

1. Vorbemerkung und Zielsetzung

In einer Studie kommt das Internationale Institut für Kältetechnik (IIR), Paris, zu dem Ergebnis, dass weltweit rund drei Milliarden Kälte- und Klimasysteme betrieben werden und diese etwa 17 % des weltweit produzierten Stroms verbrauchen /1/. Weitere Studien prophezeien für die kommenden Jahre weltweit einen drastischen Anstieg der Kälte- und Klimatechnik:

Einen Blick ins Jahr 2030 wirft zum Beispiel eine Vorstudie zur Ökodesign-Verordnung 2281/2016, die seit 2018 für Raumklimageräte mit Leistungen über 12 kW (Multisplit/VRF), Wasserkühlsätze und Prozess-Wasserkühler gilt /2/. In dieser Studie wird dargestellt, dass die genannten Produkte im Jahr 2010 europaweit einen elektrischen Gesamtenergieverbrauch von knapp 200 Mrd. kWh hatten (Prozess-Wasserkühlsätze 97 Mrd. kWh, Raumklimageräte und Wärmepumpen 70 Mrd. kWh, Wasserkühlsätze 32 Mrd. kWh). Da für diese Geräte bis 2030 ein deutliches Marktwachstum vorhergesagt wird (siehe Tabelle 1), soll durch die Umsetzung der Ökodesign-Verordnung und den darin geforderten Effizienzsteigerungen für die Geräte deren Gesamtenergieverbrauch begrenzt werden.

	2010	2020	2030	
Wasserkühlsätze	1.468	2.161	2.616	in 1.000 Stück
	176	253	295	in Mio. kW
Raumklimageräte > 12 kW	5.687	7.312	8.213	in 1.000 Stück
	130	171	188	in Mio. kW
Prozess-Wasserkühler	340	421	473	in 1.000 Stück
	134	166	186	in Mio. kW

Tabelle 1:

Marktentwicklungen für Wasserkühlsätze, Raumklimageräte und Prozess-Wasserkühler von 2010 bis 2030 im Hinblick auf die EU-weit installierten Stückzahlen (je obere Zeile) und die damit einhergehenden installierten elektrischen Leistungen (je untere Zeile) /2/

Gemäß Tabelle 1 steigt vom Basisjahr 2010 die elektrische Gesamt-Anschlussleistung der Geräte von 440 Mio. kW über 2020 (590 Mio. kW) auf 669 Mio. kW im Jahr 2030. Das entspricht einer Zunahme um 52 %. Und da diese Geräte dann entsprechend mehr Strom verbrauchen, mit dessen Erzeugung auch die CO₂-Emissionen steigen, sah die EU-Kommission bei diesen Geräten im Hinblick auf das Erreichen der vorgegebenen Klimaschutzziele einen dringenden Handlungsbedarf.

Noch drastischer sieht der Bericht „World set to use more energy for cooling than heating“ die künftige Entwicklung der Kälte- und Klimatechnik für Wohnungen, Büro- und Gewerbebauten, Industrie, Rechenzentren, Reinräume und die Lebensmittelwirtschaft. "Sie wird in den kommenden Jahrzehnten exponentiell zunehmen", prognostiziert der auf www.theguardian.com veröffentlichte Beitrag /3/ und nennt folgende Zahlen:

■ Bereits heute ist der Stromverbrauch zum Betrieb von Klimaanlage in den USA so groß wie der Stromverbrauch in ganz Afrika. Dieser Bedarf für Klimaanlagestrom soll in den USA von 300 Mrd. kWh (2000) auf 4.000 Mrd. kWh (2050) und 10.000 Mrd. kWh (2100) steigen. Zum Vergleich: In ganz Deutschland wurden von 2016 bis 2018 je rund 600 Mrd. kWh Strom verbraucht.

■ Ab etwa 2050 wird der weltweite Energieverbrauch für Kälte und Klima den Heizenergieverbrauch übertreffen. Bis 2100 wird der globale Energieverbrauch zur Klimatisierung im Vergleich zu heute um den Faktor 33 zunehmen.

