniger stark verändern. Anhand einer Sensitivitätsanalyse wurde durch Änderungen der Parameter der Einfluss der Randbedingungen auf die technische sowie ökonomische Performance der SHC Systeme untersucht.

In der Analyse wurden die Parameter Investitionskosten, Systemeffizienz, Energieverbrauch, Strom- und Gaspreis sowie der Primärenergiefaktor variiert. Den größten Einfluss zeigt die Variation der Investitionskosten. Die Sensitivität der Investitionskosten wurde wieder nach der Technologie für die ST- und PV unterstützten Systeme getrennten und unter Berücksichtigung des Standortes in Abbildung 20 dargestellt.

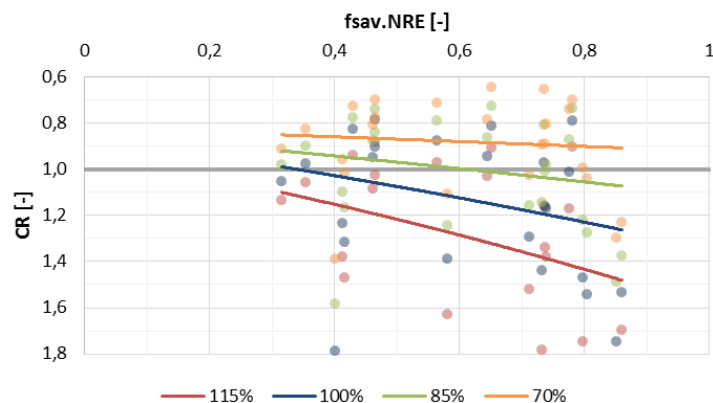


Abbildung 20: Einfluss von Investitionskostenveränderungen auf ST und PV-unterstützte Systeme (Quelle UIBK)

Die ursprüngliche Trendlinie (blau) beginnt mit einer CR von 1 bei 30% Einsparungen und erreicht eine CR von 1,25 bei 90% Einsparungen. Die Veränderung der Investitionen wirkt sich bei größeren Anlagen mit höheren Primärenergieeinsparungen stärker aus. Dementsprechend sind die Trendlinien nicht vollständig parallel.

Bei einer möglichen Senkung der Investitionskosten um 15% (grün), lassen sich im Vergleich zum Referenzsystem Energieeinsparungen von 65 % erzielen (Schnittpunkt $CR = 1$). Wenn die Investitionskosten der SHC-Systeme um 30% (orange) reduziert werden können, fallen selbst bei sehr hohen Primärenergieeinsparungen auch die Gesamtkosten niedriger aus als beim Referenzsystem.

Erkenntnisse

Die intensive Auswertung der Daten zeigen, dass beide Technologien, Solarthermie und PV, gut geeignet sind um ein HLK-System entsprechend zu unterstützen und beide Systeme können mit dem Referenzsystem konkurrieren, wenn sie gut konzipiert sind. Von den 28 analysierten Beispielen erreichen bereits 9 Anlagen eine Kosteneinsparung bei gleichzeitiger Einsparung an Primärenergie im Vergleich zum Referenzsystem.

Im Allgemeinen ist die Wirtschaftlichkeit von SHC-Systemen hauptsächlich von den Investitionskosten abhängig, während die Referenzsysteme von den Brennstoffkosten dominiert werden. SHC-Systeme können daher als kosteneffizient angesehen werden, wenn sie zur Abdeckung der Grundlast und in Kombination mit konventionellen Systemen zur Abdeckung von Spitzenlasten integriert sind. Obwohl aus ökologischer Sicht solar-autonome Systeme von höchstem Interesse sein sollten, muss man mit verhältnismäßig hohen Kosten gerechnet werden.

Daher sollte sich die künftige F&E auf die Senkung der Investitionskosten (Materialien, Massenproduktion, Vereinfachung usw.) konzentrieren. Bisher wurde auf Effizienzmaßnahmen

gesetzt, doch die Ergebnisse zeigen, dass dies nur einen geringen Effekt auf die Gesamtperformance hat.

