

Klimagerechte Transformation  
der Kälteversorgung  
in Forschungszentren

LEITFADEN

07

In Forschungszentren besteht in der Regel ein hoher Bedarf an Kälte, u.a. zur Kühlung von Laboren, temperatursensiblen Geräten, Rechenzentren oder raumlufttechnischen Anlagen. Die dazu notwendigen Kälteversorgungssysteme sind häufig sehr energieintensiv und benötigen zudem oft klimaschädliche Kühlmittel. Weitere Herausforderungen sind Versorgungssicherheit, zunehmende Hitzeperioden, sich verändernde Nutzerbedarfe sowie die Einhaltung der aktuell gültigen Regeln für den Büro- und Laborbetrieb. Demzufolge stellen die verlässliche Bereitstellung von Kälte sowie die klimagerechte Transformation der Kälteversorgungssysteme eine zentrale strategische Aufgabe dar.

Die vorliegende Arbeitshilfe dient dazu, die Verantwortlichen in Bau, Betrieb, Technik und strategischem Energiemanagement bei der Transformation ihrer Kälteinfrastruktur zu unterstützen. Als praxisorientierte Handreichung gibt sie einen Überblick über Technologien der Kältebereitstellung, die Verwendung von Kältemitteln sowie Versorgungsstrategien. Weiterhin wird erörtert, wie Forschungszentren zukünftige Herausforderungen bewältigen können. Abschließend wird über gesetzliche Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten informiert.

## **I** INHALT

1. Einleitung	3
2. Technologien zur Kältebereitstellung	5
3. Kältemittel	9
4. Entwicklung einer institutionellen Kälteversorgungsstrategie	11
5. Zukünftige Herausforderungen und Versorgungssicherheit	15
6. Gesetzliche und politische Rahmenbedingungen / Fördermöglichkeiten	21
7. Resümee	23
8. Anhang	25

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

# Klimagerechte Transformation der Kälteversorgung in Forschungszentren

Lena Langeheinecke, Michael Hinz, *Helmholtz Kompetenznetzwerk Klimagerecht Bauen*, Stefan Brandt, Martin Kriegel, *TU Berlin*, Mirko Zimmermann, *freiberuflicher Ingenieur*

## 1. Einleitung

Kälteversorgungssysteme sind in den meisten Forschungszentren essenziell – etwa zur Kühlung von Laborinfrastruktur, empfindlichen Messgeräten, Rechenzentren oder raumlufttechnischen Anlagen. Je nach Bedarf können unterschiedliche Techniken zur Anwendung kommen (Kapitel 2). Grundsätzlich wird zwischen passiver und aktiver Kühlung unterschieden. Aktive Kühlung erfolgt maschinell, beispielsweise mit Kompressoren. Sie bietet starke Kühlleistung, verbraucht aber mehr Energie. Passive Kühlung nutzt natürliche Kältequellen wie Nachtluft oder den Erdboden. Diese Verfahren sind sehr effizient, häufig kostengünstiger, aber in der Regel weniger leistungsstark. Neben der Auswahl geeigneter Kälteerzeugungstechnologien sollten Möglichkeiten zur Sektorkopplung sowie die Integration von Speicherlösungen in der Planung berücksichtigt werden.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Kälteversorgung ist die Wahl geeigneter Kältemittel (Kapitel 3). Die ersten Kältemaschinen, die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts von Carl von Linde entwickelt wurden, verwendeten Ammoniak als Kältemittel (Abb. 1)<sup>1</sup>. Ammoniak besitzt allerdings eine hohe Toxizität. In den 1930er-Jahren wurden Kältemittel auf der Basis von fluorierten Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW) entwickelt. Sie bildeten die Grundlage für sichere und ef-