Nahezu alle Systeme zur Kühlung und Klimatisierung benötigen, unabhängig von deren Größen, Leistungen und Einsatzbereichen, zum Betrieb elektrische Leistung und arbeiten derzeit mit synthetischen Kältemitteln. Ausnahmen davon sind lediglich zum Beispiel Wasserkühlsätze mit natürlichen Kältemitteln (zum Beispiel Ammoniak, CO₂, Propan, Propen, Isobutan), die direkte Nutzung von See- oder Grundwasser, von geothermischer Energie zur Kühlung (nur Pumpenleistung) sowie Ab- und Adsorptionskältesysteme, die mit Wärme als Antriebsenergie arbeiten und nur eine geringe elektrische Leistung benötigen.

Die Erzeugung von Strom ist jedoch, trotz der zunehmenden Anteile an regenerativen Energien (Biomasse, Wind, Wasser, Solar, Geothermie), aufgrund der weiterhin dominierenden Verbrennung von fossilen Energieträgern in Kraftwerken (Kohle, Gas, Öl) mit hohen Treibhauspotenzialen belastet. In Deutschland beträgt dieser Wert, festgelegt vom Umweltbundesamt (2018), knapp 0,5 kg CO₂-Emissionen pro erzeugte kWh Strom. Gleichzeitig tragen auch Leckagen von synthetischen Kältemitteln aus Kälte- und Klimasystemen, die dann in die Umgebung gelangen, über ihr Treibhauspotenzial (GWP-Wert = Global Warming Potenzial) zur Belastung der Umwelt bei - und zwar pro kg bis 4.000 Mal stärker als CO₂.

Somit besteht aufgrund der zuvor geschilderten Szenarien und Prognosen weltweit ein immenser Bedarf an ökologischen Kälte- und Klimasystemen, die die Umwelt dann deutlich weniger belasten als die heutigen, konventionellen strombetriebenen Anlagen.

In zentralen Lüftungs- und climatechnischen Anlagen, die zum Beispiel in Büro-, Gewerbe- und Infrastrukturgebäuden, in der Industrie, zur Lagerung von Waren und zur Abführung von Wärme aus Rechenzentren betrieben werden, muss die angesaugte, im Sommer warme Außenluft auf einen gewünschten (kühleren) Zuluftzustand konditioniert werden. Die Luftkonditionierung berücksichtigt die Prozesse Erwärmen, Kühlen, Be- und Entfeuchten. Zum Kühlen und Entfeuchten der Außenluft auf den Zuluftzustand werden bislang fast ausschließlich Wasserkühlsätze eingesetzt. Diese arbeiten zwar gut und sicher, erreichen gute Leistungs- und Arbeitszahlen (Verhältnis von erzeugter Kälteleistung/Energie zur aufgenommenen elektrischen Leistung/Energie), und sind auch sehr gut in Abhängigkeit vom aktuellen Bedarf in ihrer Leistung regelbar. Aber sie verbrauchen zum Betrieb viel Strom und werden meist mit synthetischen, stark treibhausaktiven Kältemitteln betrieben. Hier hat besonders die seit 2015 begonnene Umsetzung der novellierten europäischen F-Gase-Verordnung zwar eine Trendwende hin zu Techniken und Anlagen mit geringeren ökologischeren Auswirkungen eingeleitet (Pflicht zum Einsatz von Gering-GWP-Kältemitteln), doch die Realisierung wird noch viele Jahre dauern.

Zu dieser energieintensiven Luftkühlung in RLT-Geräten mit Wasserkühlsätzen bietet die indirekte Verdunstungskühlung eine hervorragende ökologische und auch ökonomische Alternative. Das Ziel der Verdunstungskühlung besteht darin, durch den Einsatz von Wasser, das im Luftstrom verdampft, warme Luft abzukühlen. Dieser Prozess wird in den Kapiteln 2 bis 4 ausführlich beschrieben. Dadurch können die ansonsten zur Luftkühlung eingesetzten Wasserkühlsätze substituiert oder zumindest deren Leistungen deutlich verringert werden. So werden elektrische Energie und CO₂-Emissionen eingespart und