Die dargestellten Ergebnisse sind nur ein Auszug aus den umfangreichen Untersuchungen. Die vollständigen Ergebnisse stehen als Deliverable C3 auf der Homepage des IEA SHC Task 53 zum Download zur Verfügung (Köll R.& Neyer D. 2018).

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Industrieworkshops

Die Arbeitsgruppe der SHC Task53 hat sich zweimal im Jahr in der Zeit vom März 2014 bis zum Juni 2018 zu zweitägigen Arbeitstreffen getroffen. In vielen Fällen ist es dem Operating Agent und der organisierenden Institution gelungen, sogenannte Industrieworkshops zu organisieren und durchzuführen. Auf solchen Industrieworkshops waren insbesondere Vertreter der Industrie und der lokalen Entscheidungsträger das Zielpublikum. Diese sogenannten Industrieworkshops fanden in der Projektlaufzeit in fünf verschiedenen Ländern statt und wurden in den Städten Rom, Madrid, Messina, Abu Dhabi und Graz durchgeführt. Die österreichischen Teilnehmer der internationalen Arbeitsgruppe waren auf allen Workshops vertreten und konnten durch Vorträge und Diskussionen ihre Forschungsarbeiten darlegen.

Nationaler Workshop

Die österreichischen Teilnehmer der SHC Task 53 haben im Herbst 2018 in Graz einen nationalen Workshop organisiert und durchgeführt. Der Workshop mit dem Titel "Latest Developments and results from SHC Task 53: New Generation Solar Cooling & Heating Systems" wurde im Palais-Hotel Erzherzog Johann Graz am Mittwoch, 3. Oktober 2018 durchgeführt. Die Veranstaltung fand in Kooperation mit der International Sustainable Energy Conference – ISEC 2018 statt. Mit acht Fachvorträgen wurde den Teilnehmern Aktuelles aus Forschung- und Entwicklung sowie aus der Industrie zum Thema ‚Solares Heizen und Kühlen‘ vorgestellt und diskutiert.

Fachvorträge

Für den wissenschaftlichen Ergebnistransfer gab es eine rege Teilnahme der SHC Task53 Arbeitsgruppe auf zahlreichen internationalen Konferenzen. Mit Fachvorträgen zu den erreichten Ergebnissen der Forschungsarbeiten waren auch die österreichischen Teilnehmer auf den wissenschaftlichen Konferenzen vertreten. Die wichtigsten Publikationen sind dem Anhang zu entnehmen.

Lehre

Weiters sind die wissenschaftlichen Mitarbeiter der beteiligten österreichischen Institutionen in die Lehre an Universitäten und Fachhochschulen eingebunden und können somit aus ersten Hand aktuelle Arbeitsergebnisse an die Studierenden weiterberichten. Seit etwa 10 Jahren existiert die Lehrveranstaltung „Innovative Kühlprozesse - Solare Klimatisierung" im Bachelor-Studiengang „Urbane Erneuerbare Energietechnologien" am FH Technikum Wien. Ausgewählte internationale Ergebnisse der verschiedenen SHC Task 53 - Aktivitäten wurden den Studierenden als Lehrstoff zur Verfügung gestellt.

Der Nutzen für die beteiligten Forschungseinrichtungen

Der wissenschaftliche Projektpartner AIT hat mit dem vorliegenden Projekt, die in den letzten Jahren etablierten Forschungsschwerpunkte in den Bereichen „nachhaltige energetische Gebäudekonzepte", „erneuerbares Kühlen im Gebäude" und „bauwerksintegrierte

Solarenergietechnik im urbanen Raum“ erweitert und vertieft. Synergien mit laufenden und abgeschlossenen Projekten konnten genutzt werden. Das Projekt diente dem Zweck, weiterhin wissenschaftliche MitarbeiterInnen auszubilden. Die wissenschaftlichen Einrichtungen konnten durch aktive Teilnahme an der internationalen Arbeitsgruppe SHC Task53 ihre wissenschaftliche Wettbewerbsfähigkeit im nationalen und internationalen Kontext stärken.

Es sind englischsprachige Publikationen entstanden und darüber hinaus, wurde über die Teilnahme an zahlreichen Industrieworkshops die internationale Sichtbarkeit der österreichischen Forschungspartner erhöht. Sie konnten sich somit als Kompetenzpartner für den F&E-Bereich „Solares Kühlen und Heizen“ etablieren.