fiziente Kühlsysteme und führten zu einer raschen Verbreitung der Technologie. Nachdem mehrere Studien gezeigt hatten, dass diese Substanzgruppe für den Ozonabbau in der Stratosphäre und folglich für das Ozonloch verantwortlich war<sup>2</sup>, wurden die FCKW durch ein UN-Umweltabkommen, dem Montreal Protokoll 1987<sup>3</sup>, international verboten. In der Folge wurden zahlreiche Alternativen, u.a. teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) eingesetzt, die allerdings ein sehr hohes Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) aufweisen. 1997 wurden im Kyoto-Protokoll<sup>4</sup> der UN-Klimarahmenkonvention Emissionsreduktionspflichten für Treibhausgase festgelegt. Hierzu gehören auch die fluorierten Treibhausgase HFKW, FKW, SF6 und NF3 (F-Gase). Konkrete, auf diese Stoffe bezogene Maßnahmen enthält das Kyoto-Protokoll jedoch nicht. Im Oktober 2016 wurde schließlich das Montreal Protokoll durch den Kigali-Beschluss erweitert. Dieser trat 2019 in Kraft und verpflichtet zur Reduktion der HFKW bis 2047<sup>5</sup>. Seitdem gewinnt die Nutzung natürlicher Kühlmittel zunehmend an Bedeutung.

Die klimagerechte Transformation der Kälteversorgung erfordert eine ganzheitliche Betrachtung. Basierend auf einer detaillierten Status-quo-Analyse gilt es, eine geeignete Strategie zur Kältebereitstellung und -verteilung zu entwickeln, und dabei auch einen klimagerechten Einsatz von Kältemitteln zu berücksichtigen (Kapitel 4).

<sup>1</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Carl\\_von\\_Linde](https://de.wikipedia.org/wiki/Carl_von_Linde)

<sup>2</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Ozonloch>

<sup>3</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/30-jahre-montrealer-protokoll-schutz-von>

<sup>4</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/kaelteportal-rechtliche-grundlagen/internationale-abkommen#kyoto-protokoll-der-klimarahmenkonvention>

<sup>5</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/kaelteportal-rechtliche-grundlagen/internationale-abkommen#montrealer-protokoll>

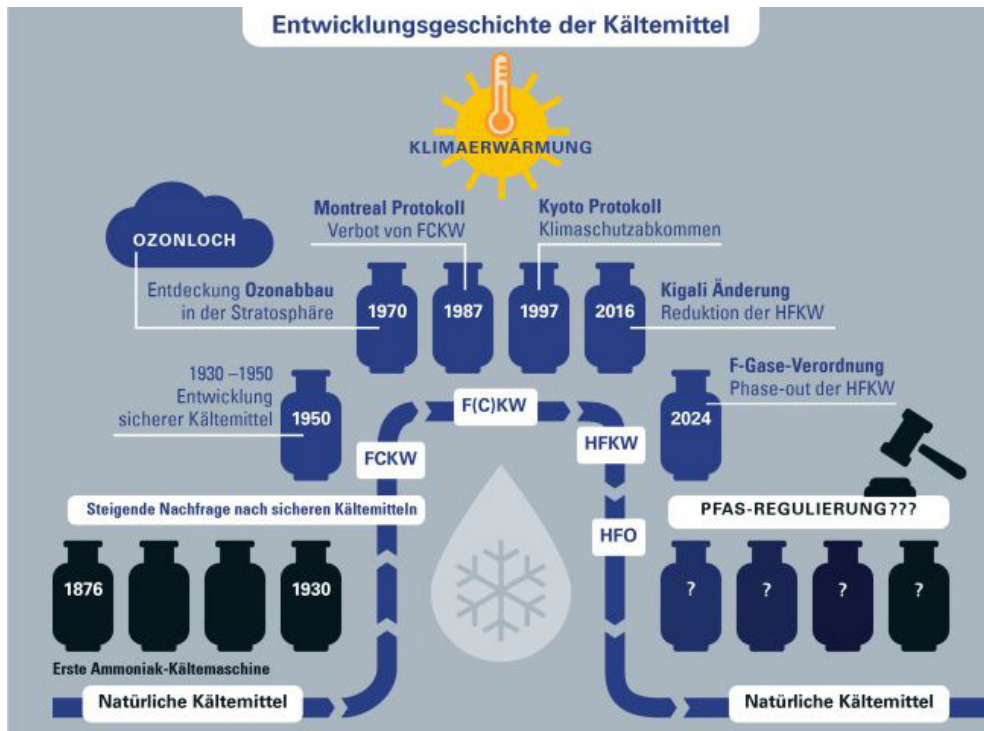


Abb. 1: Entwicklungsgeschichte der Kältemittel (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt)<sup>6</sup>

