

TEXTE

42/2024

Hintergrundbericht

Blauer Engel Flüssigkeitskühler

von:

Björn Nienborg, Thore Oltersdorf, Moritz Schmidberger, Lena Schnabel
Fraunhofer ISE, Freiburg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 42/2024

Hintergrundbericht

Blauer Engel Flüssigkeitskühler

von

Björn Nienborg, Thore Oltersdorf, Moritz Schmidberger,
Lena Schnabel

Fraunhofer ISE, Freiburg

Finanziert durch die RAL gemeinnützige GmbH
Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstr. 2
79110 Freiburg

Abschlussdatum:

August 2023

Redaktion:

III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen
Dr. Diana Thalheim
Dr. Daniel de Graaf

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Blauer Engel Flüssigkeitskühler

Dieser Hintergrundbericht hat zum Ziel, die Informationsgrundlage für die Entwicklung von Vergabekriterien für ein neues Umweltzeichen Blauer Engel für Flüssigkeitskühler mit natürlichen Kältemitteln sowie dessen Etablierung am Markt zu schaffen. Neben einer Definition des Begriffs Flüssigkeitskühler umfasst der Bericht daher einen Überblick zum Markt in Deutschland und Europa sowie zu bestehenden regulatorischen Anforderungen an die Technologie. Weiter werden die für ein Umweltzeichen relevanten Eigenschaften beleuchtet. Dies sind insbesondere Energieeffizienz und Schallemissionen, schließt aber auch das Umweltentlastungspotenzial aufgrund des Ersatzes synthetischer durch natürliche Kältemittel ein. Eine Übersicht der Marktakteure (Unternehmen und Verbände), welche im Zuge der Kriteriendefinition angesprochen wurden, schließt diesen Bericht ab.

Abstract: Blue Angel for chillers

The objective of this background report is to provide the information basis for the development of criteria for a new Blue Angel ecolabel for chillers with natural refrigerants and its establishment on the market. In addition to a definition of the term chiller, the report therefore includes an overview of the market in Germany and Europe as well as existing regulatory requirements for the technology. Furthermore, the characteristics relevant for an ecolabel are examined. These are, in particular, energy efficiency and noise emissions, but also include the potential for reducing the environmental impact by replacing synthetic refrigerants with natural ones. An overview of the market players (companies and associations) who were approached in the course of the definition of the criteria concludes this report.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Zusammenfassung.....	11
Summary.....	12
1 Einführung.....	13
1.1 Motivation.....	13
1.2 Technologische Einordnung.....	13
2 Marktüberblick.....	15
2.1 Elektrische Flüssigkeitskühler.....	15
2.1.1 Europa.....	15
2.1.1.1 Marktvolumen.....	15
2.1.1.2 Stückzahlen Bestand / jährlich.....	16
2.1.1.3 Kältebedarf / Energie.....	16
2.1.1.4 Kältemittel.....	16
2.1.2 Deutschland.....	17
2.1.2.1 Marktvolumen.....	17
2.1.2.2 Energiebedarf.....	17
2.1.2.3 Stückzahlen Bestand / jährlich.....	17
2.1.2.4 Kältemittel.....	18
2.1.2.5 Import und Export von Flüssigkeitskühlern.....	19
2.2 Thermische Flüssigkeitskühler (Sorptionskälteanlagen).....	20
3 Definition Geltungsbereich.....	22
3.1 Bestehende Definitionen für Flüssigkeitskühler aus Normen und Literatur.....	22
3.2 Definition und Geltungsbereich für das Umweltzeichen Blauer Engel.....	23
4 Mindestvorgaben durch nationale und europäische Gesetzgebung.....	25
5 Existierende Zertifizierungen und Umweltzeichen.....	30
6 Ausgewählte technische Eigenschaften elektrischer Flüssigkeitskühler.....	31
6.1 Typische Effizienzen und beste verfügbare Technologie.....	31
6.2 Schallemissionen.....	37
7 Darstellung der Umweltentlastungspotentiale durch die Verwendung natürlicher Kältemittel..	38
7.1 Methodik zur Bewertung der Treibhausgasemissionen.....	38
7.2 Eingangswerte für die Bewertung der Treibhausgasemissionen.....	40

7.3	Ergebnisse	44
8	Ermittlung der umweltzeichenrelevanten Kriterien	47
9	Ermittlung des potenziellen Zeichennehmerinteresses.....	48
9.1	Herstellerauswahl	48
9.2	Durchführung.....	49
10	Literatur	50
Anhang A	52
Anhang B: Vergabegrundlage.....		53
1.1	Vorbemerkung	56
1.2	Hintergrund.....	56
1.3	Ziele des Umweltzeichens.....	56
3.1	Kältemittel.....	57
3.2	Energieeffizienz	57
3.2.1	Elektrisch angetriebene Flüssigkeitskühler.....	57
3.2.2	Thermisch angetriebene Flüssigkeitskühler (Sorptionskälteanlagen)	59
3.3	Geräuschemissionen	61
3.4	Anforderung an die Herstellung.....	62
3.5	Sicherstellung eines effizienten Betriebs.....	62
3.5.1	Installations-, Inbetriebnahme- sowie Wartungsanleitung	62
3.5.2	Möglichkeit des Fernzugriffs durch den Hersteller.....	62
3.6	Ausblick	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anteile des Europäischen Marktes der Flüssigkeitskühler 2019 in Prozent (3).	16
Abbildung 2:	Darstellung des deutschen Marktes für FK in Mio. €.	20
Abbildung 3:	Kälteleistungsbereich verfügbarer Sorptionskälteanlagen	21
Abbildung 4:	Übersicht der einzelnen Definitionen aus Normen und Richtlinien	23
Abbildung 5:	Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad von luftgekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung nach Kältemittelart	31
Abbildung 6:	Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad von wassergekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung nach Kältemittelart	32
Abbildung 7:	SEPR (HT) von luftgekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung	33
Abbildung 8:	SEPR (HT) von wassergekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung	34
Abbildung 9:	SEPR (MT) von luftgekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung (16)	35
Abbildung 10:	SEPR (MT) von wassergekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung (16)	35
Abbildung 11:	Abweichung zwischen SEPR (HT) und SEER für über 6000 nach Eurovent vermessene luftgekühlte Flüssigkeitskühler	36
Abbildung 12:	Schalleistungspegel von Flüssigkeitskühlern in Abhängigkeit der Nominalleistung bei W12-7 (logarithmische Skalierung) ...	37
Abbildung 13:	Zusammenhang zwischen Füllmenge und Nennleistung luftgekühlter Flüssigkeitskühler basierend auf Datenblattangaben zweier Hersteller.	40
Abbildung 14:	Zusammenhang zwischen Anlagenmasse (ohne Kältemittel) und Nennleistung basierend auf Datenblattangaben unterschiedlicher Hersteller.	43
Abbildung 15:	Kumulierte Treibhausgasemissionen der betrachteten Szenarien	45
Abbildung 16:	Relative Aufteilung der kumulierten Treibhausgasemissionen der betrachteten Szenarien	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ausgewählte Eigenschaften von natürlichen und synthetischen Kältemitteln (Auswahl)	18
Tabelle 2:	Mindesteffizienzanforderungen für Komfort-Flüssigkeitskühlsätze	25

Tabelle 3:	Mindesteffizienzanforderungen für Prozess- Flüssigkeitskühlsätze (HT).....	26
Tabelle 4:	Mindesteffizienzanforderungen für Prozess- Flüssigkeitskühlsätze (MT/LT).....	27
Tabelle 5:	Treibhauspotenzial der betrachteten Kältemittel (GWP) sowie ihrer atmosphärischen Abbauprodukte (ADP)	41
Tabelle 6:	Betrachtete Lebensdauern und resultierender mittlerer Emissionsfaktor für Strom	42
Tabelle 7:	Massenaufteilung und materialspezifische Emissionsfaktoren .	42
Tabelle 8:	Spezifische Emissionsfaktoren für die Kältemittelproduktion .	44

Abkürzungsverzeichnis

ADP	<i>Atmospheric Degradation Products</i> ; Treibhauspotenzial der primären und weiterer Abbauprodukte eines Kältemittels
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
ErP	<i>energy-related products</i>
FCKW	Fluorkohlenwasserstoffe
FK	Flüssigkeitskühler
FKW	Fluorkohlenwasserstoff
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GWP	<i>Global Warming Potential</i> ; Treibhauspotenzial
HFCKW	Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
HFKW	Teilfluorierter Kohlenwasserstoff
HFO	Hydrofluorolefine
HAT	<i>High Temperature</i>
KM	Kältemittel
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCCP	<i>Life Cycle Climate Performance</i>
LCP-HP	<i>Liquid chilling packages and heat pumps</i>
LT	<i>Low Temperature</i>
MT	<i>Medium Temperature</i>
PFAS	Per- und Polyfluoralkylsubstanzen
REACH	<i>Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals</i>
RoHS	<i>Restriction of Hazardous Substances</i>
SCOP	<i>Seasonal Coefficient of Performance</i>
SEER	<i>Seasonal Energy Efficiency Ratio</i>
SEPR	<i>Seasonal Energy Performance Ratio</i>
T	Temperatur
TEWI	<i>Total Equivalent Warming Impact</i>
TFA	Trifluoressigsäure
VDKF	Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau

Zusammenfassung

Der vorliegende Hintergrundbericht hat zum Ziel, die Informationsgrundlage zur Entwicklung eines Kriterienkatalogs für ein neues Umweltzeichen Blauer Engel für Flüssigkeitskühler mit natürlichen Kältemitteln sowie dessen Etablierung am Markt zu schaffen.

Dazu enthält Kapitel 2 einen Marktüberblick zu Flüssigkeitskühlern. Kapitel 2.1 konzentriert sich auf elektrisch angetriebene Flüssigkeitskühler und ordnet die zum deutschen Markt verfügbaren Daten in den internationalen Kontext ein. Neben den Informationen zu Marktvolumina bzw. Stückzahlen interessieren dabei insbesondere die eingesetzten Kältemittel aufgrund der teilweise hohen Treibhauspotenziale. Kapitel 2.2 geht auf den Markt thermisch angetriebener Flüssigkeitskühler (Ab- und Adsorptionskälteanlagen) ein.

Kapitel 3 behandelt den Geltungsbereich des Umweltzeichens. Basierend auf einer Recherche zu bestehenden Definitionen aus der Literatur, die in Kapitel 3.1 zusammengestellt sind, wird der Geltungsbereich im nachfolgenden Kapitel 3.2 festgelegt.

Als Basis für die Kriterienentwicklung sind im vierten Kapitel für Flüssigkeitskühler relevante deutsche und europäische Regularien zusammengefasst. Hier ist insbesondere die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG mit den entsprechenden Umsetzungen für Flüssigkeitskühler (Verordnungen (EU) Nr. 2016/2281 bzw. 2015/1095) hervorzuheben, da sie einen guten Startpunkt für Vergabeanforderungen hinsichtlich der Effizienz darstellen.

Einen Überblick über die wenigen bestehenden Zertifizierungen und Umweltzeichen für diese Produktgruppe gibt Kapitel 5.

Da die Effizienz und die Schallemissionen im Betrieb relevant für die Entwicklung von Vergabekriterien für das Umweltzeichen sind, wird in Kapitel 6 (bzw. den beiden Unterkapiteln 6.1 und 6.2) die erforderliche Datengrundlage zu diesen Aspekten geschaffen.

Um das Umweltentlastungspotenzial von natürlichen gegenüber synthetischen Kältemitteln einzuschätzen, wird in Kapitel 7 anhand von Anwendungsbeispielen eine vereinfachte Bewertung der klimarelevanten Auswirkungen von Flüssigkeitskühlern über den Lebenszyklus vorgestellt. Diese Auswirkungen sind stark vom Anwendungsgebiet und dem Nutzungsprofil abhängig. In den untersuchten Varianten reduziert der Ersatz des heute noch am häufigsten eingesetzten synthetischen Kältemittels R410A durch R290 (Propan) als natürliches Kältemittel die Lebenszyklusemissionen im besten Fall mit geringen Betriebsstunden um über 50%. Bei Anwendungen mit sehr hohen Betriebsstunden, deren Gesamtemissionen primär durch den Energieverbrauch bestimmt werden, liegt die Reduktion immer noch über 2%. Auch mit der Problematik der persistenten Abbauprodukte vieler synthetischer Kältemittel setzt sich dieses Kapitel auseinander.

Kapitel 8 gibt schließlich eine zusammenfassende Übersicht über die Kriterienkategorien, welche für die Entwicklung der Vergabegrundlage des Umweltzeichens herangezogen wurden.

Das abschließende Kapitel 9 listet die Firmen auf, welche im Rahmen der Kriterienentwicklung für einen Austausch angefragt wurden, und gibt einen kurzen Überblick über das Resultat.

Die finalen Vergabekriterien, wie sie von der Jury Umweltzeichen bewilligt wurden, sind im Anhang aufgeführt.

Summary

This background report aims to provide the information basis for the development of a criteria catalog for a new Blue Angel ecolabel for chillers with natural refrigerants and its establishment on the market.

To this end, Chapter 2 contains a market overview of chillers. Chapter 2.1 focuses on electrically driven chillers and relates the data available on the German market to the international context. In addition to information on market volumes and sales numbers, the refrigerants used are of particular interest due to their partly high global warming potentials. Chapter 2.2 contains an overview on the market for thermally driven chillers (absorption and adsorption chillers).

Chapter 3 contains the definition of scope of the ecolabel. Based on a review on existing definitions from the literature, which are compiled in chapter 3.1, the scope is defined in the following subchapter 3.2.

As a basis for the development of criteria, German and European regulations relevant to chillers are summarized in the fourth chapter. Here, the Ecodesign Directive 2009/125/EC with the corresponding implementations for chillers (Regulations (EU) No 2016/2281 and 2015/1095, respectively) need to be highlighted, as they represent a good starting point for requirements with regard to efficiency.

An overview on the few existing certifications and ecolabels for this product group is given in chapter 5.

Since efficiency and noise emissions in operation are relevant for the development of ecolabel criteria, Chapter 6 (or the two subchapters 6.1 and 6.2) provides the necessary data basis on these aspects.

In order to assess the environmental mitigation potential of natural refrigerants in comparison to synthetic ones, a simplified life cycle assessment of the climate-relevant effects of chillers is presented in Chapter 7 for selected application examples. Obviously, the impact is strongly dependent on the application area and the usage profile. In the variants investigated, replacing the synthetic refrigerant R410A, which is still the most commonly used today, with propane as a natural refrigerant reduces life cycle emissions by over 50% in the best case with a low number of operating hours. In applications with very high numbers of operating hours, where total emissions are primarily determined by energy consumption, the reduction is still over 2%. The issue of persistent degradation products of many synthetic refrigerants is also addressed in this chapter in a qualitative manner.

Chapter 8 provides a summary overview of the criteria categories that were used to develop the basis for awarding the ecolabel.

The final chapter 9 lists the companies that were asked for an exchange during the criteria development and gives a short overview of the result.

Finally, the final criteria set as approved by the Ecolabel Jury are listed in the Appendix.

1 Einführung

1.1 Motivation

Flüssigkeitskühler sind Kältemaschinen zur Kühlung von größeren Gebäuden, Maschinen, Prozessen oder auch Produkten. Da Flüssigkeitskühler über ihren Lebenszyklus substantielle CO₂-Emissionen verursachen, hat die Jury Umweltzeichen im Dezember 2020 beschlossen, ein Umweltzeichen für diese Produktgruppe zu erarbeiten unter der Maßgabe, den Geltungsrahmen im Hinblick auf die Verwendung natürlicher Kältemittel zu konkretisieren. Der vorliegende Hintergrundbericht hat zum Ziel, für die Etablierung des neuen Umweltzeichens und die Entwicklung eines entsprechenden Kriterienkatalogs die erforderliche Wissensgrundlage bereitzustellen.

Das Umweltzeichen Blauer Engel ist ein Kennzeichen für innovative Produkte und Dienstleistungen, die sich in ihrem Marktsegment als umweltfreundlicher gegenüber der Mehrheit der Angebote darstellen. Zweck der Kennzeichnung ist es, den Verbraucherinnen und Verbrauchern, der öffentlichen Hand und der gewerblichen Wirtschaft eine zuverlässige Orientierung an die Hand zu geben, auf deren Grundlage sie zur Entlastung der Umwelt beitragen und ökologische Produktinnovationen fördern können. Der Blaue Engel ist ein staatlich unterstütztes, marktwirtschaftliches Informationsinstrument der Umweltpolitik, das den Prinzipien der ISO 14024, Typ I (unabhängige Umweltkennzeichnungen) folgt. Grundlage der Umweltkennzeichnung ist eine lebenswegorientierte Betrachtung der umwelt- und gesundheitsrelevanten Aspekte eines Produktes bzw. einer Produktgruppe. Das Umweltzeichen Blauer Engel ist ein wesentlicher Baustein der integrierten Produktpolitik der Bundesregierung. Mit derzeit ca. 1.600 Zeichennehmern und ca. 12.000 gekennzeichneten Produkten war der 1978 eingeführte Blaue Engel das weltweit erste Umweltzeichen. Zeicheninhaber des Umweltzeichens Blauer Engel ist das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV).

1.2 Technologische Einordnung

Flüssigkeitskühler beruhen auf klassischen Prozessen zur Kältebereitstellung. Im Unterschied zu direktverdampfenden Systemen (z.B. Klimageräten) zirkuliert dabei ein Kühlmedium zwischen dem Kälteaggregat und dem Verbraucher, kein Kältemittel. Als Zirkulationsmedium dient hierbei vorwiegend Wasser (daher auch die alternative Gerätebezeichnung „Kaltwassersatz“), dem je nach Kühlanwendung auch Zusätze wie Glykol beigemischt werden, um z. B. den Gefrierpunkt herabzusetzen. So kann das Wasser auch unter null Grad Celsius abgekühlt werden, ohne zu vereisen. Die Kälteleistung der Anlagen variiert je nach Bauart und Anwendungszweck zwischen wenigen Kilowatt (kW) und einigen Megawatt (MW).

Flüssigkeitskühler können nach unterschiedlichen Kriterien kategorisiert werden. Dies sind u.a.:

- ▶ **Antriebsenergie:** am weitesten verbreitet sind elektrisch betriebene Anlagen, bei denen ein mittels Elektromotor angetriebener Verdichter die Kompressionsarbeit im Kältekreis übernimmt. Alternativ gibt es jedoch auch thermisch angetriebene Anlagen (i.d.R. Sorptionskälteanlagen), bei denen die Kältebereitstellung durch einen wärmegetriebenen Prozess erfolgt.
- ▶ **Kältemittel:** Hier unterscheidet man im Allgemeinen zwischen natürlichen und synthetischen Kältemitteln. Erstere beinhalten Substanzen, die in großen Mengen in der Natur vorkommen, wie z. B. Kohlenwasserstoffe, Kohlenstoffdioxid, Ammoniak, Wasser und Luft. Synthetische Kältemittel hingegen haben kein natürliches Vorkommen und werden durch chemische Verfahren hergestellt. Zu diesen Stoffen zählen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe

(HFCKW) sowie Fluorkohlenwasserstoffe und teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW und HFKW). Nachdem viele chlorhaltige Kohlenwasserstoffe bereits vor einigen Jahren wegen ihres Ozonabbaupotenzials (engl.: *Ozone Depletion Potential*, ODP) verboten wurden, stehen fluorierte Kohlenwasserstoffe aktuell wegen ihres teilweise hohen Treibhauspotenzials (engl.: *Global Warming Potential*, GWP) und potenziell weiterer ökotoxikologischer Risiken in der Kritik.

- ▶ **Art der Rückkühlung:** Zwei Arten, die Abwärme des Kälteprozesses abzuführen, sind üblich. Luftgekühlte Anlagen verfügen über luftüberströmte Kondensatoren und geben die Wärme direkt an die Umgebungsluft ab. Bei wassergekühlten Aggregaten wird die Abwärme im Verflüssiger an einen Wasser-(Glykol-)Kreislauf abgeführt.
- ▶ **Verdichterart (elektrisch):** In Flüssigkeitskühlern kleiner und mittlerer Leistung kommen üblicherweise Hubkolbenverdichter zum Einsatz, die sich durch gute Effizienz auch in Teillast auszeichnen. Ab mittleren Leistungen eignen sich auch Schraubenverdichter, für hohe Leistungsanforderungen sind auch Turboverdichter verfügbar.

Die Effizienz von Flüssigkeitskühlern wird üblicherweise als Quotient aus bereitgestellter Kälteleistung bzw. -energie und dafür erforderlichem Aufwand dargestellt. Im Falle von elektrischen Flüssigkeitskühlern ist dies elektrische Energie bzw. Leistung, bei thermischen Anlagen die Antriebswärme. Bei elektrischen Anlagen ermöglichen normierte Testbedingungen einen Vergleich unterschiedlicher Anlagen. Hersteller veröffentlichen typischerweise Effizienzangaben in Form des EER (*Energy Efficiency Ratio*) unter spezifischen Betriebsbedingungen¹. Zusätzlich drücken saisonale Kennzahlen wie der SEER (*Seasonal Energy Efficiency Ratio*) oder der SEPR (*Seasonal Energy Performance Ratio*) die übers Jahr integrierte Anlageneffizienz unter Berücksichtigung festgelegter Klimadaten und eines anwendungsspezifischen, mittleren Lastfalls aus.

Für thermisch angetriebene Flüssigkeitskühler gibt es kein normiertes Prüfverfahren, hier lassen sich Angaben unterschiedlicher Hersteller häufig schwer vergleichen.