Aufgrund der finanziellen Unterstützung durch das BMVIT konnte Österreich im Forschungs- und Entwicklungsbereich zur Systemtechnologie ‚Solares Kühlen und Heizen‘ eine langjährige große Expertise aufbauen. Die Mitarbeiter der nationalen Forschungseinrichtungen sind willkommene Partner auf internationaler und europäischer Ebene.

Veröffentlichung über Website

Der hauptsächliche Ergebnistransfer erfolgt über die Informationen und Publikationen der offiziellen Website der SHC Task 53 – siehe <http://task53.iea-shc.org/publications>.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die Arbeitsgruppe der SHC Task 53 hat mehr als vier Jahre in Kooperation mit 22 verschiedenen Organisationen an der Systemtechnologie des solaren Kühlens und Heizens geforscht und Unterstützungsmaßnahmen erarbeitet. Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse sind auf der offiziellen Website der SHC Task 53 veröffentlicht. Der Operating Agent Mugnier hat in Zusammenarbeit mit einigen Partnern am Ende der SHC Task 53 Projektlaufzeit ein Positionspapier [PosPaper2018] formuliert. Dieses Positionspapier skizziert wesentliche Schlussfolgerungen, Empfehlungen und formuliert einen Ausblick der Arbeitsgruppe. Da dieses Dokument zentrale Informationen und Botschaften enthält, wurde dieses Positionspapier zur Formulierung dieses Abschlusskapitel herangezogen.

Einführung und Relevanz

Marktverfügbare Technologielösungen zur Gebäudekühlung sind und bleiben eine Herausforderung in Energienetzen. Die zu erwartende stark steigende Nachfrage nach Kälte- und Klimageräten für die Gebäudekühlung wird in einigen Regionen der Erde zu dramatischen Stromspitzen im elektrischen Netz führen. Neben steigenden Stromkosten sind bereits heute schon Stromausfälle in den USA und in Europa zu beobachten. Der zunehmende Einsatz von klassischer Klima- bzw. Kältetechnik führt zwangsweise zur weiteren Erhöhung von Treibhausgasemissionen, sofern die Stromerzeugung über die Verbrennung fossiler Brennstoffe erfolgt und die verwendeten Kältemittel mit hohem Treibhauspotenzial über Leckagen in die Atmosphäre gelangen. Eine Möglichkeit, diesen Trend umzukehren, ist die Nutzung der Sonnenenergie zum Antrieb des Klima- bzw. Kälteprozesses und die Verwendung natürlicher Kältemittel. Die gute zeitliche (Tag, Jahr) Koinzidenz zwischen der auftretenden Solarstrahlung und dem Profil des Kühlenergiebedarfs in Gebäuden ermöglicht die direkte Nutzung der Sonnenenergie ohne Langzeitspeichersysteme.

Status der Technologie/ Industrie

Unter dem Begriff „solares Klimatisieren und Kühlen“ werden im Wesentlichen zwei Technologiekombinationen verstanden:

- 1) Eine Photovoltaikanlage liefert Strom, um eine Wärmepumpe oder ein Klimagerät mit elektrischer Energie in Betrieb zu setzen.
- 2) Solarthermische Kollektoren liefern Wärme, um eine thermische Sorptionskältemaschine anzutreiben, die konditionierte Luft oder Kaltwasser erzeugt.

Beide Systemlösungen können auch ganzjährig Warmwasser und/oder Raumwärme bereitstellen. Die jeweilig erforderlichen Systemkomponenten sind marktreif. Verschiedene Publikationen der Arbeitsgruppen im Rahmen des IEA Solar Heating and Cooling Programs geben einen guten Überblick über den Stand der Technik und Märkte [Henning 2013].

In den letzten zwei Dekaden wurden mehr als 1.500 solargetriebene Kühlsysteme in Betrieb genommen, die überwiegend solarthermische Kollektoren einsetzen, um Sorptionskältemaschinen

anzutreiben, die wiederum Luft konditionieren oder Kaltwasser zu erzeugen. Deutlich heiße Sommerperioden in Europa sowie der Einsatz natürlicher Kältemittel haben dazu geführt, dass sich das Bewusstsein und das Interesse für solare Kühltechnologien in der Branche erhöht.