Bestehende Kältesysteme geraten aufgrund der klimatischen Veränderungen zunehmend an ihre Grenzen, sodass im Rahmen der strategischen Planung auch das Thema Versorgungssicherheit zu berücksichtigen ist (Kapitel 5). Europa gilt als die sich am schnellsten erwärmende Region der Erde. Seit den 1980er-Jahren steigt die Temperatur auf dem europäischen Kontinent etwa doppelt so schnell wie im globalen Durchschnitt.<sup>7</sup> Diese Entwicklung führt bereits heute zu häufigeren und intensiveren Hitzewellen sowie zu einer zunehmenden thermischen Belastung von Städten, Gebäuden und technischer Infrastruktur. Besonders in dicht bebauten urbanen Räumen verstärken sich Hitzeperioden durch den sogenannten Urban-Heat-Island-Effekt zusätzlich.<sup>8</sup> Damit steigt der Bedarf an technischer Kühlung sowohl zur Gewährleistung komfortabler Arbeitsbedingungen als auch zum sicheren Betrieb temperaturempfindlicher Anlagen.

Für Forschungszentren ergibt sich daraus eine doppelte Herausforderung: Einerseits müssen steigende Kühlleistungen bereitgestellt werden, um den Betrieb sensibler Infrastruktur auch während extremer Hitzeperioden sicherzustellen. Andererseits erfordern klima- und energiepolitische Vorgaben – etwa die Novelle der Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), das Gebäudeenergiegesetz, das Energieeffizienzgesetz sowie das Bundes-Klimaschutzgesetz – eine deutliche Reduktion des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen (Kapitel 6). Zentral Aufgaben sind die Steigerung der Energieeffizienz, die Nutzung erneuerbarer Quellen und die Sektorkopplung.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Transformation der Kälteversorgung eine zentrale Rolle in der zukünftigen Energie- und Klimastrategie von Forschungsinfrastrukturen spielt. Effiziente, resiliente

<sup>6</sup> [https://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/f\\_gase/fgase\\_einfach/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/f_gase/fgase_einfach/index.htm)

<sup>7</sup> <https://climate.copernicus.eu/why-are-europe-and-arctic-heating-faster-rest-world>

<sup>8</sup> [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/urban-heat-islands-managing-extreme-heat-keep-cities-cool-2024-07-22\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/urban-heat-islands-managing-extreme-heat-keep-cities-cool-2024-07-22_en)

und klimafreundliche Kühlsysteme werden damit zu einem wesentlichen Baustein der klimaneutralen Transformation von Forschungseinrichtungen.

## 2. Technologien zur Kältebereitstellung

Kälteversorgungssysteme sorgen dafür, dass Wärme gezielt aus Räumen oder Medien abgeführt wird. Je nach Einsatzzweck können unterschiedliche Techniken zur Anwendung kommen (Abb. 2). Grundsätzlich wird zwischen passiver und aktiver Kühlung unterschieden.

Passive Systeme nutzen natürliche Wärmesenken wie das Erdreich, kühle Nachtluft oder Verdunstungseffekte, um Wärme über Wärmetauscher ohne zusätzlichen Energieeinsatz für die eigentliche Temperaturabsenkung abzuführen. Aktive Systeme basieren hingegen auf Kältemaschinen, die das gewünschte Temperaturniveau durch maschinell gesteuerte Prozesse wie Kompression oder Sorption erzeugen. In der Praxis werden beide Ansätze häufig kombiniert. Dabei decken passive Maßnahmen in der Regel die Grundlast ab, während aktive Systeme zur Abdeckung von Spitzenlasten eingesetzt werden.