¹ Die anliegenden Temperaturen im Kaltwasserkreis und auf der Rückkühlseite werden dabei folgendermaßen ausgewiesen: (Medium und Temperatur für die Rückkühlung / Medium und Temperaturen auf der Kälteseite). Luft wird hierbei mit A (engl.: *air*) abgekürzt, Wasser mit W. Für Luft wird lediglich die Eintrittstemperatur angegeben, für Wasser zusätzlich die Austrittstemperatur. Bspw. drückt (A35/W12-7) aus, dass die Rückkühlung mit Luft bei 35 °C erfolgt und in der Anlage Wasser von 12 °C auf 7 °C abgekühlt wird.

2 Marktüberblick

2.1 Elektrische Flüssigkeitskühler

Die Marktrecherche soll einleitend einen Überblick über den deutschen und europäischen Markt der Flüssigkeitskühler (FK) geben. Datenbasis der Marktrecherche sind die einschlägigen Journale (beispielsweise cci; JARN; KI Klima, Luft, Kältetechnik; Kälte Klima Aktuell) und Gremien mit Aktivitäten im Bereich Kältetechnik (VDMA, FGK, DKV, ...) ergänzt um eine freie Internetrecherche. Die Vielzahl an Definitionen von FK erschwert eine konsistente Datenaufbereitung, so dass auch auf Daten verwandter Definitionen sowie den Energie- und Kältebedarf verschiedener Sektoren zurückgegriffen wird. Konkret wurden bei der Recherche folgende Begrifflichkeiten berücksichtigt:

- ▶ Chiller
- ▶ Flüssigkeitskühlsatz
- ▶ Kaltwassersatz
- ▶ Wasserkühlmaschine
- ▶ Flüssigkeitskühlsatz
- ▶ Kaltwassererzeuger

Eine ausführliche Darstellung bestehender Definitionen aus der Literatur sowie die für den Blauen Engel angesetzten Definition sind in Kapitel 3 zu finden.

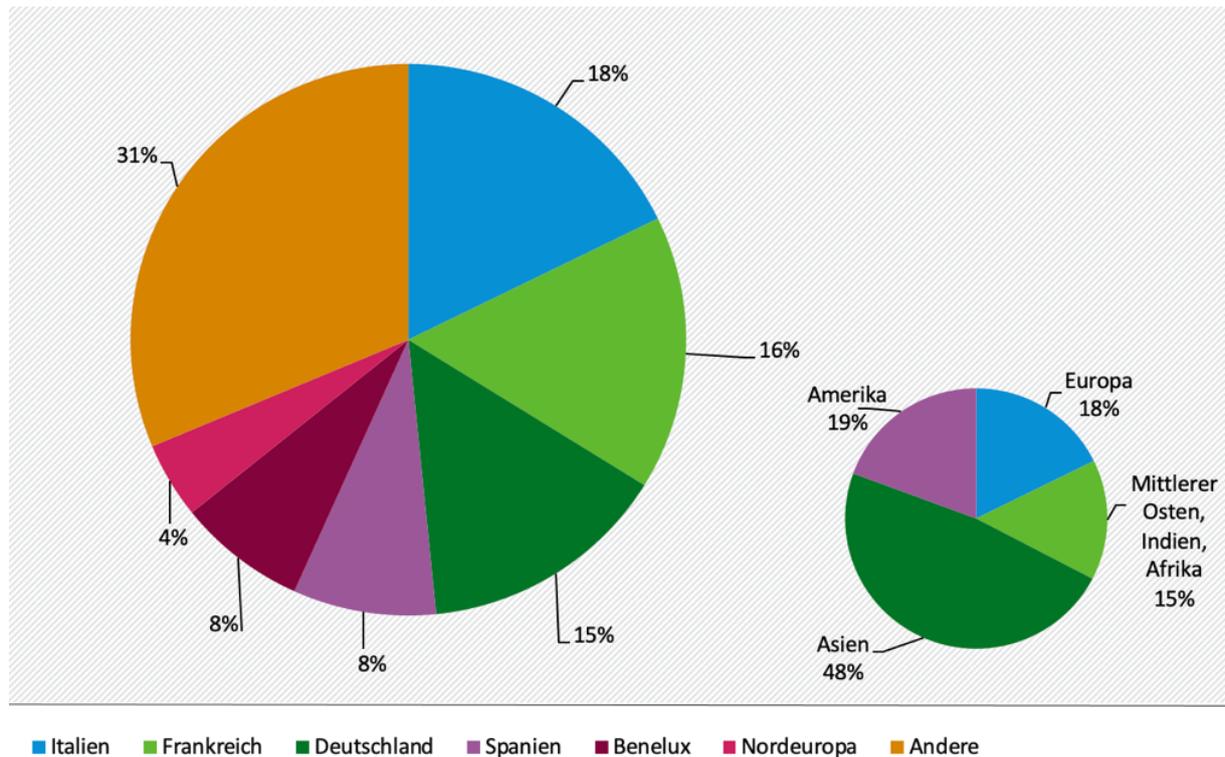
Der Markt der FK ist in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen. Vor allem die stark steigende Nachfrage in der Raumklimatisierung, aber auch in der Prozess- und Gewerkekühlung sind dafür ausschlaggebend. So steigt der Bedarf stark mit der Errichtung neuer Rechenzentren. Aber auch in der Gesundheits- und Pharmabranche sowie im Landwirtschafts- und Lebensmittelsektor ist ein großes Wachstumspotenzial vorhanden. Besonders der vermehrte Einsatz von natürlichen Kältemitteln verstärkt den Trend hin zu kompakten Flüssigkeitskühlern (1). Mit Blick auf den *phase-down* der teilfluorierten Kohlenwasserstoffe (HFKW) gemäß EU-Verordnung Nr. 517/2014 (F-Gas-Verordnung, s. Kapitel 4) soll auch auf die verwendeten Kältemittel eingegangen werden.

2.1.1 Europa

2.1.1.1 Marktvolumen

Das Marktvolumen aller FK mit einer Leistung über 50 kW wird für das Jahr 2020 auf 1,1 Mrd. Euro beziffert (2). Der Markt über alle Leistungsklassen hinweg wurde für 2019 auf ein Volumen von etwa 1,3 Mrd. Euro geschätzt (3). Dabei bildet der deutsche Markt mit knapp 15% zusammen mit Italien und Frankreich einen der größten Anteile in Europa, wie in Abbildung 1 aufgeschlüsselt wird. Im globalen Vergleich stellt Europa einen Anteil von 18% des Marktes für Flüssigkeitskühler (3).

Abbildung 1: Anteile des Europäischen Marktes der Flüssigkeitskühler 2019 in Prozent



Quelle: (3)

2.1.1.2 Stückzahlen Bestand / jährlich

Zu den Daten verkaufter und installierter Geräte lässt sich für den europäischen Markt keine Aussage treffen.

2.1.1.3 Kältebedarf / Energie

Allgemein wird ein steigender Energiebedarf in der Zukunft nicht nur durch die Klimatisierung, sondern auch durch Kühlung von Serverräumen, Logistik, Lebensmittelkühlung und Gesundheit erwartet. Genaue Schätzungen, welcher Anteil durch FK gedeckt werden, sind nicht vorhanden.

2.1.1.4 Kältemittel

Mit dem Beschluss von Kigali haben sich 2016 die 196 Vertragsparteien dazu verpflichtet, zusätzlich zu den im Montrealer Protokoll reglementierten FCKW Kältemitteln, die Verwendung von HFKW Kältemitteln gezielt zu reduzieren.

Leider ist eine genaue Aufschlüsselung der verwendeten Kältemittel nach Anwendung nicht in den neuesten Berichten der European Energy Agency zum *phase-down* enthalten. In einer qualitativen Eigenanalyse der aktuellen Produkte der Branche ist erkennbar, dass viele Hersteller kurzfristig ihre FK auf ungesättigte HFKW-Kältemittel wie R1234ze, die als Hydrofluorolefine (HFO) vermarktet werden, umgestellt haben. Auf lange Sicht ist jedoch auf Grund der toxischen Abbauprodukte wie TFA ein nachhaltiger Trend zurück zu den natürlichen Kältemitteln erstrebenswert, welcher sich schon teilweise in den Produktpaletten europäischer Hersteller widerspiegelt. Mit Blick auf den vermehrten Einsatz von natürlichen Kältemitteln sind zwei Aspekte zu erwähnen:

- Durch erhöhte Sicherheitsmaßnahmen, wegen Brennbarkeit, Toxizität und hohen Drücken der natürlichen Kältemittel, ist ein vermehrter Einsatz von indirekten, kompakten Geräten

sinnvoll. Nachteil dabei sind erhöhte Temperatur- und Druckverluste, welche sich in höheren Energieverbräuchen abzeichnen können.

- Der Einsatz kompakter Kältesysteme bietet den Vorteil, dass durch die zentrale Herstellung Kosten gespart und die Qualität besser überwacht und sichergestellt werden kann (1).

Eine detaillierte Darstellung der verwendeten Kältemittel in FK wird für den deutschen Markt gegeben.

2.1.2 Deutschland

2.1.2.1 Marktvolumen

Der deutsche Markt für FK belief sich im Jahr 2019 auf ein Gesamtvolumen von 173 Mio. €. Damit ist dieser der drittgrößte in Europa, nach Frankreich und Italien (3).

2.1.2.2 Energiebedarf

Eine aktuelle Studie des Fraunhofer ISI zeigt den Primärenergieverbrauch im Industrie- und GHD-Sektor für Klima- und Prozesskälte in den Jahren 2018 bis 2020 (4). Demnach liegt der Primärenergieverbrauch der Kältebereitstellung (ohne Klimatisierung) in der Industrie bei 36,8 PJ/a² (also rund 10,8 TWh). Der Primärenergieverbrauch im GHD-Sektor liegt mit 51,2 PJ/a für Kälteanwendungen etwas höher. Die Klimakälte, welche zwar teilweise auch mit direktverdampfenden Anlagen gedeckt wird, hat mit 17,9 PJ/a und 12,1 PJ/a in Industrie und GHD zwar einen deutlich geringeren Primärenergiebedarf, weist jedoch eine stark steigende Tendenz auf. Ein expliziter Zusammenhang zwischen Primärenergieverbrauch und der Anzahl der eingesetzten FK lässt sich anhand dieser Zahlen nicht herstellen.

Die Studie des VDMA zum Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland schätzt den Energiebedarf für Kälte in der Industrie im Jahr 2017 auf rund 12,3 TWh, dies entspricht rund 2% des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland. Neben dem Einsatz von FK im GHD für die Raumluftklimatisierung, Kühl- und Lagerhäuser sowie für die IT- Kühlung, spielen FK eine besonders wichtige Rolle in der Industrie. Für die Kühlung von Maschinen, Werkstücken oder Lasern kommen hauptsächlich FK zum Einsatz. So entfällt im Jahr 2017 ein Strombedarf von 544 GWh konkret auf FK in der Industrie (1).

2.1.2.3 Stückzahlen Bestand / jährlich

Die genaue Anzahl installierter und neu in Betrieb genommener FK in Deutschland ist nicht bekannt und kann nur geschätzt werden. So wurde für die Industrie für das Jahr 2017 vom Forschungsrat Kältetechnik ein Bestand von 230.000 Anlagen geschätzt (1). Da FK aber auch in anderen Bereichen wie der Raumklimatisierung oder der IT-Kühlung Anwendung finden, wird die Zahl der aktiven FK in Deutschland deutlich höher sein.

Ein weiterer Hinweis auf die Zahl installierter Anlagen ergibt sich aus der Betrachtung der Kälte- bzw. Klimaanlageanlagen, die gemäß Artikel 4 der F-Gas-Verordnung zumindest jährlich auf Dichtheit kontrolliert werden müssen. Demnach wurden 2020 über das LEC-Tool des VDKF³ alleine 194.238 Kälte- und Klimaanlageanlagen erfasst, die auf Dichtheit kontrolliert wurden (5). Anlagen

² In dieser Studie fallen darunter die Kältebedarfe folgender Branchen: Ernährung und Tabak (12,6 PJ/a), Papiergewerbe, Grundstoffchemie (20,6 PJ/a), Sonstige chemische Industrie, Gummi- u. Kunststoffwaren, Glas u. Keramik, Maschinenbau, Sonstiges Verarbeitendes Gewerbe; wobei zwei Branchen über 90% davon verursachen

³ LEC: Leakage & Energy Control System

ohne Kältemittel (freie Kühlung) oder Anlagen mit natürlichen Kältemitteln sind nicht von der F-Gas-Verordnung erfasst. Die Verwendung des LEC-Tools ist optional, daher können die nachfolgenden Daten nicht als repräsentativ gewertet werden. Die Summe der in den Kategorien Gewerbekälte (36.584), Industriekälte (25.633), Zentralklima (18.327) erfassten Anlagen ergibt knapp 80.000 Stück, die unter die Definition der FK fallen können und liegt somit deutlich unter dem oben genannten Wert.

Die nationale Treibhausgasberichterstattung gemäß Kyoto-Protokoll erhebt ebenfalls Daten zur Anzahl von Kältemaschinen im Bestand und zu den Neuinstallationen, darunter solche für Flüssigkeitskühler. Nach diesen Erhebungen der Bundesregierung gab es in Deutschland im Jahr 2021 insgesamt 111.457 installierte Flüssigkeitskühler, davon 61.191 (3.620 im Jahr 2021 neu installiert) mit einer Kälteleistung < 100 kW, 45.588 (3.289 neu) mit Leistungen zwischen 100 und 900 kW und 2.912 Aggregate (220 neu) mit einer Leistung > 900 kW. Außerdem wurden 1.766 Kältemaschinen mit Turbo-Verdichter veranschlagt (keine Angaben zu den Neuinstallationen). Diese Zahlen beziehen sich jedoch lediglich auf den Anwendungsbereich Klimatisierung. Für die Industriekälte werden die Anlagenarten nicht getrennt erfasst, sondern die installierte Kälteleistung anhand der hergestellten und zu kühlenden Produkte berechnet. Die Treibhausgasberichterstattung kann daher leider keine Auskunft darüber geben, wie viele FK im Bereich Industriekälte installiert sind, und folglich auch keine Aussagen über den Gesamtbestand treffen.

2.1.2.4 Kältemittel

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von natürlichen und synthetischen Kältemitteln, die in Flüssigkeitskühlern zum Einsatz kommen mit ihrer Sicherheitsklasse nach EN 378 (s. Kapitel 4) sowie ihrem Treibhauspotenzial.

In der Produktgruppe der FK wird der deutsche Markt noch stark von den HFKW-Kältemitteln R410A und R134a dominiert. Im Jahr 2020 lag der Anteil der Anlagen über 50 kW Kälteleistung, welche mit R410A und R134a befüllten wurden, bei 70% bzw. 10% (3). Aufgrund der steigenden Anforderungen der F-Gas-Verordnung ist davon auszugehen, dass sich diese Anteile zugunsten von niedrig-GWP-Kältemitteln verringern.

Tabelle 1: Ausgewählte Eigenschaften von natürlichen und synthetischen Kältemitteln (Auswahl)

Langname / Zusammensetzung	Kurzname	Klassifizierung	GWP
Propan	R290	A3	3
Ammoniak	R717	B2L	0
Ammoniak-Dimethylether-Gemisch	R723	B2L	1
Kohlenstoffdioxid	R744	A1	1
Propylen	R1270	A3	2
CF ₃ CF=CH ₂	R1234yf	A2L	4

Langname / Zusammensetzung	Kurzname	Klassifizierung	GWP
CF3CH=CHF	R1234ze(E)	A2L	7
CF3CH2F	R134a	A1	1.430
CH2F2	R32	A2L	675
R32/125/134a	R407C	A1	1.774
R32/125	R410A	A1	2.088
R32/125/1234yf	R452B	A2L	498
R32/1234yf	R454B	A2L	466
R1234yf/134a	R513A	A1	631

Quelle: (6)

Die Daten des VDKF zeigen ein ähnliches Bild (5). Aktuell verwenden Industrie und Gewerbe in 40% der erfassten Anlagen das Kältemittel R410A, gefolgt von R134a (16%), R407C (11%) und R404A (11%). Umgerechnet mit den entsprechenden Leckageraten und den zugehörigen GWP-Werten dieser Kältemittel, emittieren alle erfassten Anlagen mit den hier erwähnten Kältemitteln ein CO₂-Äquivalent von 95.792 t. Das entspricht 84,4 % der im VDKF erfassten Emissionen. Allein die Anlagen mit dem hoch-GWP Kältemittel-R404A (GWP=3.922) tragen dazu mit 54,6 % bei.

Laut BSRIA ist in den vergangenen zwei Jahren eine Abkehr von den traditionellen Kältemitteln R410A und R134a zu verzeichnen (7). Je nach Anwendung sind die Alternativen R32, R1234ze sowie in geringerem Maße R290 und R513A.

Dezierte Informationen zu natürlichen Kältemitteln sind nicht verfügbar. Jedoch ist bekannt, dass in den Jahren 2018/19 insgesamt 616 elektrisch betriebene Kälteanlagen (davon 422 in Supermarktanwendungen, also keine klassischen Flüssigkeitskühler) mit natürlichen oder niedrig-GWP Kältemitteln eine Förderung durch das BAFA erhielten (8).

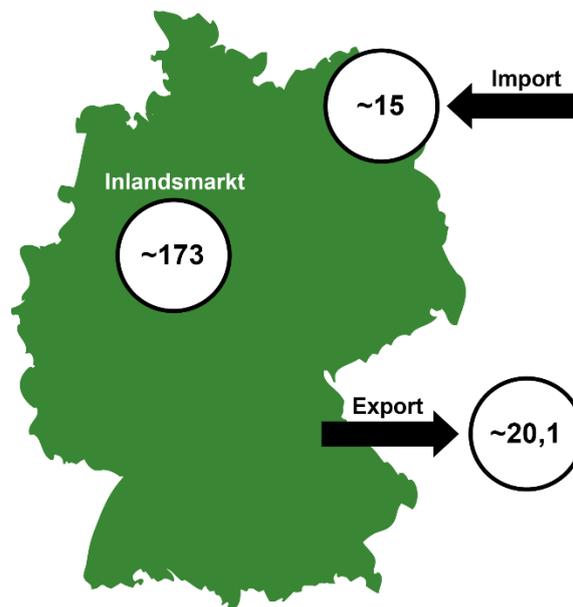
Als Hinweis, welchen Marktanteil Propan bei Flüssigkeitskühlern hat, kann der Anteil der in Deutschland verkauften Wärmepumpen, die 2019 eine BAFA-Förderung erhielten und mit Propan arbeiten, dienen. Das waren basierend auf einer Auswertung von über 25.000 bewilligten Förderanträgen 9% (9). Da im Kältebereich ausschließlich Anlagen mit natürlichen Kältemitteln gefördert werden und die Anforderungen an Propananlagen hinsichtlich der Aufstellbedingungen im gewerblichen bzw. industriellen Bereich tendenziell besser als im Wohngebäudebereich zu erfüllen sind, ist von einem vergleichbaren Prozentsatz von Anlagen mit Propan auch hier auszugehen.

2.1.2.5 Import und Export von Flüssigkeitskühlern

Das statistische Bundesamt erfasst den Im- und Export von FK nicht direkt, aber übergeordnete Kategorien der FK. Im Jahr 2020 wurden laut statistischem Bundesamt *Einrichtungen, Maschinen zur Kälteerzeugung* im Wert von 14,7 Mio. € importiert. Hinzu kamen 0,3 Mio. € Warenwert

Klimageräte mit Kälteerzeugungsvorrichtung. Im selben Jahr wurden Produkte im Wert von 13,7 Mio. € der Kategorie *Einrichtungen, Maschinen zur Kälteerzeugung* sowie 6,4 Mio. € der Kategorie *Klimageräte mit Kälteerzeugungsvorrichtung* exportiert. Alle anderen vom statistischen Bundesamt im Zusammenhang mit der Kältetechnik gesammelten Kategorien können inhaltlich ausgeschlossen werden (10). Die genauen Daten sind im Anhang A Tabelle 1 zu entnehmen.