Da die Kosten für die Stromerzeugung und -verteilung in Spitzenlastzeiten weiterhin hoch bleiben werden und Stromausfälle häufiger stattfinden werden, nimmt die Attraktivität solarer Kühl- und Heizsysteme zu.

Barrieren und technische Herausforderungen

Derzeit liegen die großen technischen Herausforderungen der solaren Klimatisierung (SAC) auf Systemebene. Viele SAC-Systeme erreichen die möglichen und geplanten Energieeinsparungen nicht. Es werden Planungs- und Installationsfehler gemacht und vielfach führen unsachgemäße Maßnahmen zu überhöhtem Stromverbrauch insbesondere der Hilfskomponenten (Pumpen, Ventilatoren). Ein signifikanter Stromverbraucher ist das Rückkühlsystem (Kühlturm, Hybridkühler etc.), welches die Prozesswärme an die Umgebung abführt. In der Vergangenheit wurde dieser technischen Systemkomponente zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Andere Ansätze zur Planung, Errichtung, Inbetriebnahme und Wartung von SAC Systemen führten zu a) hoher Systemkomplexität, b) inadäquaten Regelungsstrategien und c) hohem Wartungsaufwand. Hauptherausforderungen aus praktischer Sicht sind:

- Die Rückkühlsysteme verbrauchen zu viel Strom, wenn sie nicht richtig bei Teillast geregelt werden. Nasskühltürme mit kleiner Leistung sind teuer und erfordern einen unangemessen hohen Wartungsaufwand. Trockenkühltürme erfordern deutlich weniger Wartungsaufwand, verbrauchen mehr Strom. Oft sind die Rückkühltemperaturen für die Wärmeabfuhr zu hoch und die Energieeffizienz oder die Funktionsfähigkeit des Systems wird negativ beeinflusst.
- Hocheffiziente Hilfskomponenten und eine sorgfältige hydraulische Auslegung sind unerlässlich. Dies ist besonders wichtig, da SAC Systeme mehr Hydraulikkreisläufe aufweisen als Standardsystemlösungen.
- Die Gesamtsystemplanung erfordert unterschiedliche Fachkenntnisse aus verschiedenen Fachbereichen, zum Beispiel Solarsystemtechnik, Heizungs- Lüftungs- und Klimatechnik oder Regelungstechnik.

Eine weitere Barriere zur weiteren Verbreitung von SAC-Anlagen ist ihre Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Standardlösungen. Die Errichtungs- und Investitionskosten für SAC-Anlagen sind 1,5 bis 2,5-mal höher als für konventionelle, hochmoderne AC-Systeme. Mögliche Lösungsansätze sind hier; (i) Konzentration auf mittlere bis große SAC-Anlagen und (ii) weitestgehend standardisierte SAC-Systeme mit hohem Vorfertigungsgrad, um den Planungs- und Installationsaufwand und die Risiken vor Ort zu reduzieren.

Weitere effektive Unterstützungsmaßnahmen liegen in den Händen der Gesetzgeber. Politische und finanziellen Anreizsysteme, die die Kosteneffizienz der SAC-Anlagen entlang des gesamten Lebenszyklus fördern, sind zielführend. Derzeit generieren die erzielbaren Primärenergieeinsparungen und die verminderten Treibhausgasemissionen keinen signifikanten Kosten- bzw. Preisvorteil. Entsprechende Regelwerke, Vorschriften und Richtlinien, die eine hohe Umweltqualität zum Ziele haben, befördern die Wirtschaftlichkeit der SAC-Anlagen.

Potenziale und Handlungsbedarf

Die technologische Entwicklung der solarthermischen Klimatisierung bzw. Kühlung hat sich deutlich verbessert in den letzten Jahren. Infolgedessen hat sich der Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt auf die Systemebene verschoben, beispielsweise sind Empfehlungskataloge für eine fachgerechte Planung und Betriebskontrolle entstanden. Das Gleiche gilt für die PV-gekoppelten SAC-Anlagen, die bereits marktverfügbare, zuverlässige Komponenten der Klimatechnik verwenden und mit kostengünstiger PV ergänzen. Kombinierte, intelligente Systemkonzepte, die die Eigennutzung des vor Ort erzeugten Solarstroms maximieren, tragen dazu bei, die bestehenden Stromnetze deutlich zu entlasten.