Um die im Forschungsbetrieb erforderlichen Kühlbedarfe mit unterschiedlichen Temperaturniveaus zu gewährleisten, werden adäquate Kältequellen

benötigt. Für eine gezielte Entfeuchtung der Luft in Laboren muss die Luft zunächst auf unter 10 °C abgekühlt werden. Hier kommt ein auf etwa 6 °C temperiertes Kühlmittel zum Einsatz. Sind niedrigere Temperaturen notwendig, z. B. beim Betrieb von Kühlräumen (4 °C), werden zur Kühlung Frostschutzmittel beigemischt oder spezielle Kältemittel eingesetzt, die häufig ein höheres Treibhauspotenzial aufweisen. In solchen Fällen erfolgt die Kälteerzeugung in der Regel direkt vor Ort. Aufgrund der damit verbundenen erhöhten Sicherheitsanforderungen werden derartige Systeme jedoch nur in ausgewählten Anwendungen eingesetzt. Grundsätzlich gilt: Je niedriger die erforderliche Kühlmitteltemperatur, desto höher ist der Energieeinsatz.

Moderne Kälteversorgungssysteme setzen dabei zunehmend auf energieeffiziente, erneuerbare und systemintegrierte Lösungen. Neben klassischen Kompressionskälteanlagen kommen vermehrt Technologien zum Einsatz, die Umweltenergie, Abwärme oder erneuerbaren Strom nutzen und in übergeordnete Energie- und Wärmenetze eingebunden sind. Dadurch entstehen flexible, multivalente Versorgungskonzepte, die sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile bieten.

### Typische Kälteerzeugungssysteme

Nachfolgend sind einige Beispiele für typische Kälteerzeugungssysteme aufgelistet:



Abb. 2: Kälteversorgungstechnik am Max Delbrück Center: (A) Absorptionskältemaschine, (B) Kompressionskältemaschine, (C) Hybridkühltürme (Quelle: Max Delbrück Center)

### **Kompressionskältemaschinen**

Bei der Kompressionskälte wird ein Kältemittel in einem geschlossenen Kreisprozess wiederholt verdichtet und entspannt. Es wird zunächst außerhalb des zu kühlenden Mediums verdichtet und erwärmt sich. Die dabei entstehende Wärme wird an die Umgebung abgegeben. Anschließend wird das Kältemittel innerhalb des zu kühlenden Bereichs entspannt beziehungsweise dekomprimiert, wodurch es stark abkühlt und Wärme aus dem Raum oder Medium aufnehmen kann. Danach beginnt der Kreislauf erneut. Das Prinzip der Kompressionskältepumpe entspricht dem der Wärmepumpe, nur dass dort die Kompressionswärme genutzt und die Kälte abgeleitet wird.<sup>9</sup>

### **Absorptionskältemaschinen**

Absorptionskältemaschinen produzieren Kälte durch Wärme. In einem geschlossenen System wird aus dem Kältemittel (z. B. Wasser oder Ammoniak) und dem Lösungsmittel (z. B. Lithiumbromid) in vier Schritten – Austreiben, Verflüssigen, Verdampfen und Absorbieren – Kaltwasser hergestellt. Als Wärmequelle wird häufig Abwärme aus Blockheizkraftwerken (z. B. am Max Delbrück Center) oder industriellen Prozessen genutzt. Absorptionskältemaschinen verbrauchen deutlich weniger Strom als Kompressionskältemaschinen.

### **Verdunstungskühlung**

Bei der Verdunstungskühlung wird der natürliche Verdunstungsprozess von Wasser ausgenutzt. Wenn Wasser durch ein saugfähiges oder poröses Material fließt und von warmer, trockener Außenluft durchströmt wird, verdunstet es und entzieht der Luft dabei Wärme. Die abgekühlte Luft kann dann direkt in den zu kühlenden Raum geleitet werden. Wenn die Luftfeuchtigkeit im Raum gesteuert werden muss, kann die Temperierung der Zuluft auch über einen Wärmetauscher erfolgen. Die Effizienz der Verdunstungskühlung hängt von den Ausgangsbedingungen

der Außenluft ab, insbesondere von der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit.<sup>10</sup>