Abbildung 2: Darstellung des deutschen Marktes für FK in Mio. €



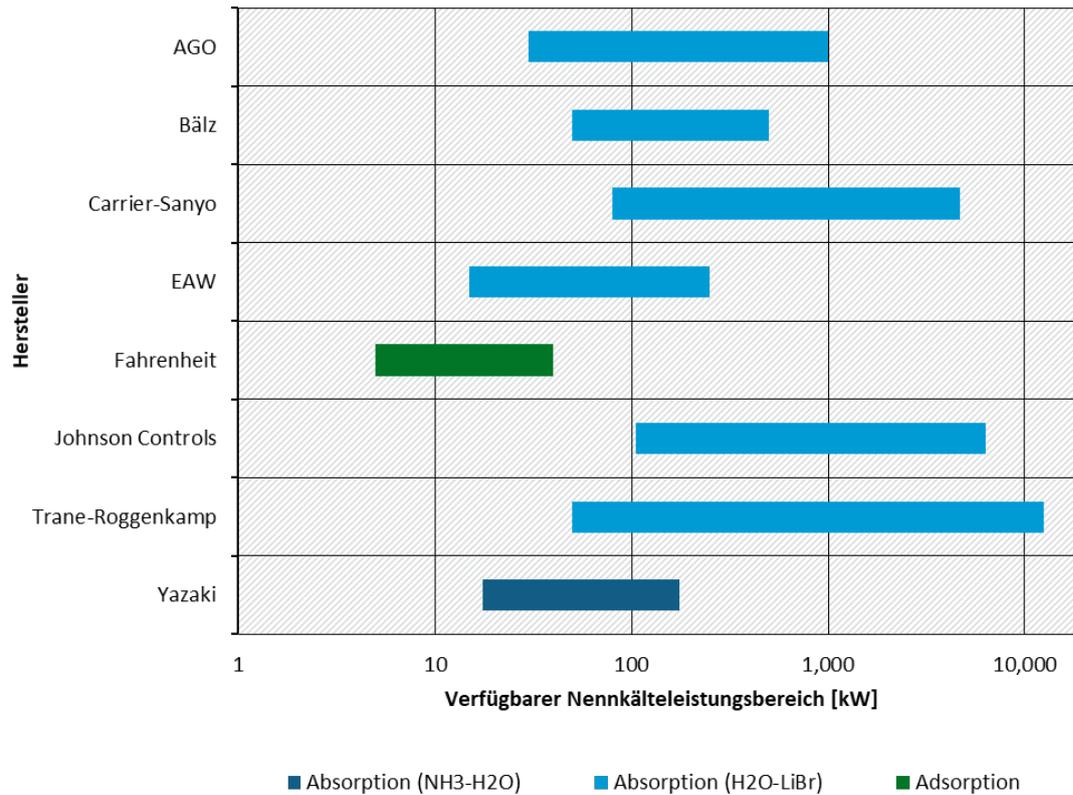
Daten für Im- und Export beziehen sich auf die Warenverzeichnisbezeichnung *Einrichtungen, Maschinen zur Kälteerzeugung* (oberer Wert) sowie die Gesamtsumme einschließlich *Klimageräte mit Kälteerzeugungsvorrichtung*. Quelle: (10)

2.2 Thermische Flüssigkeitskühler (Sorptionskälteanlagen)

Im Gegensatz zu elektrischen Flüssigkeitskühlern ermöglichen Sorptionsanlagen die Bereitstellung von Kälte mit Wärme als Antriebsenergie. Bei richtiger Auslegung und Betriebsweise wird dabei vergleichsweise wenig Elektroenergie für die Regelung sowie Hilfsaggregate (Pumpen, Ventilatoren, ...) benötigt. Sorptionskälteanlagen sind in unterschiedlichen Bauweisen und mit verschiedenen natürlichen Kältemitteln verfügbar. Grundsätzlich wird zwischen **A**dsorptions- und **A**bsorptionskälteanlagen unterschieden. Erstere haben einen Feststoff als Sorptionsmittel und arbeiten üblicherweise mit Wasser als Kältemittel. Letztere arbeiten mit einem flüssigen Arbeitsstoffpaar, in markverfügbaren Anlagen kommt Wasser/Lithiumbromid oder Ammoniak/Wasser zum Einsatz. Die Effizienz dieser Flüssigkeitskühler wird als Coefficient of Performance (COP) ausgedrückt, der sich als Quotient aus bereitgestellter Kälteleistung und eingesetzter Wärmeleistung berechnet. Der COP ist stark abhängig von den jeweiligen Betriebstemperaturen, typische Werte von Adsorptionskälteanlagen liegen bei 0,5-0,6. Einstufige Absorptionskälteanlagen erreichen im Betrieb typischerweise COP zwischen 0,6 und 0,8, zweistufige Anlagen Werte zwischen 1,0 und 1,4.

Ein Überblick von in Deutschland verfügbaren Anlagentypen und Leistungsklassen aus dem Jahr 2014 ist in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Kälteleistungsbereich verfügbarer Sorptionskälteanlagen



Quellen: eigene Recherche, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, sowie (11)

Zahlen zum Marktvolumen in Europa und Deutschland sind nicht verfügbar. Bekannt ist, dass zwischen 2012 und 2019 insgesamt 314 Anlagen mit einer Gesamtkälteleistung von 62,6 MW eine Förderung durch die BAFA erhielten (8). Auch wenn diese Zahlen nicht repräsentativ für den Gesamtmarkt in Deutschland sind, ist folglich davon auszugehen, dass der Markt für Sorptionskälteanlagen nur einen Bruchteil des Marktes für elektrisch betriebene Flüssigkeitskühler ausmacht.

3 Definition Geltungsbereich

Zur Definition des Geltungsbereichs wurden zunächst die in der Fachliteratur und Normen verwendeten Definitionen eines Flüssigkeitskühlers betrachtet und aus deren Schnittmenge und den hier gestellten Anforderungen eine geeignete Definition im Sinne des Blauen Engels vorgeschlagen.

3.1 Bestehende Definitionen für Flüssigkeitskühler aus Normen und Literatur

► **DIN EN 378-1: Kältesatz**

Fabrikmäßig komplett zusammengebaute Kälteanlage in einem geeigneten Rahmen und/oder Gehäuse, die vollständig oder in zwei oder mehr Abschnitten gefertigt und transportiert wird und deren kältemittelführende Teile am Aufstellungsort nicht mehr zu verbinden sind, außer durch Absperrventile, wie z. B. Anschlussarmaturen (12).

► **DIN EN 378-1: betriebsfertiger Kältesatz**

Kältesatz, der vor seiner Aufstellung zusammengebaut, betriebsfertig befüllt und geprüft wurde und der aufgestellt wird, ohne dass ein Anschluss kältemittelführender Teile erforderlich ist.

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein betriebsfertiger Kältesatz kann werkseitig montierte Anschlussarmaturen enthalten (12).

► **DIN EN 14511-1: Flüssigkeitskühlsatz**

Fabrikmäßig hergestelltes Gerät zur Kühlung einer Flüssigkeit, mit einem Verdampfer, einem Verdichter, einem eingebauten oder getrennt betriebenen Verflüssiger und geeigneten Bedienelementen.

Der Flüssigkeitskühlsatz kann für Heizzwecke auch Einrichtungen enthalten, mit deren Hilfe der Kältemittelkreislauf wie bei Wärmepumpen umgekehrt werden kann (13).

► **Eurovent Certification, LCP-HP: *Comfort Chiller***

A unit designed to cool or heat (applicable only for reversible chillers) liquid, using an evaporator, a condenser, a refrigerant compressor, and appropriate controls. Leaving chilled water temperatures for cooling mode are greater than or equal to + 2 °C. Also known as a liquid chilling package (14).

Übersetzung: Komfortkühler - Ein Gerät, das zum Kühlen oder Heizen (gilt nur für reversible Kaltwassersätze) von Flüssigkeiten ausgelegt ist und einen Verdampfer, einen Verflüssiger, einen Kältemittelverdichter und eine geeignete Steuerung verwendet. Die Kaltwasseraustrittstemperaturen im Kühlbetrieb sind größer oder gleich + 2 °C. Auch bekannt als Flüssigkeitskühlsatz.

► **Eurovent Certification, LCP-HP: *Process chiller***

A chiller capable of cooling down and continuously maintaining the temperature of a liquid in order to provide cooling to a refrigerated appliance or to a process cooling system (14).

Übersetzung: Prozesskühler - Ein Kühler, der in der Lage ist, eine Flüssigkeit abzukühlen und kontinuierlich auf Temperatur zu halten, um ein zu kühlendes Gerät oder ein Prozesskühlsystem zu kühlen.

► **Eurovent Certification, LCP-HP: Packaged**

Factory assembly of components of refrigeration system fixed on a common mounting to form a discrete unit (14).

Übersetzung: Werkseitige Montage von Komponenten eines Kühlsystems, die auf einer gemeinsamen Halterung befestigt sind und eine eigenständige Einheit bilden.

► **Das 1 x 1 der Kältetechnik (S. Bachmann): Chiller**

Kältewassersätze sind Kältesysteme, die eine Flüssigkeit abkühlen, die anschließend für die verschiedensten Anwendungen verwendet werden kann. Meist ist diese Flüssigkeit Wasser, es können aber auch andere Kälteflüssigkeiten – z.B. Sole – verwendet werden. Auch ist es möglich, das Wasser mit Zusätzen anzureichern, die meist zum Ziel haben, den Gefrierpunkt abzusenken, damit der Kälteflüssigkeit auch bei niedrigen Temperaturen pumpfähig bleibt (15).

Abbildung 4: Übersicht der einzelnen Definitionen aus Normen und Richtlinien

	fertig montiert - in geeignetem Rahmen, Gehäuse	kältetechnisch fertig	betriebsfertig	Verdichter, Verdampfer/Verflüssiger	thermisch angetrieben	Nutzung der Wärme	umkehrbarer Kreislauf, Wärmepumpe
DIN - 378 Kältesatz							
DIN - 378 betriebsfertiger Kältesatz							
EN - 14511-1 Flüssigkeitskühlsatz							
Eurovent Comfort Chiller	{Packaged}						
Eurovent Process chiller	{Packaged}						
Blauer Engel							

 nicht explizit definiert

Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

3.2 Definition und Geltungsbereich für das Umweltzeichen Blauer Engel

Im Rahmen des Umweltzeichens Blauer Engel gilt der Begriff „Flüssigkeitskühler“ für Anlagen,

- die der Kühlung von Wärmeträgerflüssigkeiten wie Wasser, Wasser-Glykol, Ölen, Silikon, etc. dienen,

- ▶ deren Kältekreis werkseitig fertig montiert ist; die Befüllung mit den Betriebsmitteln (Kältemittel, Schmieröl, ...) kann werksseitig oder am Aufstellort erfolgen,
- ▶ die elektrisch oder thermisch angetrieben werden,
- ▶ die über die Umgebungsluft oder Wärmeträgerflüssigkeiten rückgekühlt werden und
- ▶ die eine Nennkälteleistung im Bereich von 2 bis 2000 kW aufweisen.

Eine Nutzung der Abwärme ist möglich. Das Zeichen kann angewendet werden für Komfortkühler und Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur gemäß ENER Lot21 (Verordnung (EU) Nr. 2016/2281; hier: elektrisch getriebene Flüssigkeitskühler) sowie Sorptionskälteanlagen (hier: thermisch getriebene Flüssigkeitskühler). Ausgeschlossen werden Wärmepumpen, sofern diese in den Gültigkeitsbereich der Ökodesign-Verordnung für Wärmepumpen bis 400 kW Nennleistung (Verordnung (EU) Nr. 813/2013) fallen, auch wenn deren Wärmequelle über Flüssigkeiten angebunden ist. Wärmepumpen mit einer Nennleistung über 400 kW werden ebenfalls ausgeschlossen.

4 Mindestvorgaben durch nationale und europäische Gesetzgebung

Im Folgenden wird ein Überblick über Mindestvorgaben an Flüssigkeitskühler durch die nationale und europäische Gesetzgebung gegeben.

- ▶ Die **Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG** ist eine europäische Richtlinie, die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung „energieverbrauchsrelevanter Produkte“ (englisch *energy-related products*, ErP) im gemeinsamen Binnenmarkt der Europäischen Union festlegt. Es handelt sich dabei um eine Rahmenrichtlinie, die detaillierten Anforderungen an bestimmte Produktgruppen sind in EU-Verordnungen festgehalten, die im Rahmen produktspezifischer Durchführungsmaßnahmen (sogenannte LOTs) erarbeitet werden. Flüssigkeitskühler werden in ENTR LOT 1 und ENER LOT 21 adressiert und in den beiden nachfolgend erläuterten Verordnungen geregelt.
- ▶ **Verordnung (EU) Nr. 2016/2281** mit Effizienzvorgaben für Luftheizungsprodukte, Kühlungsprodukte, Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur und Gebläsekonvektoren

Diese Verordnung enthält Effizienzvorgaben für folgende Produktkategorien, welche den Flüssigkeitskühlern zugeordnet werden können:

- In der Kategorie Kühlungsprodukte
 - Luft-Wasser-Kühler
 - Wasser/Sole-Wasser-Kühler
- Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur

Die Verordnung sah eine Verschärfung der Effizienzanforderungen in zwei Stufen für die Jahre 2018 sowie 2021 vor. Die nun geltenden Werte sind in den nachfolgenden Tabellen aufgeführt. Für Komfort-Kühlungsprodukte werden die einzuhaltenden Mindesteffizienzen in Form des Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrades $\eta_{s,c}$, der sich wiederum aus dem SEER errechnet, angegeben. Die grundsätzliche Prüf- und Berechnungsmethode zur Bestimmung des SEER ist in der DIN EN 14825 erläutert (s.u.). Jedoch sind sowohl in der Norm als auch in der Verordnung zwei unterschiedliche Verfahren zum Einstellen der Verdampferleistung möglich (feste oder variable Austrittstemperatur), welches sich auf das ermittelte Ergebnis auswirkt.

Für Anlagen, die Kältemittel mit einem GWP < 150 einsetzen, gilt pauschal eine 10% geringere Effizienzanforderung.

Tabelle 2: Mindesteffizienzanforderungen für Komfort-Flüssigkeitskühlsätze

Geräteklasse	eta_s,c	SEER
Luftgekühlte Komfortkühler <400kW	161	4,1
Luftgekühlte Komfortkühler >400kW	179	4,6
Wassergekühlte Komfortkühler <400kW	196	5,1
Wassergekühlte Komfortkühler 400kW...1500kW	227	6,4

Geräteklasse	eta_s,c	SEER
Wassergekühlte Komfortkühler >1500kW	245	6,9

Komfort-Flüssigkeitskühlsätze werden in zwei Temperaturniveaus unterteilt (Kaltwasservorlauf 7 °C, Rücklauf 12 °C bzw. 18/23 °C), jedoch enthält die Verordnung keine unterschiedlichen Effizienzanforderungen. Bei dem höheren Temperaturniveau können die geforderten Effizienzanforderungen wesentlich leichter erreicht werden als bei dem niedrigeren Temperaturpaar. Die Verordnung schreibt daher vor, dass die Anlagen nur für den Temperatureinsatzbereich verkauft werden dürfen, in dem sie die Mindesteffizienz erreichen oder überschreiten.

Da Prozesskühler typischerweise deutlich anders als Geräte zur Klimatisierung betrieben werden, wird deren mittlere Effizienz bei der Temperaturpaarung 7/12 °C auch anders bestimmt und als SEPR ausgewiesen (siehe DIN EN 14825). Auch hier gilt für Anlagen mit natürlichen Kältemitteln ein 10%iger Abschlag.

Tabelle 3: Mindesteffizienzanforderungen für Prozess-Flüssigkeitskühlsätze (HT)

Geräteklasse	SEPR
Luftgekühlte Prozesskühler <=400kW	5,0
Luftgekühlte Prozesskühler >400kW	5,5
Wassergekühlte Prozesskühler <=400kW	7,0
Wassergekühlte Prozesskühler 401kW...1500kW	8,0
Wassergekühlte Prozesskühler >1500kW	8,5

Die Verordnung enthält keine Grenzwerte für Schallemissionen, jedoch muss der A-bewertete⁴ Schalleistungspegel bei Norm-Prüfbedingungen veröffentlicht werden.

► **Verordnung (EU) Nr. 2015/1095** mit Mindestanforderungen für gewerbliche Kühltagschränke, Schnellkühler/-froster, Verflüssigungssätze und Prozesskühler

Diese Verordnung beinhaltet u.a. Mindesteffizienzvorgaben für Prozesskühler, die bei mittlerem und niedrigem Temperaturniveau (-8 °C bzw. -25 °C Vorlauftemperatur) arbeiten. Die höchste Stufe ist seit dem Jahr 2018 gültig, wobei aktuell eine Revision stattfindet (16). Wie auch in der Verordnung (EU) Nr. 2016/2281 gilt für Geräte mit Kältemitteln mit einem GWP unter 150 generell eine 10% geringere Effizienzanforderung (niedrig-GWP Bonus).

⁴ Der Mensch nimmt Töne bei unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich stark wahr. Die A-Bewertung passt die Schallpegelwerte einzelner Frequenzbereiche (genauer: Terzbänder) dem menschlichen Hörempfinden an. Entsprechend bewertete Geräteangaben werden mit der Einheit dB(A) ausgewiesen.

Tabelle 4: Mindesteffizienzanforderungen für Prozess-Flüssigkeitskühlsätze (MT/LT)

Geräteklasse	SEPR
Luftgekühlte Prozesskühler ≤300kW (MT)	2,58
Luftgekühlte Prozesskühler >300kW (MT)	3,22
Luftgekühlte Prozesskühler ≤200kW (LT)	1,70
Luftgekühlte Prozesskühler >200kW (LT)	1,84
Wassergekühlte Prozesskühler ≤300kW (MT)	3,29
Wassergekühlte Prozesskühler >300kW (MT)	4,37
Wassergekühlte Prozesskühler ≤200kW (LT)	2,09
Wassergekühlte Prozesskühler >200kW (LT)	2,42

Die Verordnung enthält keine Anforderungen bezüglich der Schallemissionen von Prozesskühlern.

- ▶ **DIN EN 378** „Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen“

Die vier Teile dieser Norm decken den gesamten Lebenszyklus von Kälteanlagen bezüglich sicherheitstechnischer und umweltrelevanter Aspekte ab. Unter anderem enthält sie die Klassifizierung von Kältemitteln hinsichtlich ihrer Brennbarkeit und Giftigkeit, welche sich auf die einzuhaltenden Aufstellbedingungen auswirken. Für typische, in Flüssigkeitskühlern eingesetzte Kältemittel gilt die in Tabelle 1 gelistete Klassifizierung.

- ▶ **DIN EN 14511** „Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen für die Raumbeheizung und -kühlung und Prozess-Kühler mit elektrisch angetriebenen Verdichtern“.

Die DIN EN 14511 enthält die Prüfvorschrift zur Bestimmung der Norm-Leistungszahl (EER bzw. COP) von Flüssigkeitskühler und Wärmepumpen.

- ▶ **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“

Die DIN EN 14825 baut auf der EN 14511 auf und enthält die Prüf- sowie Berechnungsvorschriften zur Bestimmung der saisonalen Arbeitszahlen (SEER, SEPR bzw. SCOP) von Flüssigkeitskühler und Wärmepumpen. Auf die so bestimmten Gerätekenngößen beziehen sich die Mindesteffizienzanforderungen der o.g. EU-Verordnungen.

- ▶ **DIN EN 15218** „Luftkonditionierer und Flüssigkeitskühlsätze mit verdunstungsgekühltem Verflüssiger und elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumkühlung“

Die DIN EN 15218 legt die Anforderungen an die Einstufung der Leistung von Luftkonditionierern und Flüssigkeitskühlsätzen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern und verdunstungsgekühlten Verflüssigern für die Raumkühlung fest. Das Wasser zur Verdunstung wird über einen speziellen Wasserversorgungskreislauf oder einen Wasserbehälter von außen zugeführt. Es fallen sowohl Kompaktgeräte, als auch Einzelgeräte in Split-Bauweise und Multi-Split-Systeme in den Anwendungsbereich dieser Norm.

- ▶ **Verordnung (EU) Nr. 517/2014** über fluorierte Treibhausgase

Die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase ("F-Gas-Verordnung") wurde erlassen, um F-Gas-Emissionen, die bis dahin kontinuierlich gestiegen sind, nachhaltig zu senken. Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) sind die wichtigste Gruppe von F-Gasen in Bezug auf die klimarelevanten Emissionen. Die wichtigste Neuerung gegenüber der F-Gas-Verordnung von 2006 war die Einführung eines EU-weiten *Phase-down*, d. h. eines Quotensystems zur Umsetzung eines Zeitplans für die schrittweise Reduzierung der Menge an HFKW, die Importeure und Hersteller jedes Jahr in Verkehr bringen dürfen.

In der Verordnung war bereits eine Überprüfung verschiedener Aspekte der Verordnung vorgesehen und am 05.04.2022 wurde ein aktualisierter Entwurf einer neuen F-Gas-Verordnung vorgelegt. Hauptziel des neuen Vorschlags ist es, die Emissionen dieser Treibhausgase weiter zu verringern, um somit die Ziele der EU zu unterstützen, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 % zu senken und bis 2050 klimaneutral zu werden.

- ▶ **VDMA-Einheitsblatt 24020** „Betriebliche Anforderungen an Kälteanlagen.“

Diese Richtlinienreihe umfasst fünf Teile und legt die Anforderungen für einen sicheren Betrieb in Abhängigkeit des Kältemittels fest.

- ▶ **VDMA-Einheitsblatt 24247** „Energieeffizienz von Kälteanlagen“

Diese Richtlinienreihe umfasst neun Teile und legt die Anforderungen für einen energieeffizienten Betrieb von Kälteanlagen für unterschiedliche Anwendungen bzw. Anlagenarten fest.

- ▶ **Richtlinie 2011/65/EU** zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten

Diese Richtlinie regelt die Verwendung und das Inverkehrbringen von Gefahrstoffen in Elektrogeräten und elektronischen Bauelementen. Sie wird inoffiziell mit RoHS abgekürzt (engl.: *Restriction of Hazardous Substances*; Beschränkung gefährlicher Stoffe). Ihre Zielsetzung ist es, problematische Bestandteile aus dem Elektronikschrott zu verbannen. Beispielsweise sollen verbleite Lötmaterialien elektronischer Bauteile durch unverbleite Alternativen ersetzt werden, umweltschädigende Flammschutzmittel in Kabelisolationen verboten sowie die Einführung entsprechender möglichst gleichwertiger Ersatzprodukte gefördert werden. Des Weiteren müssen auch die verwendeten elektrischen Bauelemente und Komponenten selbst frei von den problematischen Stoffen sein. Unternehmen, die entsprechende Geräte importieren oder innerhalb der EU vertreiben, sind durch die Richtlinien direkt betroffen, da sie verpflichtet sind, auf die Einhaltung der Vorschriften zu achten.

- ▶ **Verordnung (EU) Nr. 1907/2006** zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH)

Die EU-Chemikalienverordnung trat am 1. Juni 2007 in Kraft, wird seither fortlaufend aktualisiert und hat das bisherige Chemikalienrecht grundlegend harmonisiert und vereinfacht. REACH steht für *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals* (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien). Sie beruht auf dem Grundsatz, dass Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender die Verantwortung für ihre Chemikalien übernehmen. Sie müssen bei der obligatorischen Registrierung Daten vorlegen und die von den Stoffen ausgehenden Risiken selbst bewerten. Andernfalls dürfen Chemikalien nicht in Verkehr gebracht werden. Die Aufgaben der Behörden sind die Unterstützung der Akteure, die Prüfung der Registrierungen und die Regulierung von Stoffen mit besonders besorgniserregenden Eigenschaften oder von Stoffen, die zu Risiken für Mensch oder Umwelt führen. Aktuell wird eine Beschränkung von Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) diskutiert, davon wären auch die meisten in synthetischen Kältemitteln eingesetzten fluorierten Kohlenwasserstoffe betroffen.