Sowohl öffentliche als auch private F&E-Anstrengungen sind erforderlich, um technische Systemlösungen der solaren Klimatisierung zu verbessern. Arbeiten zur Forschung und Entwicklung sollten sich auf vorgefertigte Systemlösungen für den mittleren Leistungsbereich konzentrieren, so dass sich der Planungs- und Konstruktionsaufwand und das Risiko von Installationsfehlern minimiert. Die Vereinfachung der SAC-Systeme bildet die Grundlage, um eine verbesserte Marktverbreitung zu initiieren.

Der Fokus sollte auf Qualitätsverfahren für die Planung, Inbetriebnahme, kontinuierliche Langezeitbeobachtung, Überprüfung und Wartung der Systeme gelegt werden. Die technischen Systemlösungen zur solaren Klimatisierung sind noch nicht in dem Sinne ausreichend entwickelt, dass die Kosten effektiv gesenkt werden. Um die Umwelt- und Kostensenkungspotenziale im vollen Umfang zu erschließen, sind für den signifikanten Rollout von SAC-Anlagen kurzfristig politische und hochwirksame Unterstützungsmaßnahmen notwendig. Die Unterstützungsmechanismen sollten sowohl die thermische als auch die elektrisch angetriebenen SAC-Systemlösungen umfassen, so dass der vermehrte Einsatz von solaren Heiz- und Kühlsysteme (SHC) die politischen Energie- und Klimaziele wirksam unterstützt.

Maßnahmen zur Unterstützung einer nachhaltigen Marktentwicklung sind von größter Bedeutung. Unabhängig von der Förderform (z.B. Direktzuschüsse, Steueranreize, Mindestanteil erneuerbarer Energie bei Gebäuden), ist es von größter Bedeutung, eine Stop-and-Go-Unterstützung zu vermeiden, diese schadet dem Markt mehr, als sie hilft.

Zielführend ist eine Ausschöpfung der Anreizmöglichkeiten durch Steuergutschriften bzw. -befreiung oder durch Förderungsprogramme zur Errichtung von SAC-Anlagen (insbesondere in Ländern, in denen Strom stark subventioniert wird, z.B. in einigen Ländern der MENA-Region). Für diese Länder verringern sich Steuereinnahmen durch die Stromeinsparungen aus dem Betrieb von SAC-Anlagen.

Die Förderprogramme sollten Anreize zur Umsetzung von Großanlagen setzen mittels: a) finanzieller Anreize und b) Vorgabe von Qualitätssicherungsanforderungen, die die Einführung fördern und das Umsetzungsrisiko verringern.

Maßnahmen sollten auf regionaler und nationaler Ebene organisiert werden. In Österreich ist davon auszugehen, dass in den kommenden Dekaden die Gebäudekühlung insbesondere in den größeren Städten ein zunehmend relevantes Energie- und Klimaschutzthema werden wird. Die Anzahl der Tropennächte in Wien nehmen zu [APCC 2014]. Neubauten insbesondere für den Bürobau und den

Dachgeschossausbau im Wohnbau werden mit Klimageräten ausgestattet, da passive Kühltechnologien nicht mehr ausreichend wirken.

Weiteres ist die Kombination von Solartechnik und Klima- bzw. Klimatechnik in jenen Regionen der Welt eine echte Technologiealternative, in denen die Gebäudeklimatisierung einen massiven Energieverbrauch darstellt und ein zukünftiges signifikantes Marktwachstum aufweist (z.B. Mittlerer Osten, Indien, China, Indonesien, Sun Belt in den USA, Australien).