### **Freie Kühlung**

Bei Freier Kühlung werden niedrige Außentemperaturen zur direkten Kaltwassererzeugung ausgenutzt, z. B. über Rückkühlwerke. Diese Art der Kühlung ist eine sehr effiziente Möglichkeit Energie zu sparen. Voraussetzung dafür sind entsprechend niedrige Außenlufttemperaturen, so dass der Kältemaschinenbetrieb durch die Freie Kühlung sinnvoll verdrängt werden kann. Günstige Bedingungen für die Anwendung von Freier Kühlung bieten Bereiche mit ganzjährigem Kühlbedarf, wie z. B. Rechenzentren.<sup>11</sup>

### **Reversible Wärmepumpen**

Reversible Wärmepumpen werden im Sommer zur aktiven Kühlung und im Winter zum Heizen genutzt. Zur Kühlung in den Sommermonaten wird der Prozess der Wärmeerzeugung umgekehrt: Durch die Zirkulation von kaltem Heizungswasser im Heizungssystem wird der Raumluft Wärme entzogen. Im Grundsatz gibt es zwei Varianten – aktive und passive Kühlung. Bei der aktiven Kühlung wird das Funktionsprinzip der Wärmepumpe umgedreht. Dabei werden die Primär- und Sekundäranschlüsse umgeschaltet. Die Wärmepumpe muss dazu mit einem reversierbaren bzw. umkehrbaren Kältekreislauf ausgerüstet sein. Bei der Betriebsart Kühlung nimmt die Wärmepumpe überschüssige Raumwärme auf und führt sie über den Verdichter ab. Dabei wird Wärme aktiv, durch die Pump- und Verdichtungsleistung, abtransportiert und Kälte produziert. Bei der passiven Kühlung wird der Kompressor abgeschaltet und der Kreislauf unmittelbar von einem kühleren Medium, wie beispielsweise Grundwasser, durchflossen. Reversible Wärmepumpen kommen insbesondere in Verbindung mit Niedertemperaturwärmenetzen und erneuerbaren Quellen (z. B. kalter Nahwärme) zum Einsatz.<sup>12</sup>

<sup>9</sup> <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/kuehlen-klimatisieren/kaelteeerzeugung-mit-kompression-2492693>

<sup>10</sup> <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/kuehlen-klimatisieren/kaelteanlagen-in-der-uebersicht-4952752>

<sup>11</sup> [https://www.kka-online.info/artikel/kka\\_Freie\\_Kuehlung\\_mit\\_Pumpenzirkulation-2632262.html](https://www.kka-online.info/artikel/kka_Freie_Kuehlung_mit_Pumpenzirkulation-2632262.html)

<sup>12</sup> <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/kuehlen-klimatisieren/aktive-und-passive-kuehlung-mit-waermepumpen-5449990>