► **Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm)**

Bei der TA Lärm handelt es sich um eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift, die dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche dient. Sie kommt sowohl für Genehmigungsverfahren von Gewerbe- und Industrieanlagen als auch zur Bewertung der Lärmbelastung durch nicht genehmigungspflichtige Anlagen zur Anwendung. Sie enthält Immissionsrichtwerte für die im Mittel auftretende Lärmbelastung für unterschiedliche Siedlungsgebiete und zusätzlich Maximalwerte für einzeln auftretende Geräuschspitzen.

Für thermische angetriebene Kälteanlagen gibt es derzeit keine normierten Vorschriften zur Prüfung der Leistungsfähigkeit bzw. zur Berechnung einer saisonalen Effizienzkennzahl.

► Das „**Merkblatt für die Förderung von Kälte- und Klimaanlage**“ (BAFA-Förderung) sieht vor, dass die Referenzkälteleistung für Sorptionsanlagen bei folgenden Eintrittstemperaturen bestimmt wird [27]:

- Kaltwasser: $T = 15\text{ °C}$
- Kühlwasser/Rückkühlung $T = 27\text{ °C}$
- Heizmedium $T = 85\text{ °C}$

Entsprechend des o.g. Merkblatts gilt weiterhin: soweit möglich sind die Anlagen auf diese Temperaturen umzurechnen. Normalkühl- und Tiefkühlanwendungen sind auf eine Kaltsoletemperatur von -8 °C auszulegen. In diesem Fall ist die so ausgelegte Kälteleistung um 50 % zu erhöhen. Abdampfbetriebene Absorptionsanlagen sind auf eine Dampftemperatur (Heizmedium) von 120 °C auszulegen. In diesem Fall ist die so ausgelegte Kälteleistung um 25% zu senken.

5 Existierende Zertifizierungen und Umweltzeichen

Ähnlich wie die Mindestanforderungen an die saisonale Effizienz von Flüssigkeitskühlern in der Europäischen Union gemäß der entsprechenden Ökodesign-Verordnung gibt es auch in einigen anderen Ländern Schwellenwerte hinsichtlich der nominalen und/oder saisonalen Effizienz.

Darüber hinaus ist die Zertifizierung für Flüssigkeitskühler durch Eurovent Certification weit verbreitet. Dabei handelt es sich um ein nicht gewinnorientiertes Tochterunternehmen von Eurovent, dem europäischen Dachverband der Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteindustrie. Erklärtes Ziel der Zertifizierungen ist es, den Kunden durch die Zertifizierung nach europäischen Normen Sicherheit bezüglich der technischen Eigenschaften eines Produktes zu geben. Aktuell (Stand 2022) sind über Eurovent 40 Zertifizierungsprogramme verfügbar. Flüssigkeitskühler – genauso wie Wärmepumpen – werden durch das Programm LCP-HP (*Liquid chilling packages and heat pumps*) adressiert. Dieses beinhaltet Leistungs- und Effizienztests gemäß der einschlägigen Normen genauso wie die Bestimmung der akustischen Emissionen (Schalleistungspegel). Die während der Prüfung erhobenen Daten werden über den Internetauftritt <https://www.eurovent-certification.com> veröffentlicht und dienen im nachfolgenden Kapitel 6 als Datenquelle.

Seit Anfang 2021 ist in Indien für Flüssigkeitskühler das *Star Label Programme Chillers* des dortigen *Bureau of Energy Efficiency* verbindlich. Dieses beinhaltet neben einer Untergrenze für die Effizienz unter Nominalbedingungen auch ein fünfstufiges Label für die saisonale Effizienz.

6 Ausgewählte technische Eigenschaften elektrischer Flüssigkeitskühler

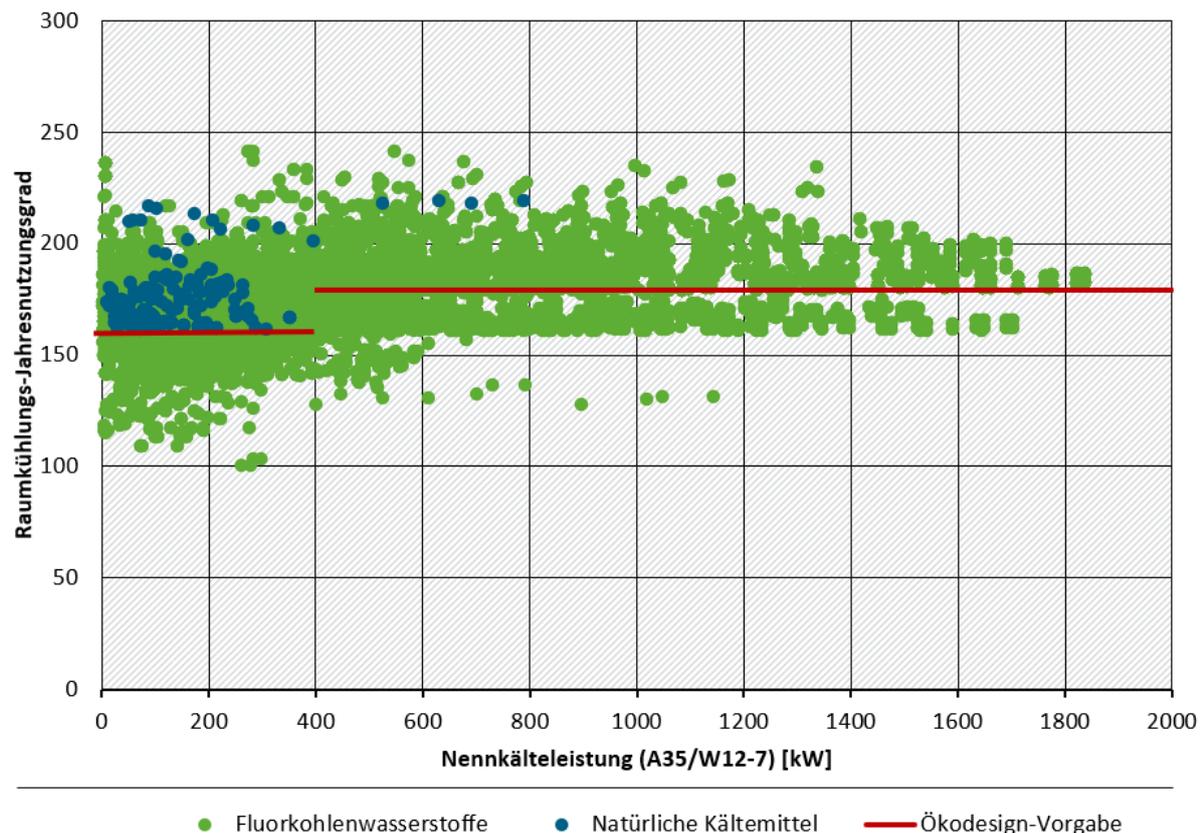
6.1 Typische Effizienzen und beste verfügbare Technologie

Die Mindesteffizienzen, die in Europa auf den Markt gebrachte Flüssigkeitskühler aufweisen müssen, sind in den EU-Verordnungen Nr. 2015/1095 bzw. 2016/2281 festgeschrieben (siehe Kapitel 4). Für Komfortklimaanwendungen wird dabei der Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad $\eta_{s,c}$, welcher sich aus dem SEER (*Seasonal Energy Efficiency Ratio*) berechnet, herangezogen, für Prozesskühlung der SEPR (*Seasonal Energy Performance Ratio*).

Abbildung 5 zeigt die Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrade von Komfortkühlern (diese Angabe ist am häufigsten in den Datenblättern zu finden), die seit dem Jahr 2012 eine Zertifizierung bei Eurovent Certification durchlaufen haben (17). Zusätzlich wurden Daten aus einer Datenblattrecherche unter Anbietern von Flüssigkeitskühlern mit natürlichen Kältemitteln in Deutschland ergänzt. Die Datenerhebung spiegelt den Stand März 2023 wider.

Wie in den nachfolgenden Grafiken liegen einige Werte unter der Mindestanforderung nach Ökodesign. Diese stammen von Produkten, die vor der Einführung von Mindestanforderungen auf den Markt gebracht wurden, oder von reversiblen Wärmepumpen, die nicht den Effizianzorderungen nach den o.g. Verordnungen unterliegen.

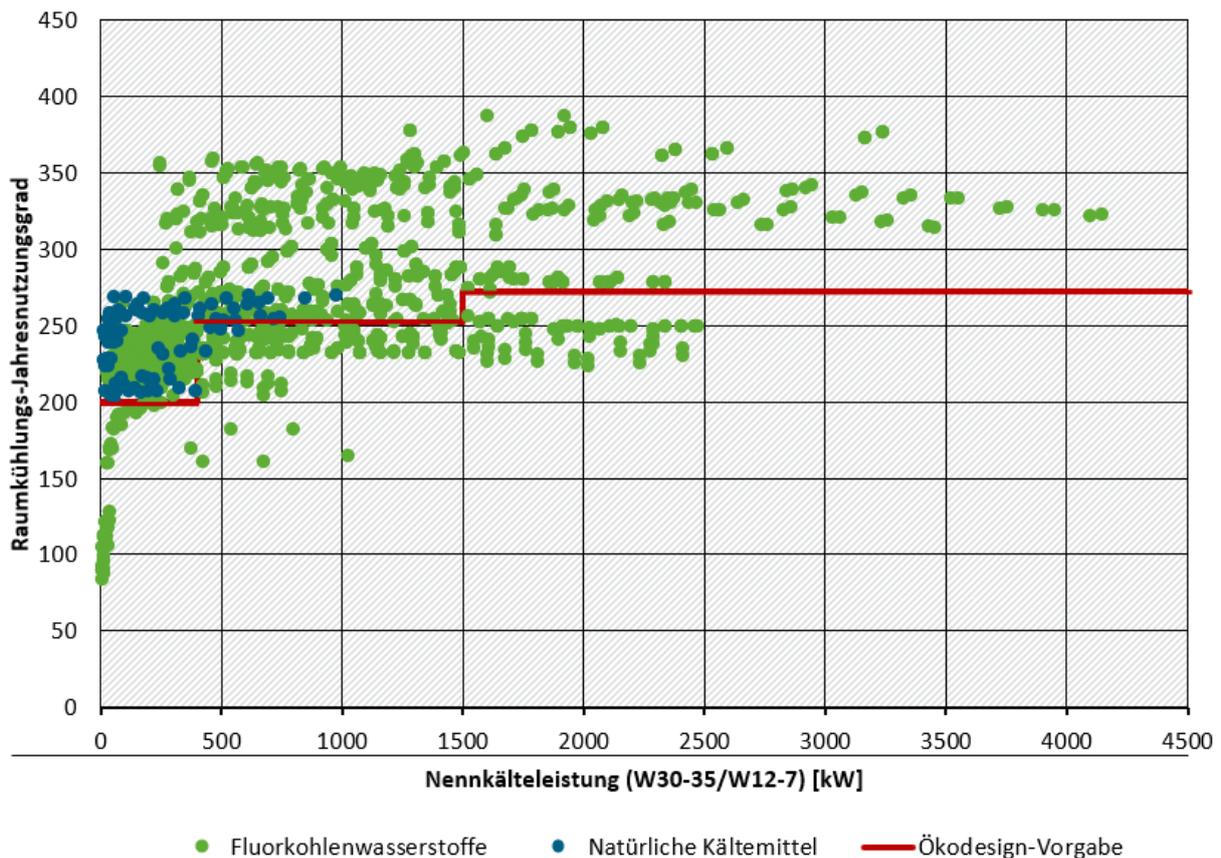
Abbildung 5: Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad von luftgekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung nach Kältemittelart



A35: 35 °C Luftertrittstemperatur im Kondensator; W12-7: 12 °C bzw. 7 °C Wasserein- bzw. austrittstemperatur im Verdampfer. Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von Eurovent Certification und eigener Recherche, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Abbildung 5 zeigt Raumkühlungs-Jahresnutzungsgerade von marktverfügbaren luftgekühlten Anlagen. Für 141 Anlagen mit natürlichen Kältemitteln von acht Herstellern konnte in einer Datenblattrecherche ein Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad (bzw. SEER) ermittelt werden. Es zeigt sich, dass die besten dieser Anlagen unabhängig von der Leistungsklasse Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrade um 215% (bzw. SEER-Werte um 5,5) erreichen. Die vier Datenpunkte mit Nennkälteleistungen über 400 kW liegen etwas über diesem Wert und stammen von Anlagen eines Herstellers, die über effiziente Schraubenverdichter verfügen. Der mittlere Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad der übrigen 137 Anlagen mit Nennleistungen unter 400 kW liegt bei 173% und wird von 67 Anlagen übertroffen.

Abbildung 6: Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad von wassergekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung nach Kältemittelart



W30-35: 30 °C bzw. 35 °C Wasserein- bzw. -austrittstemperatur im Kondensator; W12-7: 12 °C bzw. 7 °C Wasserein- bzw. -austrittstemperatur im Verdampfer.

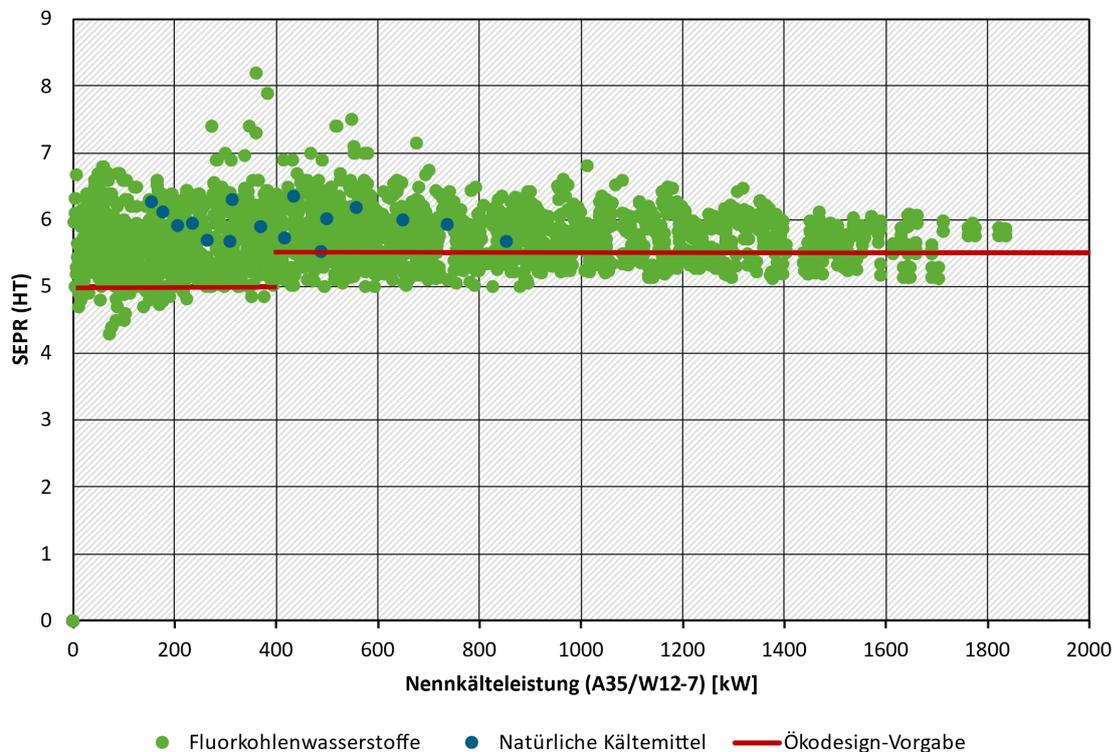
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von Eurovent Certification und eigener Recherche, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Bei wassergekühlten Komfort-Flüssigkeitskühlern liegt die Obergrenze des Jahresnutzungsgrads für Geräte bis ca. 250 kW über alle Kältemittel hinweg bei rund 270% und steigt darüber deutlich an auf bis über 350%, da hier effizientere Verdichter zum Einsatz kommen. Anlagen bis 500 kW Nennleistung sind mit sehr großen Scrollverdichtern vorstellbar. Ab 100 kW kommen auch Schraubenverdichter in Frage, die bei stationären und vorgegebenen Betriebsbedingungen sehr hohe Effizienzen erreichen. Für 88 Anlagen mit natürlichen Kältemitteln von drei Herstellern konnten Effizienzangaben ermittelt werden. 67 Anlagen davon liegen im Leistungsbereich unter 400 kW. Deren mittlerer Jahresnutzungsgrad liegt bei 233% und wird von 39 Anlagen übertroffen. Weitere 21 Anlagen haben Nennleistungen zwischen 400 kW und

1500 kW. Diese weisen einen mittleren Jahresnutzungsgrad von 257% auf, zehn Anlagen liegen darüber.

Für den SEPR (HT) sind von Eurovent zahlreiche Daten für luftgekühlte Flüssigkeitskühler mit Fluorkohlenwasserstoffen verfügbar, wie Abbildung 7 zeigt. Daten von Anlagen mit natürlichen Kältemitteln konnten dagegen nur für wenige Anlagen recherchiert werden.

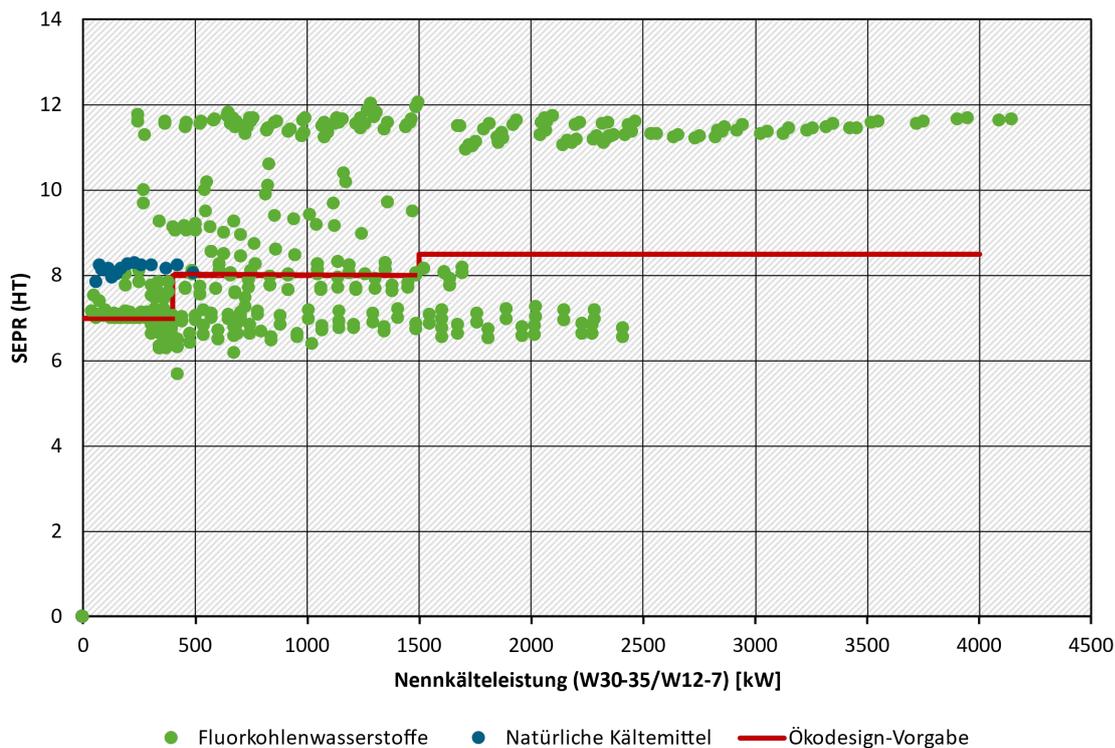
Abbildung 7: SEPR (HT) von luftgekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von Eurovent Certification und eigener Recherche, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Auch für wassergekühlte HT-Prozesskühler sind in der Eurovent-Datenbank nur für Anlagen mit Fluorkohlenwasserstoffen saisonale Effizienzwerte gelistet. Diese sind in Abbildung 8 neben wenigen separat ermittelten Werten für Flüssigkeitskühler mit natürlichen Kältemitteln dargestellt. Da die Werte für synthetische Kältemittel zu 98% auf zwei Modellreihen eines Herstellers basieren, sind sie als bedingt repräsentativ zu betrachten.