Literaturverzeichnis

- [OECD/IEA 2018] OECD/IEA (2018): The Future of Cooling. Opportunities for energy-efficient air conditioning. Edited by IEA Publications, International Energy Agency.
- [SHC Task38]: Official Website der SHC Task38 <http://task38.iea-shc.org/> (abgerufen am 13. September 2019; 10:00)
- [SHC Task48]: Official Website der SHC Task48 <http://task48.iea-shc.org/> (abgerufen am 13. September 2019; 10:34)
- [SHC Task53]: Official Website der SHC Task53 <http://task53.iea-shc.org/> (abgerufen am 6. September 2019; 10:00)
- [PosPaper 2018] Neyer D., Mugnier D. et al: Solar Heating and Cooling & Solar Air-Conditioning Position Paper, November 2018. Published on <http://task53.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Solar-Heating-and-Cooling-Solar-AC-Position-Paper-summary.pdf> (abgerufen am 6. September 2019; 10:07)
- [Design Guide 2017]: "The Solar Cooling Design Guide, Case Studies of Successful Solar Air Conditioning Design" 2017, Herausgeber: Mugnier D., Neyer D., White S.; 152 Seiten, Verlag Ernst & Sohn, ISBN 978-3-433-60686-5
- [APCC 2014] APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2
- [M2030] #mission2030, Die österreichische Klima- und Energiestrategie, Herausgeber: BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE, Wien, Juni 2018
<https://mission2030.info/wp-content/uploads/2018/10/Klima-Energiestrategie.pdf>
(abgerufen am 6. September 2019; 12:28)
- [Henning 2013] Hrsg. Henning H.-M., Motta M., Mugnier D.: 'Solar Cooling Handbook: A Guide to Solar Assisted Cooling and Dehumidification Processes, Ambra Verlag, Auflage 1, 2013, 368 Seiten ISBN-13: 978-3-99043-438-3
- [Status 2015] Mugnier, Daniel; Jakob, Uli (2015): Status of solar cooling in the World. Markets and available products. In WIREs Energy Environ 4 (3), pp. 229–234. DOI: 10.1002/wene.132
- [EN 14825] DIN EN 14825: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und –kühlung – Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen und Berechnung der saisonalen Arbeitszahl, Normausschuss Kältetechnik (FNKä), 2013