Kältemittlemissionen aus Wasserkühlsätzen in die Umgebung verringert. Insofern kann die indirekte Verdunstungskühlung zur Luftkühlung und Klimatisierung einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz leisten. Zu diesem Ergebnis kommt auch Dipl.-Ing. Matthias Kabus, EnergieAgentur NRW, in seinem Aufsatz „Klimatisieren durch Verdunstungskälte“ in der Fachzeitschrift IKZ /4/. Zitat: „Bislang werden bei herkömmlichen Klimatisierungen in der Regel elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen eingesetzt. Der große Vorteil der Verdunstungskühlung liegt in der Reduzierung der Betriebskosten. Betrachtet man die Gesamtkosten (Investition, Betriebs- und Wartungskosten), so können durch die Verdunstungskühlung die Kosten für die Klimatisierung bis auf ein Drittel der Kosten durch Kompressionskältemaschinen gesenkt werden.“ Darüber hinaus wird die indirekte Verdunstungskühlung auch in mehreren technischen Regeln als Alternative zur mechanischen Kälteerzeugung empfohlen (siehe Kapitel 8).

Den "Ritterschlag" als besonders effizientes und ökologisches Luftkühlssystem erhielt die indirekte Verdunstungskühlung vom Bundesumweltministerium. Dieses beschloss auf Antrag einer LÜKK-Expertenarbeitsgruppe (inklusive des Verfassers), ab 2019 die Verdunstungskühlung in Ergänzung zu neuen ökologischen Kälte- und Klimasystemen, die ausschließlich mit natürlichen Kältemitteln betrieben werden dürfen, mit in die überarbeitete BAFA-Förderrichtlinie Kälte-Klima aufzunehmen und solche Anlagen zu bezuschussen (siehe Kapitel 6 und /5/). Dadurch ergeben sich verminderte Investitionskosten um etwa 20 bis 25 % und eine deutliche Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Verdunstungskühlung.

Alle diese Themen werden in der Broschüre erläutert und vertieft. Die wesentlichen Ziele dieser Broschüre bestehen darin, in Theorie und Praxis (auch mit vielen Beispielrechnungen) aufzuzeigen,

- wie das Prinzip der Verdunstungskühlung generell funktioniert,
- anhand von typischen Beispielen zu Systemen, die alle bereits von mehreren Herstellern angeboten werden, darzustellen, welche verschiedenen Arten der indirekten Verdunstungskühlung es gibt und wie diese in zentralen RLT-Geräten eingesetzt werden und arbeiten (die Anbieter werden in einer Übersicht im Anhang 1 aufgelistet),
- welche Kälteleistungen (kW) und Kälteenergien (kWh) zur Luftkühlung mit solchen Systemen erreicht werden können und welche Betriebsparameter diese Leistungen positiv und negativ beeinflussen,
- wo die Verdunstungskühlung besonders effektiv eingesetzt werden kann (Substitution der Kälteerzeugung mit elektrisch betriebenen Wasserkühlsätzen) und welche Einsparpotenziale (Energie und Wirtschaftlichkeit) und positive Umwelteffekte (Ökologie) sich dabei ergeben,
- auf welche Weise und in welcher Höhe (€) die indirekte Verdunstungskühlung vom BAFA gefördert wird,
- wie Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien sowie Energiepreise die Marktchancen der indirekten Verdunstungskühlung beeinflussen.

Ich wünsche Ihnen mit dieser Broschüre eine interessante Lektüre, die Sie hoffentlich dazu anregt, bei Ihrem nächsten RLT-/Klima-Projekt ein System der indirekten

Verdunstungskühlung mit in die nähere Auswahl an Kälte- und Klimaalternativen einzubeziehen und auszuprobieren.

Mein Dank gilt besonders Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup sowie Christian Bremer, Ingo Kotting, Hermann Ensink und Frank Ernst für die freundliche und hilfreiche Unterstützung bei der Erstellung dieser Broschüre. Sie haben mir mit Anregungen und mit Berechnungen zu den Leistungen ihrer Systeme geholfen und das Projekt auch mit begleitenden Abbildungen unterstützt.

Ihr

Dr.-Ing. Manfred Stahl
Herausgeber cci Zeitung
manfred.stahl@cci-dialog.de