Abbildung 8: SEPR (HT) von wassergekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung

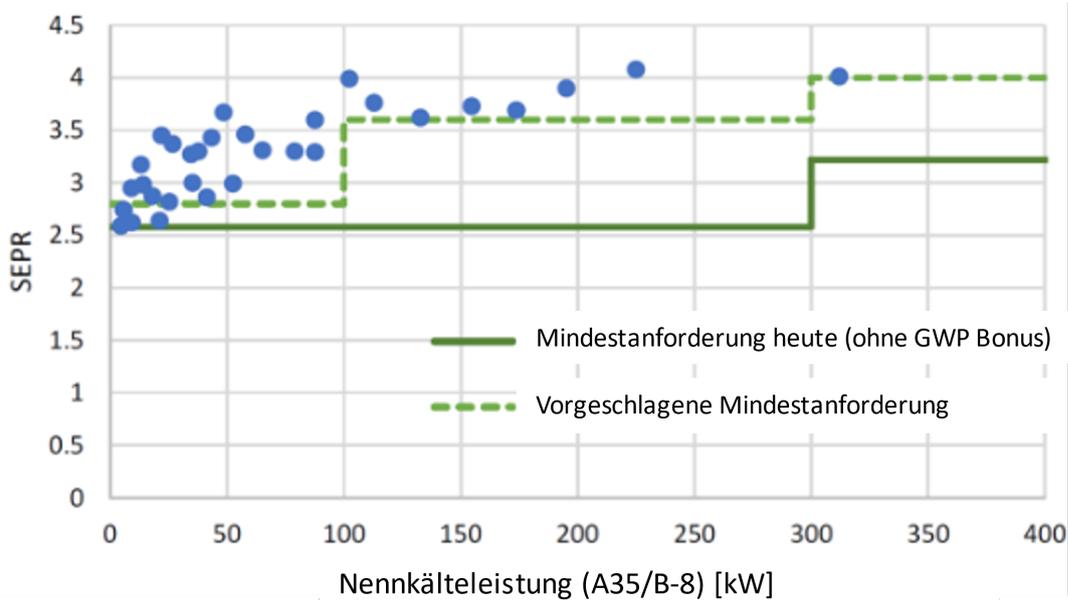


Quelle: Eurovent und eigene Recherchen, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Die Verfügbarkeit saisonaler Effizienzkennzahlen für MT-Prozesskühler ist ebenfalls sehr eingeschränkt. In die Eurovent-Datenbank sind seit 2012 lediglich Daten je einer Modellreihe für luft- bzw. wassergekühlte Geräte aufgenommen worden (63 bzw. acht Geräte, alle mit HFKW als Kältemittel). Weiter veröffentlicht lediglich ein Hersteller von Flüssigkeitskühlern mit natürlichem Kältemittel diese Werte in den Datenblättern. Daher wird an dieser Stelle auf den vorläufigen Bericht zur Überarbeitung der EU-Verordnung Nr. 2015/1095 zurückgegriffen. Für diesen wurden SEPR-Werte von vier Herstellern ermittelt, bei größeren Anlagen kommt dabei primär Ammoniak als Kältemittel zum Einsatz, bei kleineren R410A, R134a, R290 sowie R32-Gemische (16). Für luftgekühlte Anlagen sind 35 Datenpunkte verfügbar, welche in Abbildung 9 zusammengestellt sind. Diese liegen fast durchweg deutlich über der aktuell erforderlichen Mindesteffizienz. Als Grund nennen die Autoren, dass vorrangig Hersteller von besonders effizienten Geräten ihre Effizienzdaten verfügbar machen. Für die Zukunft schlagen die Autoren die folgenden neuen SEPR (MT)-Untergrenzen vor und empfehlen, den aktuell geltenden niedrig-GWP-Bonus, bei dem die Mindesteffizienz für Geräte mit einem Kältemittel mit einem GWP unter 150 um 10% herabgesetzt wird, abzuschaffen:

- ▶ 2,8 für Geräte bis 100 kW Nennleistung
- ▶ 3,6 für Geräte zwischen 100 kW und 300 kW Nennleistung
- ▶ 4,0 für Geräte mit Nennleistungen über 300 kW

Abbildung 9: SEPR (MT) von luftgekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung

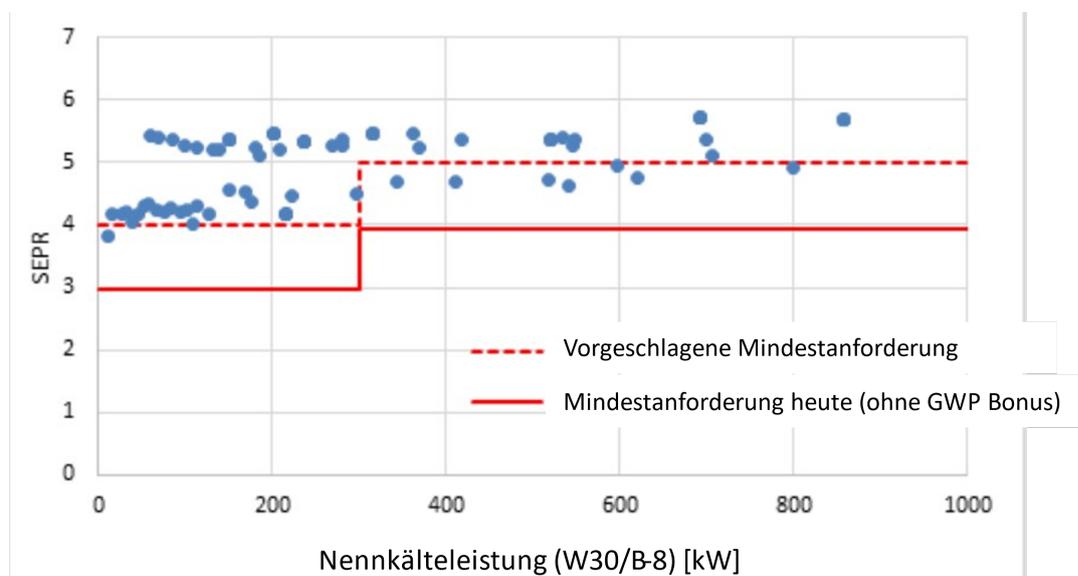


Quelle: (16)

Die erhobenen Werte für wassergekühlte Anlagen liegen aus dem genannten Grund ebenfalls deutlich über den aktuell geltenden Mindestwerten, wie Abbildung 10 zeigt. Folglich werden auch hier eine Abschaffung des *low*-GWP-Bonus sowie neue Mindestwerte empfohlen:

- ▶ 4,0 für Geräte bis 300 kW Nennleistung
- ▶ 5,0 für Geräte mit einer Nennkälteleistung über 300 kW

Abbildung 10: SEPR (MT) von wassergekühlten Flüssigkeitskühlsätzen in Abhängigkeit der nominalen Kälteleistung

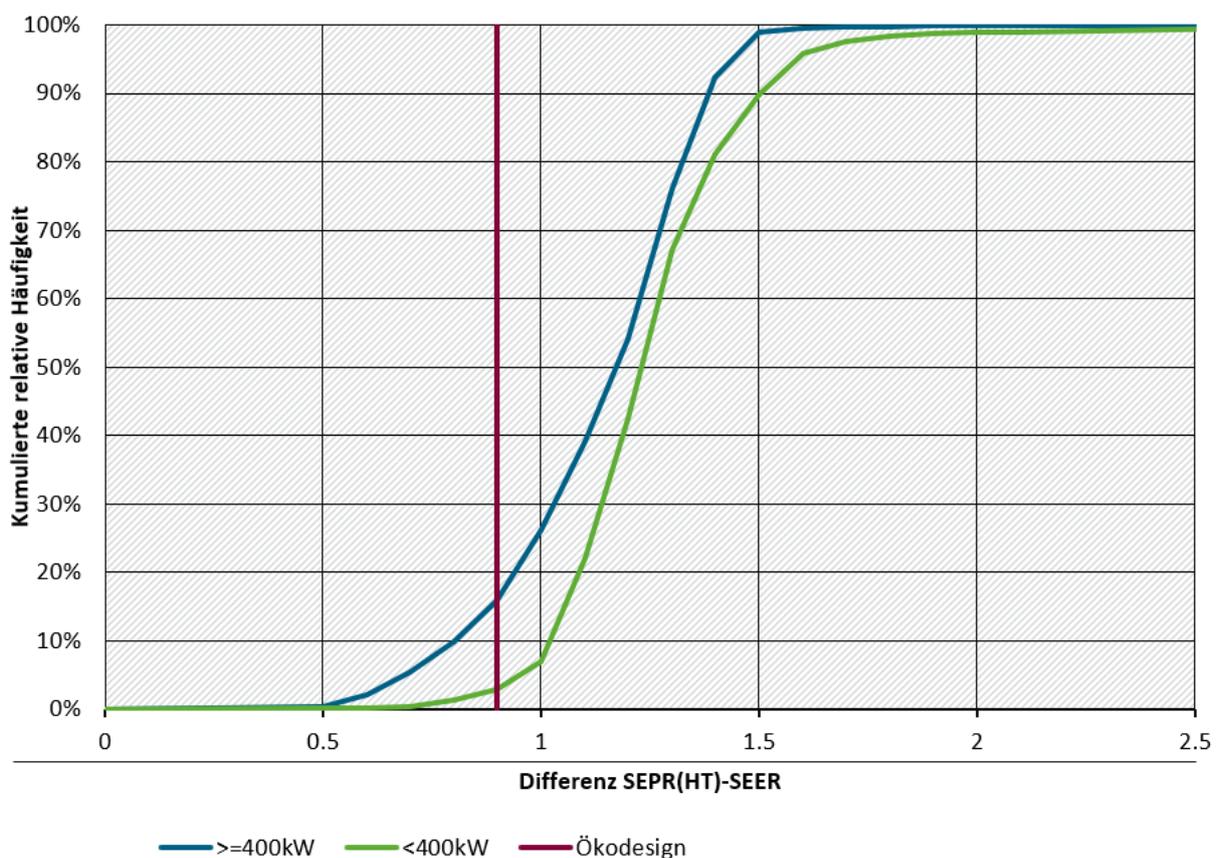


Quelle: (16)

Für LT-Prozesskühler veröffentlicht lediglich ein Hersteller von Flüssigkeitskühlern SEPR-Werte. Weder in der Eurovent-Datenbank noch im Bericht zur Überarbeitung der EU-Verordnung Nr. 2015/1095 sind hierzu Daten enthalten. Aus diesem Grund wird dieser Betriebsbereich an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

Wie zuvor beschrieben, fließen in die Berechnung von SEER und SEPR (HT) unterschiedliche Teillastpunkte ein, so dass sich die Werte nicht ineinander umrechnen lassen. Im Folgenden wird untersucht, wie stark die beiden Werte dennoch miteinander korrelieren. So soll bewertet werden, ob ein einzelner oder beide als Kriterien für den Blauen Engel herangezogen werden sollten. Dazu ist in Abbildung 11 für alle luftgekühlten Kälteanlagen, für die sowohl der SEER als auch der SEPR (HT) in den Eurovent-Daten verfügbar ist, die relative Häufigkeit der Differenz dieser Werte dargestellt. Zusätzlich ist die Abweichung zwischen dem jeweiligen Mindestwert nach Ökodesign (über alle Leistungsklassen: 0,9) dargestellt. Aus der Grafik wird ersichtlich, dass bei rund 3% der Flüssigkeitskühler unter 400 kW Nennleistung und bei rund 15% der leistungsstärkeren Anlagen die Differenz zwischen SEPR (HT) und SEER unter 0,9 liegt. Im Umkehrschluss lässt sich ableiten, dass bei der breiten Mehrheit der Kälteanlagen der SEPR (HT) mindestens 0,9 Punkte über dem SEER liegt. Folglich scheint es zulässig, lediglich den SEER (bzw. den Jahresnutzungsgrad zur Raumkühlung) als Effizienzkriterium heranzuziehen. Eine hohe saisonale Effizienz in Komfortanwendungen bedeutet demnach mit hoher Wahrscheinlichkeit auch eine gute Effizienz unter Prozesskühlungsbedingungen.

Abbildung 11: Abweichung zwischen SEPR (HT) und SEER für über 6000 nach Eurovent vermessene luftgekühlte Flüssigkeitskühler



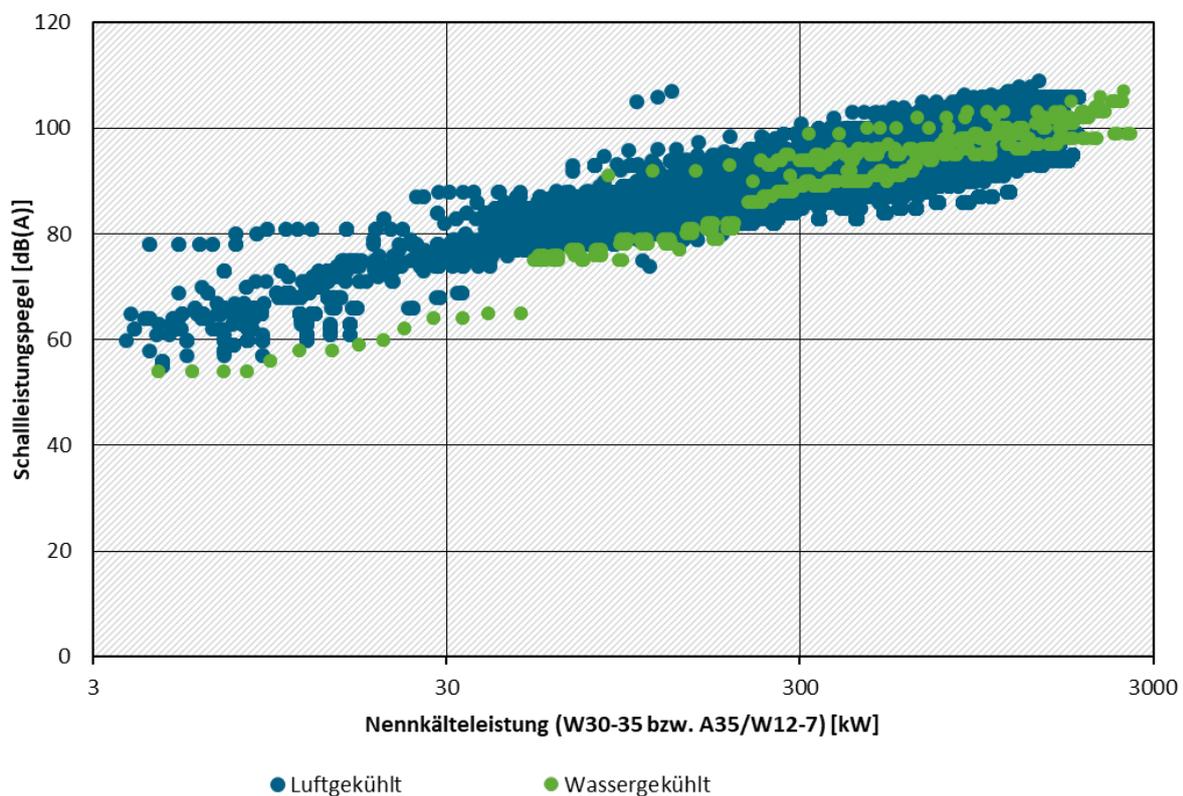
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von Eurovent Certification, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Für wassergekühlte Kälteanlagen sind nur für deutlich unter 100 Anlagen beide Effizienzwerte (SEPR (HT) sowie SEER) in den Eurovent-Daten enthalten. Somit lässt sich keine gleichartig aussagekräftige Auswertung durchführen.

6.2 Schallemissionen

Abbildung 12 gibt eine Übersicht über die bei Flüssigkeitskühlern gemessenen Schalleistungspegel, gemessen nach ISO 3744 im Freifeld oder gemäß ISO 3741 im Hallraum. Im kleinen Leistungsbereich werden durchaus Pegel unter 60 dB erreicht, ab einer Leistung von ca. 200 kW liegen alle Geräte durchweg über 80 dB, mit steigender Tendenz. Substanzielle Unterschiede zwischen luft- und wassergekühlten Geräten gibt es nicht. Dies lässt den Schluss zu, dass der Verdichter maßgeblich für die Schalleistung ist.

Abbildung 12: Schalleistungspegel von Flüssigkeitskühlern in Abhängigkeit der Nominalleistung bei W12-7 (logarithmische Skalierung)



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von Eurovent Certification

7 Darstellung der Umweltlastungspotentiale durch die Verwendung natürlicher Kältemittel

Die Herstellung und der Betrieb von Flüssigkeitskühlern belasten grundsätzlich die Umwelt – ein Umstand, der auf sämtliche Produkte zutrifft. Die gängigste Methode zur Beschreibung der Effekte ist die Ökobilanz bzw. Lebenszyklusanalyse (engl. Life Cycle Assessment, LCA). Dabei werden die unterschiedlichen Phasen im Lebenszyklus eines Produkts anhand einer ganzen Reihe von Einflusskategorien untersucht. Dies sind u.a.

- ▶ Treibhauspotenzial (engl.: *Global warming potential*, GWP)
- ▶ Abiotisches Erschöpfungspotenzial (engl.: *Abiotic depletion potential*, ADP)
- ▶ Wasserverbrauch (engl.: *Blue water consumption*, BWC)
- ▶ Eutrophierungspotenzial (engl.: *Eutrophication potential*, EP)
- ▶ Ozonaubbaupotenzial (engl.: *Ozone depletion potential*, ODP)
- ▶ Ozonbildungspotenzial (engl.: *Photochemical ozone creation potential*, POCP)
- ▶ Primärenergieeinsatz

Im Kontext von energieverbrauchsrelevanten Produkten und hinsichtlich der aktuellen Bemühungen zur Begrenzung der globalen Erwärmung ist das Treibhauspotenzial wohl die relevanteste Bewertungsgröße für Flüssigkeitskühler. Diese These wird gestützt durch eine vereinfachte Lebenszyklusanalyse von Raumklimageräten, in der sich der Energiebedarf während des Betriebes dieser Geräte als der dominierende Umweltbelastungsfaktor in allen Kategorien herausstellte (18). Daher erfolgt die Bewertung in den nachfolgenden Unterkapiteln anhand der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial.

Ein weiterer Grund, der für den Ersatz von synthetischen durch natürliche Kältemittel spricht, sind persistente atmosphärische Abbauprodukte ersterer, insbesondere die Bildung von Trifluoressigsäure (TFA). TFA ist eine starke Säure, die für verschiedene Organismen, möglicherweise auch uns Menschen, giftig ist (19). Es kommt natürlicherweise in den Ozeanen in sehr geringen Konzentrationen vor, jedoch nicht in Süßwasser oder anderen terrestrischen Ökosystemen (20). Durch die Zersetzung fluorhaltiger Kältemittel in der Atmosphäre und mangels eines natürlichen Abbauprozesses haben die TFA-Konzentrationen in Gewässern bereits stark zugenommen (21).

Auch aus diesem Grund wird in der Europäischen Union aktuell ein Verbot von Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) im Rahmen der EU-Chemikalienverordnung REACH angestrebt. Davon wären die meisten synthetischen Kältemittel betroffen, gerade auch die neueren Mischungen synthetischer Kältemittel mit niedrigem Treibhauspotenzial. Von den in Flüssigkeitskühlern eingesetzten Kältemitteln ist lediglich R32 nicht betroffen.

7.1 Methodik zur Bewertung der Treibhausgasemissionen

Das Umweltlastungspotenzial hinsichtlich der Treibhausgasemissionen durch den Einsatz natürlicher Kältemittel in Flüssigkeitskühlern wird exemplarisch durch die Gegenüberstellung eines luftgekühlten Geräts mit 100 kW Nennkälteleistung für die Kältemittel R410A (Stand heute das meist verwendete), R32 und R290 bewertet.

Übliche Methoden für diese Zielsetzung sind die Bewertung des *Total Equivalent Warming Impact* (TEWI) oder der *Life Cycle Climate Performance* (LCCP). Beide Methoden ziehen das

kumuliert verursachte Treibhauspotenzial in kg CO₂-Äquivalente (kg CO₂ äq.) über den Betrachtungshorizont als Bewertungsgröße heran. Das zuerst genannte Verfahren konzentriert sich auf die Emissionen eines Geräts während der Betriebsphase und der Entsorgung. Hingegen berücksichtigt der LCCP-Ansatz zusätzlich die Emissionen aus der Produktionsphase und wird daher für eine möglichst umfassende Bewertung an dieser Stelle gewählt.