- [ISO 16538] International Standard ISO 16538-1:2013: Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps – Testing and calculation methods for seasonal performance factors. Part 1: cooling seasonal performance factor, ISO, 2013
- [Inspire] iNSPiRe Project www.inspirefp7.eu The research leading to the results exposed has received funding from the European Commission's 7th Framework Programme 2007-2013 under GA n° 314461.
- [EvaSolk 2013] Wiemken, E. and Safarik, M. et al.: EvaSolk – Evaluierung der Chancen und Grenzen von solarer Kühlung im Vergleich zu Referenztechnologien – Schlussbericht, 2013
- [KöllNeyer 2018] Köll R., Neyer D., "Monitoring data analysis on technical issues & on performances", Deliverable D_C.3 of the SHC Task 53, June 2018 Task 53
<http://dx.doi.org/10.18777/ieashc-task53-2019-0011> (abgerufen am 16. September 2019; 10:00)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung von Mono-Split-Geräten in den beiden Betriebsmodi Kühlen (links) und Heizen (rechts). (Quelle ILK Dresden)	20
Abbildung 2: Dargestellt sind berechnete Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) Werte zu verschiedenen nominellen Kühlleistungen. Untersucht wurden vier verschiedene hoch-effiziente, marktverfügbaren Mono-Split-Geräten. Die verfügbaren Produkte erreichen SEERs bis zu 9,5, was der Energiekennzeichnung A+++ entspricht. (Quelle: ILK Dresden)	21
Abbildung 3: Technisches Schema eines Multi-Split-Gerätes zum Heizen und Kühlen (Quelle: ILK Dresden)	22
Abbildung 4: Schematische Darstellung eines VRF-Gerätes als Dreileitersystem im Kühlbetrieb mit seinen Hauptkomponenten und Hilfsgeräten. In diesem Fall arbeitet der Wärmetauscher des Außengerätes als Kondensator, während die Wärmetauscher der Innengeräte als Verdampfer fungieren (Quelle: Hochschule München).	23
Abbildung 5: Schematische Darstellung eines VRF-Gerätes als Dreileitersystems im Heizbetrieb. Alle drei Innengeräte geben die Kondensationswärme an die Räume ab. Das Außengerät funktioniert als Verdampfereinheit (Quelle: Hochschule München).	24
Abbildung 6: Schematische Darstellung eines VRF-Systems als Dreileitersystems im Wärmerückgewinnungsmodus. Ein Innengerät kühlt einen Raum während die andere Räume über die zwei weiteren Innengeräte beheizt werden (Quelle: Hochschule München).	24
Abbildung 7: Darstellung der aus Kennzahlen extrahierten Leistungszahlen (EERc/COPh) für Heizen und Kühlen für drei verschiedene VRF- 3-Leiter-Systeme in Abhängigkeit ihrer nominellen Leistung. Randbedingungen: a) Kühlfall: Innenraumlufttemperatur 27°, Außenlufttemperatur 35°C und b) Heizfall: Innenraumlufttemperatur 20°, Außenlufttemperatur 7°C (Quelle Hochschule München).	25
Abbildung 8: Simplifizierte schematische Darstellung zur raschen visuellen Erfassung des Anlagenkonzeptes einer solaren Kühl- und Heizsystems (Quelle: AIT)	27
Abbildung 9: Simplifizierte schematische Darstellung zur raschen visuellen Erfassung eines Referenzsystems zum Lüften und Kühlen. Das Kaltwasser wird über eine klassische Kompressionskältemaschine bewerkstelligt, die ihrerseits elektrische Antriebsenergie aus dem Netz bezieht (Quelle AIT).	28
Abbildung 10: Fotografie des Test-Mock-Up der COOLSKIN-Fassade auf dem Testgelände der Technischen Universität Graz (Quelle: TU Graz).	29
Abbildung 11: Simplifizierte schematische Darstellung zum COOLSKIN-System. In die Fassade (rohe Rahmenfarbe der Kästchen) sind sowohl die Photovoltaikmodule als auch die Wärmepumpen- und Lüftungseinheit integriert. Mit dem COOLSKIN System wird ein Büroraum solarautonom gekühlt (Quelle AIT).	30
Abbildung 12: Schema der maximal möglichen Komponenten eines SHC-Systems die im Auswerte-Tool berücksichtigt werden können	32
Abbildung 13: Übersicht der ausgewählten Systeme gruppiert nach Technologie sowie Anwendung.	41
Abbildung 14: Übersicht der ausgewählten Anlagen nach deren Größen/Kapazitäten	41

Abbildung 15: Übersicht der Anlagen nach deren jährlichen Energieverbräuchen.	42
Abbildung 16: Trendanalyse von ST-Anlagen mit Boiler (links) und ST-Anlagen mit Wärmepumpe (rechts)	43
Abbildung 17: Trendanalyse von kombinierten ST+PV Anlagen (links) und PV-basierten Anlagen (rechts).	43
Abbildung 18: Trendanalyse von SHC Anlagen in südlichen (links) und nördlichen Klimaregionen (rechts).	44
Abbildung 19: Trendanalyse von ST und PV basierten Heiz- und Kühlsystemen eingeteilt nach ihrem Standort in südlichen (links) und nördlichen Klimaregionen (rechts).	44
Abbildung 20: Einfluss von Investitionskostenveränderungen auf ST und PV-unterstützte Systeme	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der neun untersuchten VRF-Geräte von drei unterschiedlichen Herstellern. 25

Abkürzungsverzeichnis

C	Kühlung
COPh	Coefficient of Performance (heating)
CR	Cost Ratio - Relatives Kostenverhältnis der annualisierten Kosten
DHW	Warmwasserbereitung
EERc	Energy Efficiency Ratio (cooling)
el	Elektrisch
F&E	Forschung und Entwicklung
fsav	Relative Primärenergieeinsparung
IEA	International Energy Agency
LZA	Lebenszyklusanalyse
NRE	Nicht-erneuerbare Energie
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
PER	Verhältnis der Primärenergie
PF	Produktionsfaktor
PV	Photovoltaik
SAC	Solare Klimatisierung, solar air-conditioning
SCOP	Der gesamte saisonale Leistungskoeffizient für eine Wärmepumpe wird als Seasonal Coefficient of Performance
SEER	Der gesamte saisonale Leistungskoeffizient zu elektrisch angetriebenen Kaltwassersätze als Seasonal Energy Efficiency Ratio
SH	Solar Raumheizung (Solar Heating)
SHC	Solar Heating & Cooling
SPF	Arbeitszahl - Seasonal Performance Factor
SPFequ	Elektrisch äquivalente Arbeitszahl
ST	Solarthermie
TCP	Technology Collaboration Programme