Um den Einfluss unterschiedlicher Eingangsparameter darzustellen, werden anstelle einer umfassenden Sensitivitätsanalyse bei der Festlegung der Eingangswerte drei Varianten betrachtet:

- a) Referenz: typische Werte aus der Literatur
- b) Variante 1: Vorteilhafte Annahmen für das System mit natürlichen Kältemittel (geringere Füllmenge und höhere Jahresarbeitszahl, höhere Kältemittelverluste, niedrige Volllaststundenzahl und kürzere Lebensdauer, so dass Herstellung und Lebensende anteilig stärker ins Gewicht fallen)
- c) Variante 2: Annahmen, die den Einfluss des hohen GWP des fluorierten Kältemittels reduzieren, indem der Anlagenbetrieb in den Vordergrund rückt (geringe Verluste, hohe Volllaststundenzahl und längere Lebensdauer, so dass Herstellung und Lebensende einen geringeren Anteil an den kumulierten Emissionen haben)

Gemäß der gültigen Berechnungsvorschrift setzt sich die LCCP aus den direkten und den indirekten Emissionen zusammen (22).

$$LCCP = \text{Direkte Emissionen} + \text{Indirekte Emissionen}$$

Die direkten Emissionen berechnen sich gemäß der Richtlinie als Summe aus Leckageverlusten, (Recycling-)Verlusten am Lebensende sowie Abbauprodukten in der Atmosphäre. Zusätzlich wurden noch die Verluste bei der Befüllung ergänzt, so dass sich folgende Gleichung ergibt:

$$\text{Direkte Emissionen} = C * (FL + L * ALR + EOL) * (GWP + ADP)$$

mit

<i>C</i>	Kältemittelfüllmenge (<i>C: charge</i>) [kg CO ₂ äq. / kWh]
<i>FL</i>	Befüllverluste (<i>FL: filling loss</i>) [%]
<i>L</i>	Lebensdauer [a]
<i>ALR</i>	Jährliche Leckagerate (<i>ALR: annual leakage rate</i>) [%]
<i>EOL</i>	Leckage nach Erreichen der Lebensdauer einer Anlage (<i>EOL: end-of-life leakage</i>) [%]
<i>GWP</i>	Treibhauspotenzial (<i>GWP: global warming potential</i>) [kg CO ₂ äq. / kg]
<i>ADP</i>	Treibhauspotenzial der primären und weiterer Abbauprodukte eines Kältemittels (<i>ADP: atmospheric degradation products</i>) [kg CO ₂ äq. / kg]

Die indirekten Emissionen setzen sich wie folgt zusammen:

$$\text{Indirekte Emissionen} = L * AEC * EM + \sum m * MM + \sum mr * RM + C * (1 + L * ALR) * RFM + C * (1 - EOL) * RFD$$

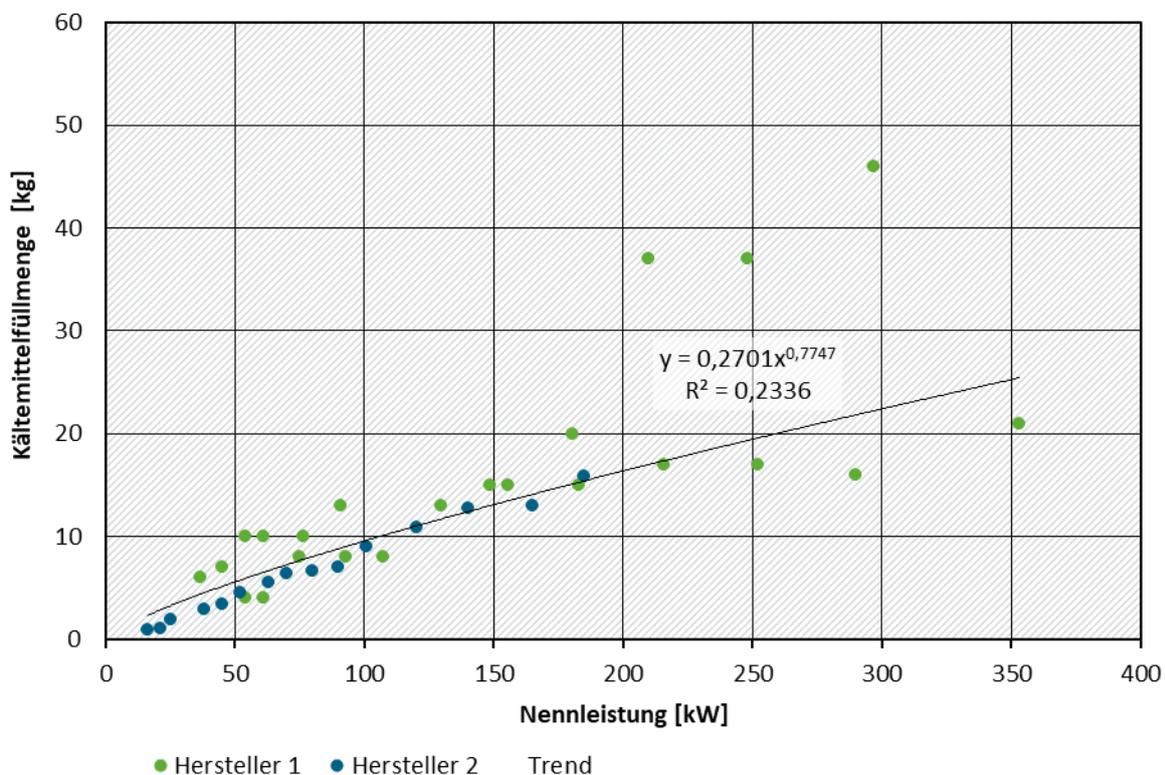
<i>AEC</i>	Jährlicher Energiebedarf (<i>AEC: annual energy consumption</i>) [kWh / a]
<i>EM</i>	Emissionen durch den deutschen Strommixes [kg CO ₂ äq. / kWh]
<i>MM</i>	spezifische Emissionen durch die Anlagenproduktion [kg CO ₂ äq. / kg]
<i>m</i>	Masse einer Anlage [kg]

<i>RFM</i>	Emissionen aufgrund der Produktion des Kältemittels (<i>RFM: refrigerant manufacuring emissions</i>) [kg CO ₂ äq. / kg]
<i>RM</i>	Emissionen durch Recycling [kg CO ₂ äq. / kg]
<i>mr</i>	Masse an rezykliertem Material [kg]
<i>RFD</i>	Emissionen durch die Kältemittelbeseitigung (<i>RFD: refrigerant disposal emissions</i>) [kg CO ₂ äq. / kg]

7.2 Eingangswerte für die Bewertung der Treibhausgasemissionen

Zur Bestimmung der **Kältemittelfüllmenge C** wurde auf Basis von Datenblattangaben von zwei Herstellern von Anlagen mit R290 sowie einem Hersteller für Anlagen mit R410A eine Fitfunktion in Abhängigkeit der Nennkälteleistung (bei A35/W12-7) generiert. Dabei zeigten sich keine grundlegenden Unterschiede zwischen den beiden Kältemitteln, was Literaturangaben widerspricht, nach denen die Füllmenge von Anlagen mit HFKW bis zu doppelt so hoch ist wie bei R290-Anlagen (23). Die resultierende Funktion ergibt für Anlagen mit 100 kW Nennkälteleistung eine typische Füllmenge von 9,6 kg. Um den Literaturangaben Rechnung zu tragen, wurde für Variante 1 angenommen, dass die Füllmenge der Systeme mit HFKW 50% höher liegt (14,4 kg).

Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Füllmenge und Nennleistung luftgekühlter Flüssigkeitskühler basierend auf Datenblattangaben zweier Hersteller.



Quelle: Darstellung basierend auf eigener Recherche, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Als **Lebensdauer L** von Kaltwassersätzen werden in den LCCP-Richtlinien 15 Jahren empfohlen. Dieser Wert deckt sich u.a. mit den Richtwerten gemäß VDI 2067⁵ und wird daher für die Referenzvariante übernommen. Für Variante 1 wurde dagegen ein 20% niedrigerer Wert (12 Jahre) angenommen, für Variante 2 ein 20% höherer Wert (18 Jahre). Dadurch verringert bzw. erhöht sich der Einfluss der durch den Stromverbrauch während des Anlagenbetriebs verursachten Emissionen.

Die **jährliche Leckagerate ALR** liegt im Referenzfall bei 2,9%. Dieser Wert wird im nationalen Treibhausgasinventar für Kaltwassersätze angesetzt und entspricht damit dem Mittelwert, der vom VDKF für Gewerbe-/Industriekälte bestimmten Verlustraten (nämlich 3,4% bzw. 2,4%) (5, 6). Für Variante 1 werden hier 4% angesetzt (gegenüber den in der LCCP-Richtlinie empfohlenen 5% immer noch konservativ), für Variante 2 1,5%. In dieser Größenordnung liegen die vom VDKF ermittelten Verlustraten für werksseitig geschlossene Kältekreise.

Zur **Leckagerate nach Erreichen der Lebensdauer einer Anlage (EOL)** gibt es eine weite Spanne an veröffentlichten Werten, die von 7% bis 100% reicht. Daher wird für den Referenzfall die in der LCCP-Richtlinie empfohlenen 15% für Chiller übernommen, für Variante 1 und 2 dagegen 20% (nationales Emissionsinventar) bzw. 7% (VDKF) angesetzt.

Das **Treibhausgaspotenzial GWP** wird gemäß dem 4. Klimabericht des IPCC angesetzt (6). Das zusätzliche GWP der atmosphärischen Abbauprodukte der Kältemittel wurde basierend auf weiterführenden Recherchen bestimmt (24).

Tabelle 5: Treibhauspotenzial der betrachteten Kältemittel (GWP) sowie ihrer atmosphärischen Abbauprodukte (ADP)

	GWP	ADP
R410A	2.088	180
R32	675	90
R290	3	0

Der **jährliche Energiebedarf AEC** wird dabei aus der Nennkälteleistung, der Volllaststundenzahl sowie der Jahresarbeitszahl ermittelt.

Für den Referenzfall werden zugrunde gelegt: 1.500 Volllaststunden (niedriger Wert für Prozesskühlung bzw. hoher Wert für Gebäudeklimatisierung, gemäß (25)) sowie ein Jahresnutzungsgrad von 5,55 (entspricht dem Mittelwert aus den Mindestwerten für Komfort- und HT-Prozesskühlung laut Ecodesign-Richtlinie plus 1); somit ergeben sich: $100 \text{ kW} * 1500 \text{ h} / 5,55 = 27.027 \text{ kWh}$.

In Variante 1 ergibt sich bei 400 Volllaststunden (typischer Wert für Gebäudeklimatisierung in Deutschland) und einem SEER von 5,1 (R410A, Mindestwert für Komfortkühler gemäß Ecodesign-Richtlinie plus 1) bzw. 5,35 (R290 unter der Annahme von einer 5% höheren

⁵ VDI 2067 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen

saisonalen Effizienz aufgrund einer konservativen Bewertung von Zertifizierungsdatenbanken (HP-Keymark⁶, GET⁷) 7.843 kWh bzw. 7.470 kWh.

In Variante 2 ergeben sich bei 4.000 Volllaststunden (typischer Wert für Prozesskühlung) und einem SEPR von 6 (Mindestwert für HT-Prozesskühler gemäß Ecodesign-Richtlinie plus 1) 66.667 kWh für beide Kältemittel.

Die **mittleren Emissionen des deutschen Strommixes EM** über die Lebensdauer werden auf Basis der Projektionen bis 2060 bestimmt (26). Ausgehend von einem spezifischen Emissionsfaktor von 0,36 kg CO₂ äq./kWh im Jahr 2022 wird eine Reduktion auf 0,159 kg CO₂ äq./kWh, 0,133 kg CO₂ äq./kWh bzw. 0,107 kg CO₂ äq./kWh in den Jahren 2034, 2037 bzw. 2040 vorhergesagt. Damit ergeben sich die in Tabelle 6 dargestellten Mittelwerte über die jeweiligen Lebensdauern.

Tabelle 6: Betrachtete Lebensdauern und resultierender mittlerer Emissionsfaktor für Strom

Variante	Lebensdauer [a]	Resultierender mittlerer Emissionsfaktor [kg CO ₂ äq. / kWh]
Referenz	15	0,24
Variante 1	12	0,26
Variante 2	18	0,22

Mangels einer fundierteren Datenquelle wird für die Materialaufteilung der Kälteanlagen der Vorschlag aus der LCCP-Richtlinie übernommen. In Kombination mit materialspezifischen Emissionswerten für die Herstellung, welche aus der GaBi-Datenbank für Deutschland übernommen werden und der Annahme, dass 90% der Masse am Lebensende dem Recycling zugeführt und 10% entsorgt wird, ergeben sich die **spezifischen Emissionen durch die Anlagenproduktion MM**. Die Werte sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Massenaufteilung und materialspezifische Emissionsfaktoren

	Masseanteil	Produktion [kg CO ₂ äq. / kg]	Gutschrift Recycling [kg CO ₂ äq. / kg]	Entsorgung [kg CO ₂ äq. / kg]	Gesamt [kg CO ₂ äq. / kg]
Stahl	0,46	2,31	-1,38	0,07	1,08
Aluminium	0,12	9,58	-8,08	0,07	2,31
Kupfer	0,19	4,04	-3,19	0,07	1,18
Kunststoff	0,23	2,80	1,28	0,07	3,96

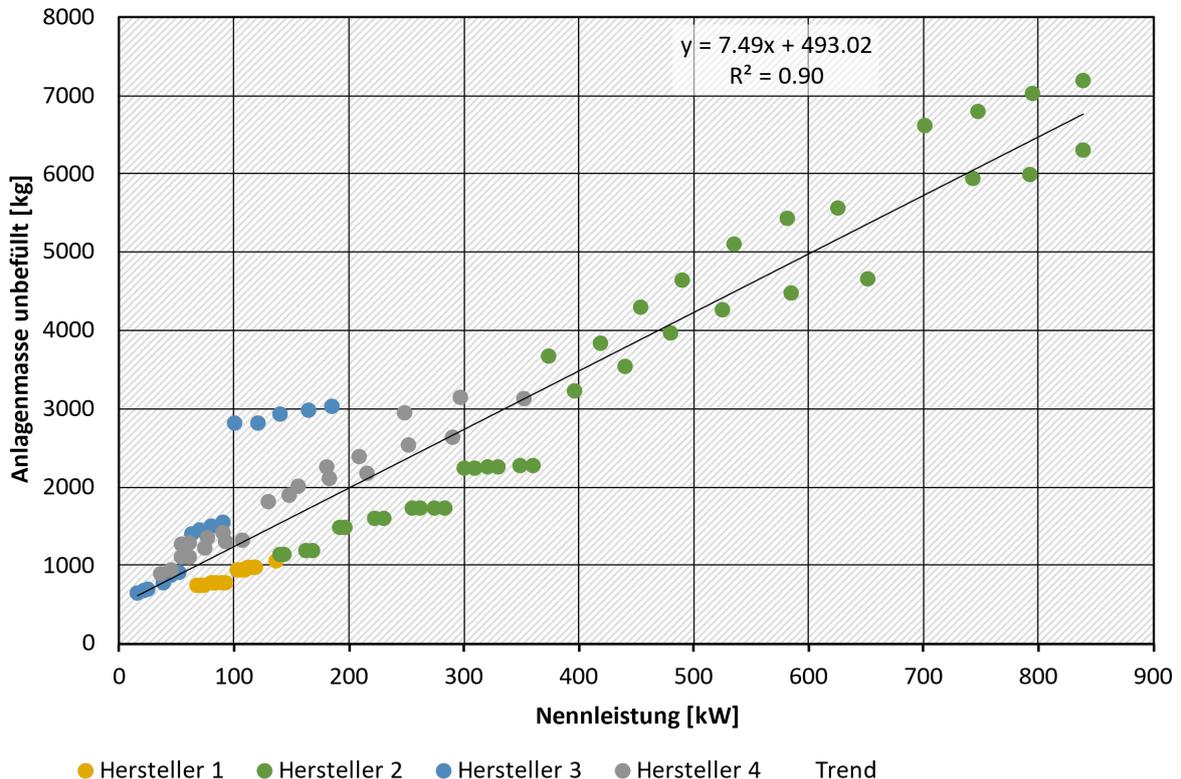
Gesamt (MM) = Produktion + 90% Recycling + 10% Entsorgung

⁶ <https://www.heatpumpkeymark.com/>

⁷ <https://www.produktdatenbank-get.at/>

Die **Anlagenmasse m** wird analog zur Kältemittelfüllmenge aus einer Fitfunktion über Datenblattwerte bestimmt (s. Abbildung 14). Damit ergeben sich 1.242 kg im Standardfall bzw. 1.118 kg in Variante 1 für die optimierte R290-Anlage.

Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Anlagenmasse (ohne Kältemittel) und Nennleistung basierend auf Datenblattangaben unterschiedlicher Hersteller.



Quelle: Darstellung basierend auf eigener Recherche, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Für die **spezifischen Emissionen aus der Produktion der Kältemittel RFM** werden die in Tabelle 8 aufgeführten Werte aus der Ökobau-Datenbank herangezogen (27). Diese beziehen sich auf das Referenzjahr 2018, sind somit vergleichsweise aktuell und wurden dezidiert für Deutschland berechnet. Sie liegen damit etwas unter den Werten, die beispielsweise in der LCCP-Richtlinie vorgeschlagen werden. Generell ist davon auszugehen, dass die Werte sehr optimistisch sind, da sie auf der Annahme beruhen, dass die Nebenprodukte der Kältemittelherstellung direkt nutzbar sind. Aus diesem Grund reduzieren die Nebenprodukte die spezifischen Emissionen, die den Kältemitteln selbst angelastet werden. Andere (ältere) Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Nebenprodukte entweder für die Weiternutzung aufwändig aufgereinigt oder entsorgt werden müssen (28, 29). Daraus resultieren Emissionsfaktoren, die einen Faktor 10 über den hier genannten liegen. Da die Kältemittelherstellung jedoch selbst bei Übernahme dieser höheren Werte höchstens 1,7% der Gesamtemissionen ausmacht, wird für die vorliegenden Untersuchungen mit den Werten der Ökobau-Datenbank gerechnet.

Tabelle 8: Spezifische Emissionsfaktoren für die Kältemittelproduktion

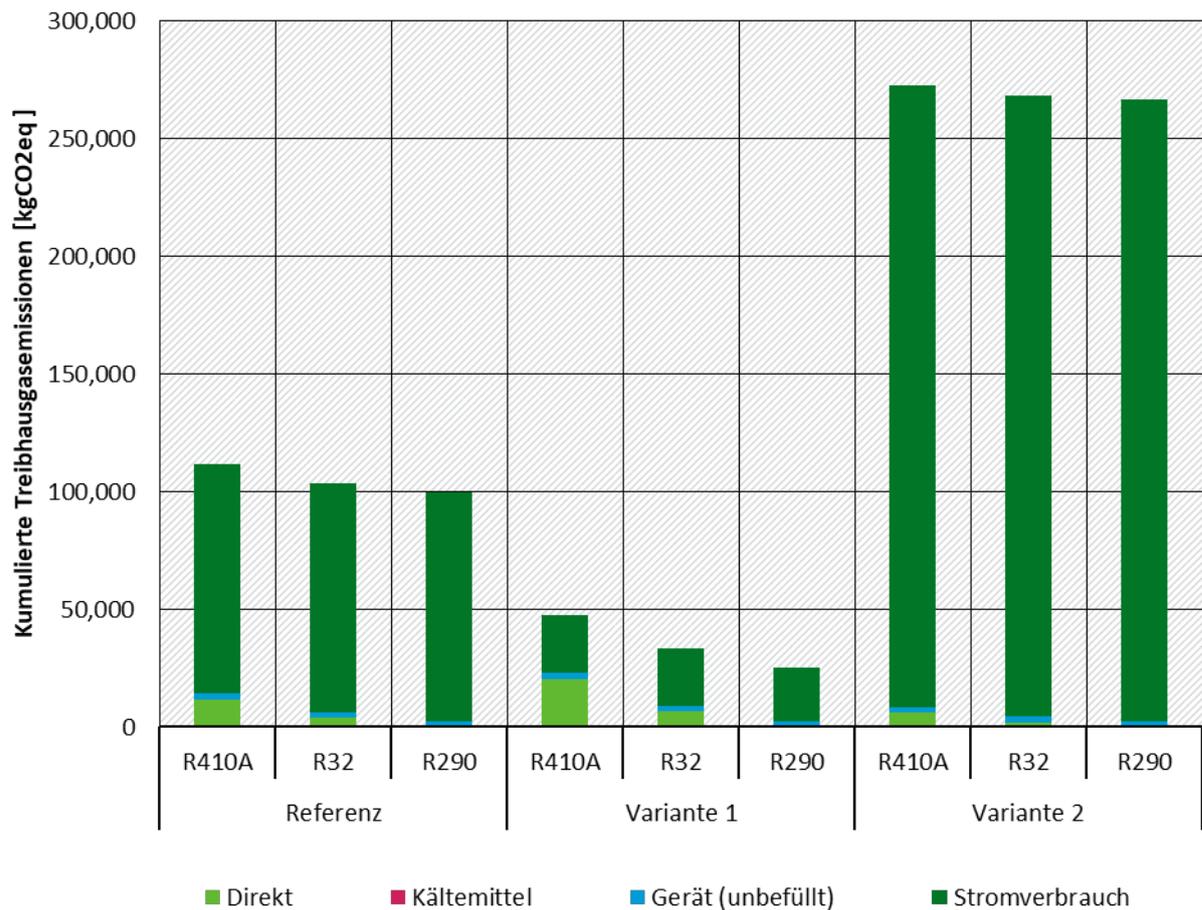
Kältemittel	Emissionswert Herstellung [kg CO ₂ äq. / kg]	Gutschrift Recycling [kg CO ₂ äq. / kg]
R410A	8,0630	-7,3300
R32	5,2250	-4,7500
R290	0,5569	-0,5063

Ein Beitrag an Emissionen durch Vernichtung (bzw. der thermischen Verwertung) von Kältemitteln (RFD) wird vernachlässigt.

7.3 Ergebnisse

In Abbildung 15 sind die über die gesamte Lebensdauer kumulierten Treibhausgasemissionen aller betrachteten Varianten für die drei Kältemittel vergleichend dargestellt. Im Referenzfall verursacht der Einsatz von R32 und R290 7% bzw. 11% geringere Emissionen gegenüber R410A. Bei Variante 1, der Anwendung mit deutlich weniger Betriebsstunden, sind die kumulierten Emissionen generell deutlich geringer. Hier fallen die Reduktionen durch R32 bzw. R290 mit 29% bzw. 56% deutlich stärker aus. Variante 2 verursacht aufgrund der langen jährlichen Betriebsdauer die höchsten Emissionen. Dadurch reduziert sich der Einfluss der direkten Emissionen und folglich auch die durch die Ersatzkältemittel erreichbaren Reduktionen. Auch in diesem Fall erlaubt der Einsatz von R290 50% höhere Einsparungen als das Kältemittel R32 (2,3% vs. 1,5%).

Abbildung 15: Kumulierte Treibhausgasemissionen der betrachteten Szenarien

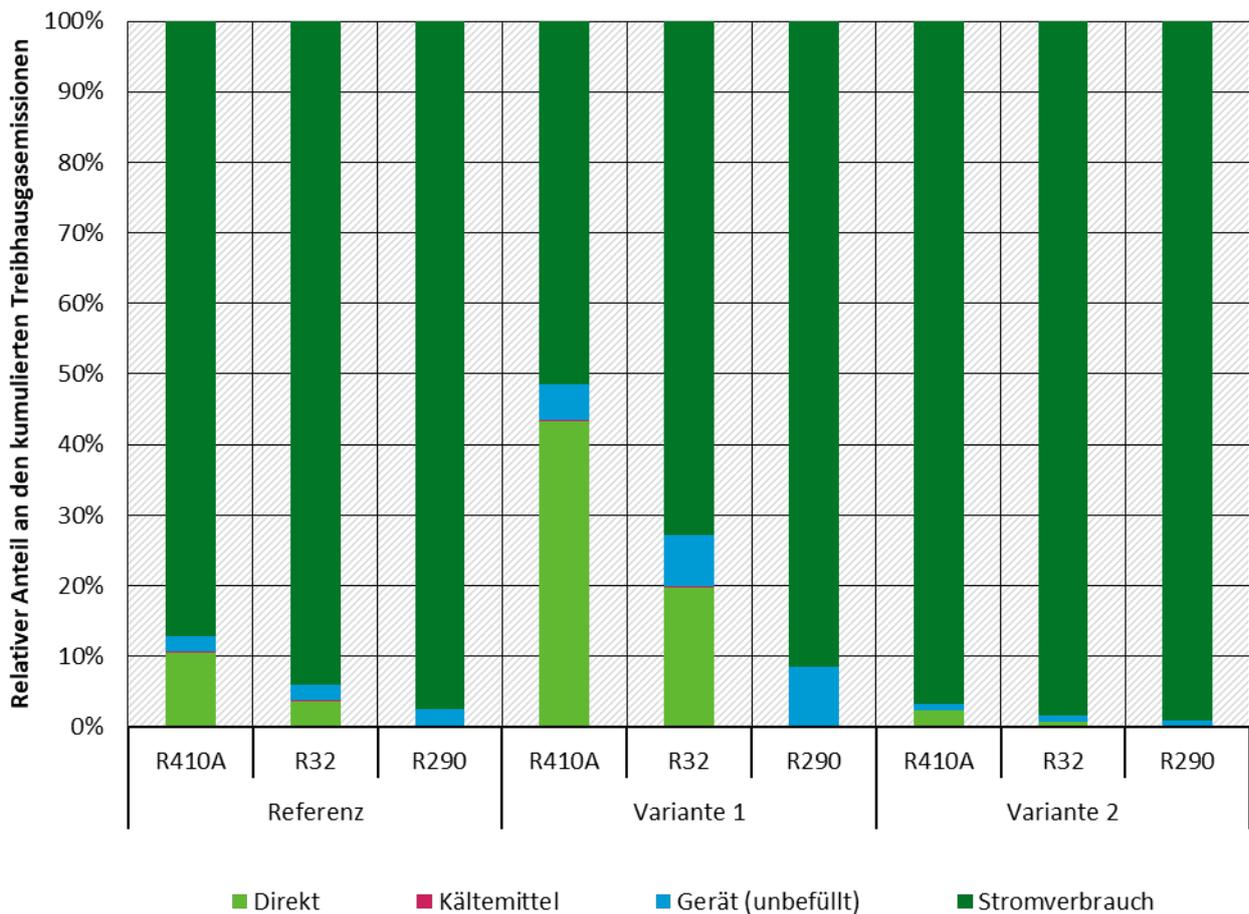


Die Werte für das unbefüllte Gerät und das Kältemittel beinhalten jeweils Produktion und Lebensende.

Quelle: Eigene Berechnungen, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Abbildung 16 zeigt die relativen Anteile der einzelnen Faktoren an den kumulierten Emissionen. Durch diese Darstellungsweise wird der signifikante Beitrag des Kältemittels zu den Lebenszyklusemissionen – insbesondere bei Anwendungen mit begrenzten Betriebsstunden – deutlich. Mit zunehmender Dekarbonisierung des Stroms wird sich dieser Effekt noch verstärken.

Abbildung 16: Relative Aufteilung der kumulierten Treibhausgasemissionen der betrachteten Szenarien.



Die Werte für das unbefüllte Gerät und das Kältemittel beinhalten jeweils Produktion und Lebensende.

Quelle: Eigene Berechnungen, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Die dargestellten Berechnungen beruhen auf der Annahme, dass die saisonale Effizienz der Anlagen über die Lebensdauer konstant bleibt. Da eine Leistungsdegradation bei Kältekreisen aufgrund von Verschmutzungen an Wärmeübertragern, Kältemittelverlusten und Verschleiß von Komponenten regelmäßig auftritt, muss dem durch regelmäßige Wartung und (nach Möglichkeit) einer Betriebsüberwachung entgegengewirkt werden.

8 Ermittlung der umweltzeichenrelevanten Kriterien

Auf Basis der gesammelten Informationen über Flüssigkeitskühler werden folgende Kriterienkategorien für ein Umweltzeichen als relevant erachtet:

- ▶ **Kältemittel:** Wie die Untersuchungen zu den Treibhausgasemissionen von Flüssigkeitskühlern über den Lebenszyklus zeigen, können diese durch den Einsatz natürlicher Kältemittel deutlich reduziert werden (s. Kapitel 7). Zudem tragen diese nicht zur weiteren Ansammlung persistenter Abbauprodukte (insbesondere TFA) in der Umwelt bei.
- ▶ **Energieeffizienz:** Die Übersicht zu den saisonalen Effizienzen von Flüssigkeitskühlern in Kapitel 6.1 zeigt, dass deutlich höhere Werte als die Mindestwerte gemäß der Ökodesign-Verordnung technisch und wirtschaftlich machbar sind. Somit werden eigene (höhere) Anforderungen in dieser Kategorie zur Auszeichnung besonders energieeffizienter und somit umweltfreundlicher Produkte als zielführend erachtet.
- ▶ **Geräuschemissionen:** Wie in Kapitel 6.2 dargestellt ist, weisen marktverfügbare Produkte auch bei gleicher Kälteleistung eine deutliche Bandbreite an Schalleistungspegeln auf. Da Flüssigkeitskühler in aller Regel in gewerblichen bzw. industriellen Anwendungen mit sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Lärmemissionen zum Einsatz kommen, wurde hier jedoch kein fester Grenzwert definiert. Stattdessen wurde das Kriterium mit dem Ziel definiert, Transparenz hinsichtlich der Schallreduktionsmaßnahmen zu schaffen.
- ▶ **Anforderung an die Herstellung:** Angesichts der regulatorischen Bestrebungen den Einsatz gefährlicher und toxischer Stoffe in Produkten in Europa zu minimieren, die Nutzungsdauer von Geräten zu erhöhen und eine gute Verwertbarkeit der Eingangsstoffe am Lebensende sicherzustellen, wurden auch zu diesen Punkten entsprechende Kriterien in das Umweltzeichen aufgenommen, die mittels Eigenerklärung nachgewiesen werden.
- ▶ **Sicherstellung eines effizienten Betriebs:** Abbildung 16 zeigt deutlich, dass der Betrieb von Flüssigkeitskühlern den Hauptanteil der über den Lebenszyklus verursachten Treibhausgasemissionen ausmacht. Gleichzeitig wird diese Phase nicht durch das im Folgenden beschriebene produktbezogene Umweltzeichen adressiert. Daher soll durch diese Kriterienkategorie sichergestellt werden, dass der spätere Betreiber sich bestmöglich hinsichtlich Maßnahmen zur Sicherstellung eines effizienten Betriebs informieren kann.

9 Ermittlung des potenziellen Zeichennehmerinteresses

9.1 Herstellerauswahl

Zur Ermittlung des potenziellen Zeichennehmerinteresses wurde eine Liste von Herstellern bzw. Lieferanten von Flüssigkeitskühlern mit natürlichen Kältemitteln recherchiert. Grundlage für die Recherche war eine Marktübersicht, welche durch eine Internetsuche ergänzt wurde (30). Neben dem Kältemittel waren Kriterien, dass die Firmen

- ▶ Über eine deutschsprachige (Internet-)Repräsentanz verfügen
- ▶ nicht ausschließlich kundenspezifische Anlagen bauen, sondern auch Serienprodukte anbieten, da davon auszugehen ist, dass die Zertifizierung mit dem Blauen Engel nur für diese relevant ist
- ▶ Produkte anbieten, die der o.g. Definition von Flüssigkeitskühlern entsprechen.

Im Ergebnis wurden folgende Firmenlisten erstellt:

Für elektrisch betriebene Flüssigkeitskühler:

- ▶ Combitherm GmbH
- ▶ Efficient energy GmbH
- ▶ Frigoteam GmbH
- ▶ Futron GmbH
- ▶ Johnson Controls GmbH
- ▶ Secon GmbH
- ▶ Skadek GmbH
- ▶ Swegon Group AB
- ▶ Systemair GmbH
- ▶ Thermotec GmbH
- ▶ Teko GmbH
- ▶ Trane-Roggenkamp GmbH

Für thermisch betriebene Flüssigkeitskühler:

- ▶ Adsorbus GmbH
- ▶ AGO GmbH
- ▶ Bälz GmbH
- ▶ Carrier Klimatechnik GmbH
- ▶ EAW Energieanlagenbau Westenfeld GmbH

- ▶ Fahrenheit AG
- ▶ Johnson Controls GmbH
- ▶ Trane-Roggenkamp GmbH

Weiterhin wurden folgende Verbände o.ä. für die Teilnahme an der Expertenanhörung erfasst:

- ▶ Forschungsrat Kältetechnik e.V.
- ▶ VDMA e.V. - Fachabteilung Kälte- und Wärmepumpentechnik
- ▶ European Partnership for Energy and the Environment - EPEE
- ▶ Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V. – DKV
- ▶ Verband für Sorptionskälte greenchiller e.V.

9.2 Durchführung

Die Hersteller wurden telefonisch und schriftlich kontaktiert und zu einem direkten Austausch zu den zu entwickelnden Vergabekriterien eingeladen. Dazu wurde ein Gesprächsleitfaden entwickelt, der das grundsätzliche Interesse an dem Umweltzeichen genauso abfragt, wie die jeweiligen Einschätzungen zu den in Kapitel 8 aufgeführten Kriterienkategorien Effizienz, Schallemissionen, Produktion und effizienter Anlagenbetrieb.

Insgesamt konnten so bei der Erstellung des ersten Kriterienentwurfs die Rückmeldungen von 7 Lieferanten elektrischer sowie 3 Lieferanten thermischer Flüssigkeitskühler berücksichtigt werden.

Konsens unter allen Befragten war, dass eine Verknüpfung des Umweltzeichens mit einer finanziellen Förderung (bspw. Zuschlag zur BAFA-Förderung) oder eine Bevorzugung bei öffentlichen Ausschreibungen die Erfolgsaussichten auf zahlreiche Zeichennehmer deutlich erhöhen würde.

10 Literatur

1. FORSCHUNGSRAT KÄLTETECHNIK E. V. *Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland. Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten 2017*. Frankfurt am Main: VDMA e. V. Allgemeine Lufttechnik, 2019.
2. CCI ZEITUNG. *EUROVENT VERÖFFENTLICHT ZAHLEN ZUM EMEA-MARKT - Flüssigkeitskühler* [online], 2021 [Zugriff am: 3. November 2021]. Verfügbar unter: https://cci-dialog.de/eurovent-veroeffentlicht-zahlen-zum-emea-markt-cci_wissensportal/#i1
3. EUROVENT MARKET INTELLIGENCE. *europa market 2019* [online], 2020. Verfügbar unter: https://www.ejarn.com/detail.php?id=65071&l_id=
4. FRAUNHOFER ISI. Erstellung von Anwendungsbilanzen. für die Jahre 2018 bis 2020 für die Sektoren Industrie und GHD, 09.2019.
5. STAHL, M. Spürbare Fortschritte. LEC-Statistik erfasst F-Gase-Emissionen von 194.000 LüKK-Anlagen. *cci Zeitung*, 2023, **57**(09), Seite 1.
6. PACHAURI, R. und A. REISINGER. *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The AR4 Synthesis Report*: Geneva: IPCC, 2007.
7. CCI DIALOG GMBH. *BSRIA-Analyse: Kältemitteltrends 2020 bei Raumklima- und Wärmepumpentechnik* [online], 2020. 20 Dezember 2021 [Zugriff am: 1. April 2022]. Verfügbar unter: https://cci-dialog.de/bsriaanalyse_kaeltemitteltrends_2020_bei_raumklima_und_waermepumpentechnik/
8. NISSEN, C., E. CASTRO-PETRO und JÖRß, WOLFRAM, LUDIG, SYLVIE. *Evaluierung der Nationalen Klimaschutzinitiative - Einzelevaluierungsbericht Kälte-Klima-Richtlinie_2018-2019*. Berlin, 31. August 2021.
9. OLTERS DORF, T., L. SCHNABEL, S. BRAUNGARDT, H. FUGMANN, P. SCHOSSIG und J. WAPLER. *German Country Report on Task 1 - Review of state-of-the-art technologies. IEA HPP Annex 54*, 2021.
10. STATISTISCHES BUNDESAMT. Statistisches Bundesamt - Außenhandel - Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warenverzeichnis (8-Steller), 2020 [Zugriff am: 8. Oktober 2021]. Verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1695028081910&code=51000#abreadcrumb>
11. HEINRICH, C., S. WITTIG, P. ALBRING, L. RICHTER, M. SAFARIK, U. BÖHM und A. HANTSCH. Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie. *CLIMATE CHANGE*, **2014**(25).
12. DIN-NORMENAUSSCHUSS KÄLTETECHNIK. *DIN EN 378-1*, 1. Dezember 2020.
13. EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG. *EN 14511-1*, 30. April 2004.
14. EUROVENT-CERTIFICATION. *LCP-HP - Liquid chilling packages and hydronic heat pumps* [online], 2021 [Zugriff am: 8. Dezember 2021]. Verfügbar unter: <https://www.eurovent-certification.com/en/third-party-certification/certification-programmes/lcp-hp#Definitions>
15. BACHMANN, S. *Kaltwassersätze (Teil 1)* [online]. *Das 1 x 1 der Kältetechnik (Teil 6)*, 01.2014 [Zugriff am: 1. November 2021]. Verfügbar unter: https://www.kka-online.info/artikel/kka_Kaltwassersaetze_Teil_1__1927126.html
16. KEMNA, R., P. WESSELMAN, R. VAN DEN BOORN, M. VAN ELBURG, J. TAIT, C. BARTHEL und C. JENSEN. *Review Study ecodesign & energy labelling PROFESSIONAL REFRIGERATION EQUIPMENT. Phase 1.1 & 1.2 Technical Analysis - DRAFT INTERIM REPORT*, 2021.
17. EUROVENT CERTITA CERTIFICATION SAS. *Technical Certification Rules of the Eurovent Certified Performance Mark. Liquid Chilling Packages and Hydronic Heat Pumps (LCT-HP)*. Paris, France, 2021.
18. SCHLEICHER, T., R. LIU, J. GRÖGER, J. HEUBES und P. RADERMACHER. The Blue Angel for Stationary Room Air Conditioners – market analysis, technical developments and regulatory framework for criteria development. Background Report. *Texte*, **2018**(22).

19. KEY, B.D., R.D. HOWELL und C.S. CRIDDLE. Fluorinated Organics in the Biosphere [online]. *Environmental Science & Technology*, 1997, **31**(9), 2445-2454. ISSN 0013-936X. Verfügbar unter: doi:10.1021/es961007c
20. CHRISTOPH, E. *Bilanzierung und Biomonitoring von Trifluoracetat und anderen Halogenacetaten*. Dissertation. Bayreuth, 2002.
21. BEHRINGER, D., F. HEYDEL, B. GSCHREY, S. OSTERHELD, W. SCHWARZ, K. WARNCKE, F. FREELING, K. NÖDLER, S. HENNE, S. REIMANN, W. BLEPP, W. JÖRSS, R. LIU, S. LUDIG, I. RÜDENAUER und S. GARTISER. Persistent degradation products of halogenated refrigerants and blowing agents in the environment: type, environmental concentrations, and fate with particular regard to new halogenated substitutes with low global warming potential. *Texte*, **2021**(73).
22. LIFE CYCLE CLIMATE PERFORMANCE WORKING GROUP. *Guideline for Life Cycle Climate Performance*, 1. Januar 2016.
23. VERING, C., D. SCHWARZ, P. STEFANIAK, V. VENZIK und D. MÜLLER. Kältemittel in Wärmepumpen für die Gebäudeheizung: Ökologische Auswirkungen im gesamten Lebenszyklus [online]. *Chemie Ingenieur Technik*, 2022, **94**(4), 542-554. ISSN 0009-286X [Zugriff am: 4. April 2022]. Verfügbar unter: doi:10.1002/cite.202100016
24. OLTERS DORF, T., H. FUGMANN und S. BRAUNGARDT. *Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung nachhaltig stärken*, 2020 (nicht veröffentlicht).
25. KULTERER, K. und O. MAIR. *Leitfaden für Energieaudits in Kältesystemen*, April 2015.
26. FRITSCH, U. und H.-W. GREß. *Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2018 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA)*. Darmstadt, 2019.
27. IM BBSR, Ö. *ÖKOBAUDAT* [online]. 1 Juni 2022 [Zugriff am: 1. Juni 2022]. Verfügbar unter: <https://www.oekobaudat.de/>
28. CAMPBELL, N.J. und A. MCCULLOCH. The Climate Change Implications of Manufacturing Refrigerants: A Calculation of 'Production' Energy Contents of Some Common Refrigerants. *Process Safety and Environmental Protection*, 1998, **76**, 239-244.
29. JOHNSON, E.P. *Air-source heat pump carbon footprints: HFC impacts and comparison to other heat sources*. Energy Policy, 22. September 2010.
30. GÜNTHER, D. und P. GNIFKE. Wasserkühlsätze mit natürlichen Kältemitteln - Anbieterübersicht. *cci Zeitung*, 2020, (08), 8-9.

Anhang A

Tabelle 1: Im- und Exportdaten des statistischen Bundesamts, welche im Zusammenhang mit der Kältetechnik für das Jahr 2020 erhoben wurden.

Warenverzeichnis Außenhandelsstatistik (6-Steller)		Ausfuhr: Gewicht	Ausfuhr: Wert	Einfuhr: Gewicht	Einfuhr: Wert
		T	Tsd. EUR	t	Tsd. EUR
WA841430	Kompressoren für Kältemaschinen	681,80	15.260,00	9.562,80	58.454,00
WA841581	Klimageräte mit Kälteerzeugungsvorrichtung, Ventil	128,70	1.176,00	8,80	162,00
WA841582	Klimageräte mit Kälteerzeugungsvorrichtung	292,70	5.259,00	5,70	129,00
WA841583	Klimageräte ohne Kälteerzeugungsvorrichtung	1.839,50	12.608,00	70,80	1.348,00
WA841869	Einrichtungen, Maschinen zur Kälteerzeugung	501,40	13.710,00	982,00	14.749,00
WA841891	Möbel, Aufnahme einer Kälteerzeugungseinrichtung	30,20	212,00	2,30	23,00

Anhang B: Vergabegrundlage

BLAUER ENGEL

Das Umweltzeichen



Flüssigkeitskühler

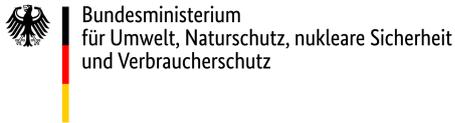
DE-UZ 231

Vergabekriterien

Ausgabe Juli 2023

Version 1

Getragen wird das Umweltzeichen durch die folgenden Institutionen:



Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz ist Zeicheninhaber und informiert regelmäßig über die Entscheidungen der Jury Umweltzeichen.



Das Umweltbundesamt fungiert mit dem Fachgebiet „Ökodesign, Umweltkennzeichnung, Umweltfreundliche Beschaffung“ als Geschäftsstelle der Jury Umweltzeichen und entwickelt die fachlichen Kriterien der Vergabekriterien des Blauen Engel.



Die Jury Umweltzeichen ist das unabhängige Beschlussgremium des Blauen Engel mit Vertretern aus Umwelt- und Verbraucherverbänden, Gewerkschaften, Industrie, Handel, Handwerk, Kommunen, Wissenschaft, Medien, Kirchen, Jugend und Bundesländern.



Die RAL gGmbH ist die Zeichenvergabestelle. Sie organisiert im Prozess der Kriterienentwicklung die unabhängigen Expertenanhörungen, d. h. die Einbindung der interessierten Kreise.

Für weitere Informationen kontaktieren Sie bitte:

RAL gGmbH

RAL UMWELT

Fränkische Straße 7

53229 Bonn

Tel: +49 (0) 228 / 6 88 95 - 190

E-Mail: umweltzeichen@ral.de

www.blauer-engel.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	56
1.1	Vorbemerkung	56
1.2	Hintergrund.....	56
1.3	Ziele des Umweltzeichens.....	56
2	Geltungsbereich	57
3	Anforderungen	57
3.1	Kältemittel.....	57
3.2	Energieeffizienz.....	57
3.2.1	Elektrisch angetriebene Flüssigkeitskühler.....	57
3.2.2	Thermisch angetriebene Flüssigkeitskühler (Sorptionskälteanlagen)	59
3.3	Geräuschemissionen	61
3.4	Anforderung an die Herstellung.....	62
3.5	Sicherstellung eines effizienten Betriebs.....	62
3.5.1	Installations-, Inbetriebnahme- sowie Wartungsanleitung	62
3.5.2	Möglichkeit des Fernzugriffs durch den Hersteller.....	62
3.6	Ausblick	63
4	Zeichennehmer und Beteiligte	63
5	Zeichenbenutzung	63

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung

Die Jury Umweltzeichen hat in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, dem Umweltbundesamt und unter Einbeziehung der Ergebnisse der von der RAL gGmbH einberufenen Expertenanhörungen diese Kriterien für die Vergabe des Umweltzeichens beschlossen. Mit der Vergabe des Umweltzeichens wurde die RAL gGmbH beauftragt.

Für alle Produkte, soweit diese die nachstehenden Bedingungen erfüllen, kann nach Antragstellung bei der RAL gGmbH auf der Grundlage eines mit der RAL gGmbH abzuschließenden Zeichenbenutzungsvertrages die Erlaubnis zur Verwendung des Umweltzeichens erteilt werden. Das Produkt muss alle gesetzlichen Anforderungen des Landes erfüllen, in dem es in den Verkehr gebracht werden soll. Der Antragsteller muss erklären, dass das Produkt diese Bedingung erfüllt.

1.2 Hintergrund

Flüssigkeitskühler kommen in einer Vielzahl von Kühlanwendungen im gewerblichen und industriellen Bereich, aber auch zur Klimatisierung von Wohn- und vor allem Nicht-Wohngebäuden zum Einsatz. Dabei tragen diese auf zwei Arten zum Klimawandel bei: erstens durch deren Verbrauch an elektrischer Energie und den mit der Energieerzeugung verbundenen Emissionen an Treibhausgasen (indirekte Emissionen) und zweitens durch die direkten Emissionen an Kältemitteln, die häufig ein sehr hohes Treibhauspotenzial (GWP) aufweisen.