th

Thermisch

VRF

Variable Refrigerant Flow

Anhang

Ausgewählte Publikationen

- T. Selke, T. Schlager, M. Rennhofer, A. Heinz, D. Brandl, T. Mach: „MULTI-FUNCTIONAL FAÇADE WITH PV FOR SOLAR AUTONOMOUS COOLING APPLICATIONS“, ISES Solar World Congress 2017, IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry © 2017, Published - July 2018 on ISES Solar World Congress 2017 - Abu Dhabi, United Arab Emirates, 29 Oct 2017 → 2 Nov 2017
- Selke, T.: "Autarkic cooling via building skins -Results from Coolskin-project", Fachvortrag auf dem Solar Cooling Workshop der IEA SHC Task 53 New Generation Solar Cooling & Heating Systems (PV or solar thermally driven systems), ILK Dresden, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden, 12. April 2018
- Neyer, D.: Current Status of Solar Air Conditioning - Findings and Feedback from IEA SHC Task 53. Keynote lecture @ 12th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry (Eurosun 2018), Rapperswil, 12.09.2018.
- Neyer D., Thür A.: "Technical and Economic Performance of Best Practice SHC Plants – A Compilation of IEA SHC Task 53 Results", Eurosun 2018, Rapperswil, Schweiz
- Neyer D.: "NEW GENERATION SOLAR COOLING AND HEATING – EXPERIENCES FOR SUCCESFULL DESIGN AND OPERATION", ISEC 2018, Graz
- Neyer D.: "Daniel Neyer (Neyer Brainworks, Österreich), technisch-ökonomische Bewertung der neuen Generation von PV-getriebenen Heiz- und Kühlsystemen", Webinar der IEA SHC Solar Academy: "New Generation Solar Cooling and Heating" am 19.9.2018, IEA SHC Solar Academy, <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/veranstaltungen/2018/20180919-solar-academy.php>
- D.Neyer: „New Generation Solar Cooling & Heating Systems – Highlights aus dem IEA SHC Task 53“, IEA-Vernetzungsworkshop 2017 in Salzburg.
- Daniel NEYER, Manuel OSTHEIMER, Chiara DIPASQUALE, Rebekka KOELL; "Technical and economic assessment of solar heating and cooling – methodology and examples of IEA SHC Task 53", Solar Energy Journal Volume 172, Part 1, Pages 90-101
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.02.070>
- Daniel NEYER, Daniel MUGNIER, Stephen WHITE; "10 key principles for successful solar air conditioning design – a compendium of IEA SHC Task 48 experiences"; Solar Energy Journal Volume 172, Part 1, Pages 78-89, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.086>
- Daniel Neyer, Rebekka Köll; "Sensitivity analysis on the technical and economic performance of thermal and PV driven solar heating and cooling systems" ISES Solar World Conference 2017 / SHC Conference 2017, Abu Dhabi

- Epp, Baerbel; Neyer, Daniel (2018): Quality principles for solar air conditioning systems. <https://www.solarthermalworld.org/content/quality-principles-solar-air-conditioning-systems>
- Mugnier, Daniel; Neyer, Daniel; Epp, Bärbel (2018): Next Generation Cooling & Heating Systems. In: Solar Update. IEA SHC Newsletter 68, S. 2 - 4. (<http://iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/2018-12-Solar-Update-Newsletter.pdf>)
- Neyer, Daniel; Koell, Rebekka; Thür, Alexander (2019): IEA SHC Task 53 Highlights. T53E4 Tool – To Assess a System’s Technical and Economic Potential. <http://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Task53-Highlights-2018.pdf>



**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

bmk.gv.at