Durch den Einsatz umweltfreundlicher und energieeffizienter Flüssigkeitskühler können vor diesem Hintergrund Einsparungen an Treibhausgasemissionen realisiert werden. Ansatzpunkte sind hierbei insbesondere der Einsatz natürlicher Kältemittel und die Erhöhung der Wirkungsgrade der Maschinen.

1.3 Ziele des Umweltzeichens

Mit diesem Umweltzeichen sollen Produkte gekennzeichnet werden können, die mit natürlichen Kältemitteln arbeiten und sich – über die gesetzlichen Bestimmungen hinaus – durch weitere umweltfreundliche Eigenschaften auszeichnen. Dies sind insbesondere eine besonders hohe Energieeffizienz sowie geringe Geräuschemissionen.

Daher werden im Erklärfeld folgende Vorteile für Umwelt und Gesundheit genannt:



2 Geltungsbereich

Im Rahmen des Umweltzeichens Blauer Engel gilt der Begriff „Flüssigkeitskühler“ für Anlagen,

- die der Kühlung von Wärmeträgerflüssigkeiten wie Wasser, Wasser-Glykol, Ölen, Silikonen, etc. dienen,
- deren Kältekreis werkseitig fertig montiert ist; die Befüllung mit den Betriebsmitteln (Kältemittel, Schmieröl, ...) kann werksseitig oder am Aufstellort erfolgen,
- die elektrisch oder thermisch angetrieben werden,
- die über die Umgebungsluft oder Wärmeträgerflüssigkeiten rückgekühlt werden und
- die eine Nennkälteleistung im Bereich von 2 bis 2000 kW aufweisen.

Eine Nutzung der Abwärme ist möglich. Das Zeichen kann angewendet werden für Komfortkühler und Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur gemäß ENER Lot21 (EU Verordnung 2016/2281; hier: elektrisch angetriebene Flüssigkeitskühler) sowie Sorptionskälteanlagen (hier: thermisch angetriebene Flüssigkeitskühler).

Ausgeschlossen werden Wärmepumpen, sofern diese in den Gültigkeitsbereich der Ökodesign-Verordnung für Wärmepumpen bis 400 kW Nennleistung (EU-Verordnung 813/2013) fallen, auch wenn deren Wärmequelle über Flüssigkeiten angebunden ist. Wärmepumpen mit einer Nennleistung über 400 kW werden ebenfalls ausgeschlossen.

3 Anforderungen

3.1 Kältemittel

Die Flüssigkeitskühler müssen frei von halogenhaltigen Kältemitteln sein.

Nachweis

Datenblatt des Flüssigkeitskühlers mit Angabe zum Kältemittel und Füllmenge; zusätzlich Sicherheitsdatenblatt des eingesetzten Kältemittels (sofern verfügbar).

3.2 Energieeffizienz

3.2.1 Elektrisch angetriebene Flüssigkeitskühler

Um den Blauen Engel zu erhalten, müssen elektrische Flüssigkeitskühler je nach Rückkühlart und Leistungsbereich die in Tabelle 1 aufgeführten saisonalen Mindesteffizienzen (ausgedrückt als Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad, $\eta_{s,c}$) bei Kaltwassernennbedingungen von 12/7 °C aufweisen. Können die Flüssigkeitskühler aus technologischen Gründen (z.B. aufgrund einer Limitierung durch das eingesetzte Kältemittel) diese Temperaturbedingungen nicht bereitstellen, gelten die in Tabelle 2 aufgeführten Mindesteffizienzen bei den Standard-Betriebsbedingungen für Kühldeckenanwendungen (23/18 °C).

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Mindestwerte für den Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad bei Kaltwassernennbedingungen 12/7 °C für Komfortkühler gemäß der EU-Verordnung 2016/2281 (EU-VO) und der Anforderung an Flüssigkeitskühler nach dem Blauen Engel (BE); SEER-Werte nur informativ

Geräteklasse	SEER EU-VO	η_{sc} EU-VO	SEER BE	η_{sc} BE
Luftgekühlte Flüssigkeitskühler <70kW	4.1	161	4.3	169
Luftgekühlte Flüssigkeitskühler 71...400kW	4.1	161	4.6	181
Luftgekühlte Flüssigkeitskühler >400kW	4.6	179	4.9	193
Wassergekühlte Flüssigkeitskühler <70kW	5.1	200	5.4	213
Wassergekühlte Flüssigkeitskühler 71...400kW	5.1	200	6.1	241
Wassergekühlte Flüssigkeitskühler 401kW...1500kW	6.4	252	6.7	265
Wassergekühlte Flüssigkeitskühler >1500kW	6.9	272	7.2	285

Tabelle 2: Anforderungen an den Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad für Flüssigkeitskühler, die lediglich die Kaltwassernennbedingungen 23/18 °C bereitstellen können, nach dem Blauen Engel; SEER-Werte sowie Mindestanforderungen nach der EU-VO nur informativ

Geräteklasse	SEER EU-VO	η_{sc} EU-VO	SEER BE	η_{sc} BE
Luftgekühlte Flüssigkeitskühler <70kW	4.1	161	5.1	199
Luftgekühlte Flüssigkeitskühler 71...400kW	4.1	161	5.4	211
Luftgekühlte Flüssigkeitskühler >400kW	4.6	179	5.7	223
Wassergekühlte Flüssigkeitskühler <70kW	5.1	200	6.2	243
Wassergekühlte Flüssigkeitskühler 71...400kW	5.1	200	6.9	271
Wassergekühlte Flüssigkeitskühler 401kW...1500kW	6.4	252	7.5	295
Wassergekühlte Flüssigkeitskühler >1500kW	6.9	272	8.0	315

Das Umweltzeichen kann für einzelne Flüssigkeitskühler oder für Baureihen vergeben werden. Eine Baureihe zeichnet sich dabei insbesondere dadurch aus, dass die Kernkomponenten (Verdichter, Verdampfer, Verflüssiger und ggf. Frequenzumrichter) aller Modelle aus einer Baureihe des jeweiligen Komponentenlieferanten stammen.

Nachweis

Für einzelne Flüssigkeitskühler muss der Antragsteller ein Prüfprotokoll eines nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüflabors vorlegen, aus dem die Ermittlung des Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrads ($\eta_{s,c}$) entsprechend der in der Verordnung (EU) Nr. 2016/2281 genannten Messvorschrift hervorgeht (Tabelle 10, Anhang II der Verordnung). Prüfprotokolle des Antragstellers werden als gleichwertig anerkannt, wenn dieser ein Prüflaboratorium nutzt, das für diese Messungen von einer unabhängigen Stelle als SMT-Labor (supervised manufacturer testing laboratory) anerkannt bzw. Teil eines Test Data Acceptance Program (TDAP) ist.

Ergänzend ist anzugeben, ob die Werte bei fester oder variabler Austrittstemperatur am Verdampfer ermittelt wurden. Werden die Werte bei ei den Standard-Betriebsbedingungen für Kühldeckenanwendungen (23/18 °C) angegeben, ist zudem eine Begründung vorzulegen und auf der Seite des UZ zu veröffentlichen, warum der Flüssigkeitskühler nicht bei 12/7 °C betrieben werden kann.

Um das Umweltzeichen für eine Baureihe zu erhalten, muss der Antragsteller für mindestens einen Flüssigkeitskühler, gleichzeitig aber mindestens 25% der Modelle der Baureihe, die Anforderungen erfüllen, die auch für einzelne Flüssigkeitskühler gelten.

Durch Vorlage der Auslegungsunterlagen aller Modelle der Baureihe einschließlich der Berechnung des Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrads ($\eta_{s,c}$) entsprechend der in der Verordnung (EU) Nr. 2016/2281 genannten Vorschrift (Tabelle 10, Anhang II der Verordnung) muss der Antragsteller zudem nachweisen, dass auch die übrigen Modelle der Baureihe die saisonalen Mindesteffizienzen erreichen. Liegt die aus den gemessenen Werten ermittelte saisonale Effizienz des oder der Flüssigkeitskühler(s) unter den Auslegungswerten, sind alle Auslegungswerte mit der maximal aufgetretenen Abweichung zu korrigieren.

Anhand der Auslegungsunterlagen ist ebenfalls nachzuweisen, dass die Kernkomponenten des Kältekreis (s.o.) aus der gleichen Baureihe des jeweiligen Komponentenlieferanten stammen.

In den Produktunterlagen ist anzugeben, für welche(n) Flüssigkeitskühler die Werte durch eine Normprüfung validiert wurden.

Beispiel:

Eine Modellreihe umfasst 3 luftgekühlte Flüssigkeitskühler (Modelle 1, 2 und 3) mit Nennkälteleistungen unter 70 kW. Für diese hat der Hersteller in der Auslegung Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrade ($\eta_{s,c}$) von 172%, 175% und 177% berechnet. An Flüssigkeitskühler 2 wurde eine Prüfung im akkreditierten Labor durchgeführt und darauf basierend ein $\eta_{s,c}$ von 173% ermittelt. Folglich überschätzt die Auslegung $\eta_{s,c}$ um 2%, daher müssen die $\eta_{s,c}$ der Flüssigkeitskühler 1 und 3 ebenfalls um 2% reduziert werden (d.h. auf 170% und 175%). Da auch die korrigierten Werte über der Mindestanforderung von 169% (s. Tabelle 1) liegen, kann das UZ für die Baureihe vergeben werden.

3.2.2 Thermisch angetriebene Flüssigkeitskühler (Sorptionskälteanlagen)

Zur Effizienzbewertung gilt für thermisch angetriebene Flüssigkeitskühler folgendes Verfahren:

Die Referenzkälteleistung ist analog zum Verfahren im Merkblatt für die Förderung von Kälte- und Klimaanlage durch die BAFA durchzuführen (Stand März 2022⁸). Dort werden folgende Eintrittstemperaturen in die Sorptionskältemaschine zugrunde gelegt:

- Kaltwasser: T = 15 °C

⁸

https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/kki_technisches_merkblatt.pdf;jsessionid=55DA8B54823BC5FA7E203D780AF1D604.1_cid362?_blob=publicationFile&v=15

- Kühlwasser/Rückkühlung T = 27 °C
- Heizmedium T = 85 °C

Entsprechend des o.g. Merkblatts gilt weiterhin: soweit möglich sind die Flüssigkeitskühler auf diese Temperaturen umzurechnen. Normalkühl- und Tiefkühlanwendungen sind auf eine Kaltsoltemperatur von -8 °C auszulegen. In diesem Fall ist die so ausgelegte Kälteleistung um 50% zu erhöhen. Abdampfbetriebene Absorptionsanlagen sind auf eine Dampftemperatur (Heizmedium) von 120 °C auszulegen. In diesem Fall ist die so ausgelegte Kälteleistung um 25% zu senken.

Die elektrische Referenzleistungsaufnahme der Kälteanlage errechnet sich aus der Summe aus

- der elektrischen Nennleistung der Kältemaschine laut Typenschild (Regler, interne Pumpen, etc.; falls die Zirkulationspumpen der externen hydraulischen Kreise fest verbaut sind, sind deren Anschlussleistungen nicht zu berücksichtigen),
- der elektrischen Leistung zur Überwindung der anlageninternen Druckverluste bei Nennvolumenströmen in allen drei hydraulischen Kreisen; diese wird aus der jeweiligen hydraulischen Leistung und einem anzusetzenden mittleren Pumpenwirkungsgrad von 50% bestimmt sowie
- der elektrischen Leistungsaufnahme eines angenommenen „mittleren“ Rückkühlers; hierzu ist eine spezifische Leistungsaufnahme von 0.033 kWel/kWth bezogen auf die abzuführende Wärme anzusetzen (Wert übernommen aus DIN 18599-7 für geschlossene Verdunstungskühler).

Daraus ergibt sich die Berechnungsgrundlage

$$EER_{SKM+RK} = \frac{\dot{Q}_{NT}}{\left(\frac{\Delta p_{HT} * \dot{V}_{HT} + \Delta p_{MT} * \dot{V}_{MT} + \Delta p_{NT} * \dot{V}_{NT}}{50\%} + \dot{Q}_{NT} * \left(1 + \frac{1}{COP} \right) * 0.033 \right) + P_{el,int}}$$

mit:

EER_{SKM+RK} :	anlagenspezifischer EER der Sorptionskälteanlage einschließlich Rückkühler
\dot{Q}_{NT} :	Referenzkälteleistung bei den o.g. Bedingungen in W
COP:	Wärmeverhältnis (Kälte- zu Antriebsleistung) bei Nominalbedingungen
$\Delta p_{HT/MT/NT}$:	maschineninterner Druckverlust der Sorptionskälteanlage im Antriebskreis (HT), Rückkühlkreis (MT) bzw. Kaltwasserkreis (NT) in Pa
$\dot{V}_{HT/MT/NT}$:	Nominaler Volumenstrom im Antriebskreis (HT), Rückkühlkreis (MT) bzw. Kaltwasserkreis (NT) in m ³ /s
$P_{el,int}$:	Elektrische Leistungsaufnahme der Kältemaschine bei o.g. Betriebspunkt (Regler, interne Pumpen, etc.) in W

Der Quotient aus Referenzkälteleistung und Referenzleistungsaufnahme ergibt den anlagenspezifischen EER. Dieser muss für den Blauen Engel über 8,5 liegen. Ist dies der

Fall, ist davon auszugehen, dass die Maschine auch im Gesamtsystem sehr effizient betrieben werden kann.

Nachweis

Berechnung des EER_{SKM+RK} nach o.g. Gleichung unter Angabe aller Eingangswerte und deren Ursprung. Bei Messwerten ist zusätzlich die Messungenaugigkeit anzugeben.

3.3 Geräuschemissionen

Um die Übertragung von Schwingungen vom Verdichter auf die übrigen Bauteile des Flüssigkeitskühlers und folglich die Ausbreitung von Körper-, Fluid- und Luftschall zu reduzieren, ist bei elektrischen Flüssigkeitskühlern die Verdichtereinbindung schwingungsentkoppelt (intern oder extern) zu gestalten.

Darüber hinaus ist für alle Arten von Flüssigkeitskühlern anzugeben, welche der folgenden Maßnahmen zur Reduktion der Geräuschemissionen durch den Flüssigkeitskühler getroffen wurden:

- Zweistufige Lagerung des Verdichters mit Schwingplatte
- Schallschutzhaube für Verdichter
- Schalldämmung am Gehäuse
- Schwingungsentkoppelte Montage des Verdampfers
- Schwingungsentkoppelte Montage des Verflüssigers
- Flüssigkeitskühler serienmäßig mit schwingungsentkoppelten Aufstellpunkten/-füßen
- Schallisolierung der Leistungselektronik gegen hohe Frequenzen
- Regelungstechnische Vermeidung bestimmter (Resonanz-)Frequenzen
- Lärmreduzierter Betriebsmodus mit reduzierter Leistung und/oder Effizienz
- Schwingungsentkopplung der Flüssigkeitsanschlüsse (keine starre Verbindung)
- Einsatz von Sperrmassen

Für luftgekühlte Flüssigkeitskühler sind zudem folgende Optionen anzugeben:

- Schallbarriere zwischen Verdichter und Luftführung
- Schalloptimierte Ventilatorgeometrie
- Ventilatoren mit Diffusoren
- Überdimensionierung der Ventilatoren für Betrieb bei niedrigen Drehzahlen

Darüber hinaus ist in der Installationsanleitung des Flüssigkeitskühlers anzugeben, welche Maßnahmen zur Geräuschreduktion bauseitig getroffen werden können, welche Randbedingungen dabei einzuhalten sind und wie sich die Maßnahmen ggf. auf die Leistung bzw. Effizienz des Flüssigkeitskühlers auswirken.

Nachweis

1. *Eigenerklärung zu den getroffenen Maßnahmen zur Reduktion der Geräuschemissionen.*
2. *Installationsanleitung mit Verweis auf die entsprechenden Passagen.*

3.4 Anforderung an die Herstellung

Es wird davon ausgegangen, dass Flüssigkeitskühler, die den Blauen Engel erhalten, alle geltenden deutschen und europäischen Vorgaben einhalten. Etwaige Ausnahmen zu nach der EU-Verordnung 2011/65 (RoHS, hier Artikel 4, Anhang III und Anhang IV, sowie spätere Anpassungen, z.B. im Rahmen der Verordnung 2019/172) reglementierten Stoffen, welche vom Hersteller in Anspruch genommen werden, sind zu deklarieren.

Darüber hinaus bestätigt der Hersteller in einer Eigenerklärung, dass

- Ersatzteile (oder vergleichbar, mit geringen Anpassungen) für mindestens 10 Jahre verfügbar gemacht werden und
- eine gute Reparierbarkeit (während der Lebensdauer) sowie Demontierbarkeit (am Lebensende) Kriterien bei der Produktentwicklung sind.

Nachweis

Eigenerklärung zu

a) in Anspruch genommen Ausnahmen zur o.g. Verordnung,

b) der Ersatzteilverfügbarkeit und

c) Reparierbarkeit/Demontierbarkeit als Kriterien bei der Produktentwicklung.

Eine Erklärung zu den in Anspruch genommen Ausnahmen zu den o.g. Verordnungen ist auch bei den Produktunterlagen auf der Homepage des Herstellers verfügbar zu machen.

3.5 Sicherstellung eines effizienten Betriebs

Um Voraussetzungen für einen effizienten Betrieb des Flüssigkeitskühlers zu schaffen, sind folgende Maßnahmen durch den Hersteller zu treffen.

3.5.1 Installations-, Inbetriebnahme- sowie Wartungsanleitung

Die Flüssigkeitskühler werden mit ausführlichen Installations-, Inbetriebnahme- sowie Wartungsanleitungen ausgeliefert. Die Wartungsanleitung adressiert alle für Flüssigkeitskühler relevanten Punkte der Richtlinie VDMA 24186-1:2019-09 „Leistungsprogramm für die Wartung von technischen Anlagen und Ausrüstungen in Gebäuden - Teil 3: Kältetechnische Geräte und Anlagen zu Kühl- und Heizzwecken“, sofern sie unabhängig von der Anwendung bzw. dem Aufstellort sind.

Nachweis

Vorlage der Installations-, Inbetriebnahme- sowie Wartungsanleitungen; Eigenerklärung, dass alle relevanten Punkte der o.g. Richtlinie VDMA 24186-3:2019-09 adressiert wurden.

3.5.2 Möglichkeit des Fernzugriffs durch den Hersteller

Der Flüssigkeitskühler muss zumindest optional mit einer Schnittstelle für den Fernzugriff auf die nachfolgenden Parameter angeboten werden.

Für elektrisch angetriebene Flüssigkeitskühler:

- Ein- und Austrittstemperaturen aller externen Medienkreise (Kaltwasser, bei wassergekühlten Flüssigkeitskühlern Kühlwasser)
- Bei luftgekühlten Flüssigkeitskühlern: Temperatur der Umgebungsluft
- Druck im Verdampfer und Verflüssiger
- Verdichterdrehzahl
- Interne Störungs- und Zustandsmeldungen

Für thermisch angetriebene Flüssigkeitskühler:

- Ein- und Austrittstemperaturen aller externen Medienkreise (Heiß-, Kühl- und Kaltwasser)
- Interne Störungs- und Zustandsmeldungen

Nachweis

Datenblatt mit Angabe zur Schnittstelle für den Fernzugriff.

3.6 Ausblick

Folgende Erweiterungen sind im Rahmen einer zukünftigen Überarbeitung des Umweltzeichens denkbar:

- Erweiterung um Prozesskühlung
- Aufnahme von Empfehlungen bzgl. der Systemregelung
- Information über die Effizienz des Flüssigkeitskühlers (Arbeitszahl, Jahresarbeitszahl) im Betrieb
- Aufnahme von Anforderungen für reversible Flüssigkeitskühler zum Kühlen und Heizen

4 Zeichennehmer und Beteiligte

Zeichennehmer sind Hersteller oder Vertreiber von Produkten gemäß Abschnitt 2.

Beteiligte am Vergabeverfahren:

- RAL gGmbH für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel,
- das Bundesland, in dem sich die Produktionsstätte des Antragstellers befindet,
- das Umweltbundesamt, das nach Vertragsschluss alle Daten und Unterlagen erhält, die zur Beantragung des Blauen Engel vorgelegt wurden, um die Weiterentwicklung der Vergabekriterien fortführen zu können.

5 Zeichenbenutzung

Die Benutzung des Umweltzeichens durch den Zeichennehmer erfolgt aufgrund eines mit der RAL gGmbH abzuschließenden Zeichenbenutzungsvertrages.

Im Rahmen dieses Vertrages übernimmt der Zeichennehmer die Verpflichtung, die Anforderungen gemäß Abschnitt 3 für die Dauer der Benutzung des Umweltzeichens einzuhalten.

Für die Kennzeichnung von Produkten gemäß Abschnitt 2 werden Zeichenbenutzungsverträge abgeschlossen. Die Geltungsdauer dieser Verträge läuft bis zum 31.12.2027.

Sie verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls der Vertrag nicht bis zum 31.03.2027 bzw. 31.03. des jeweiligen Verlängerungsjahres schriftlich gekündigt wird.

Eine Weiterverwendung des Umweltzeichens ist nach Vertragsende weder zur Kennzeichnung noch in der Werbung zulässig. Noch im Handel befindliche Produkte bleiben von dieser Regelung unberührt.

Der Zeichennehmer kann die Erweiterung des Benutzungsrechtes für das kennzeichnungsberechtigte Produkt bei der RAL gGmbH beantragen, wenn es unter einem anderen Marken-/Handelsnamen und/oder anderen Vertriebsorganisationen in den Verkehr gebracht werden soll.

In dem Zeichenbenutzungsvertrag ist festzulegen:

- Zeichennehmer (Hersteller/Vertreiber)
- Marken-/Handelsname, Produktbezeichnung
- Inverkehrbringer (Zeichenanwender), d. h. die Vertriebsorganisation.