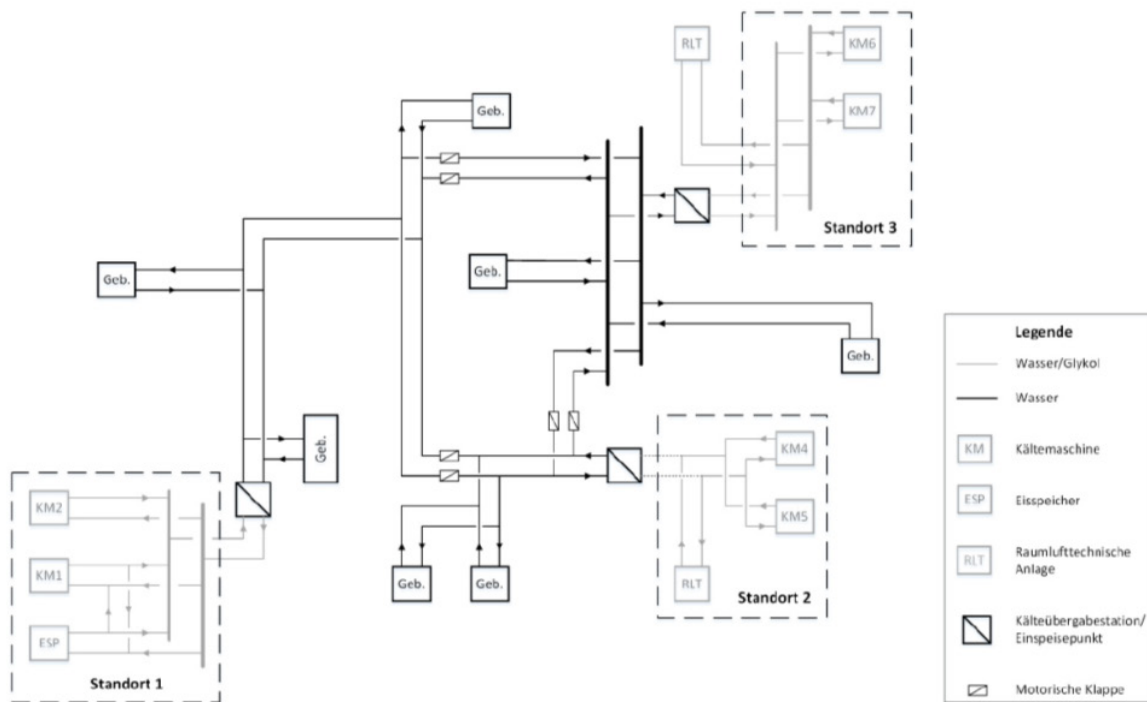


Abb. 3: Vereinfachtes Schema des Kältenetzes im ZPO (Quelle: Energienetz Berlin Adlershof – Schlussbericht)

### Netze zum Kältetransport

Kältenetze werden genutzt, um mehrere Gebäude über ein Leitungsnetz mit Kälte zu versorgen. Sie arbeiten typischerweise mit Vorlauftemperaturen von etwa 6-12 °C und stellen direkt nutzbare Kälte bereit. Neben klassischen Kältenetzen werden zunehmend innovative Netzsysteme eingesetzt, insbesondere kalte Nahwärmenetze und Anergienetze. Diese arbeiten auf einem niedrigen Temperaturniveau von etwa 5-25 °C und transportieren keine direkt nutzbare Wärme oder Kälte, sondern Umweltenergie. Kalte Nahwärme- und Anergienetze können sowohl zur Wärme- als auch zur Kälteversorgung genutzt werden. Die Temperaturen werden in den Gebäuden mit Hilfe von Wärmepumpen oder Wärmetauschern auf das erforderliche Niveau angepasst. Als Energiequellen dienen beispielsweise Erdwärme, Abwärme, Abwasser oder Flusswasser. Ein Anergienetz wurde z. B. auf dem Campus Höggerberg der ETH Zürich realisiert.<sup>13</sup>

### Sorptionsgestützte Kälteerzeugung

Bei der sorptionsgestützten Kälteerzeugung wird Niedertemperaturwärme (ca. 60-80 °C), z. B. aus Solarthermie, genutzt, um Luft durch Sorptionsräder zu entfeuchten und anschließend mittels Verdunstungskühlung abzukühlen. Diese Technik eignet sich besonders für Gebäude mit hohem Frischluftbedarf.<sup>14</sup> Sorptionsgestützte Kälteerzeugung wird am Max Delbrück Center zur Kühlung des Gebäudes für Kryo-Elektronenmikroskopie eingesetzt. Hier ist eine präzise Klimatisierung notwendig, da bereits geringste Schwankungen die Messergebnisse beeinträchtigen.

### Sektorkopplung

Neben der Betrachtung individueller Kälteversorgungssysteme sollte auch der systemische Ansatz der Sektorkopplung berücksichtigt werden. Hier ist zu klären, wie die Bereiche Strom, Wärme und Kälte durch intelligente Systemsteuerung verknüpft wer-

<sup>13</sup> [https://ethz.ch/content/dam/ethz/main/eth-zurich/nachhaltigkeit/O1\\_mainpage/dokumente/200129\\_Anergienetz\\_A4\\_6s\\_Einzel\\_EN\\_RZ.pdf](https://ethz.ch/content/dam/ethz/main/eth-zurich/nachhaltigkeit/O1_mainpage/dokumente/200129_Anergienetz_A4_6s_Einzel_EN_RZ.pdf)

<sup>14</sup> <https://www.baunetzwissen.de/solar/fachwissen/solarkaelte/sorptionsgestuetzte-kaelteerzeugung-165912>



Abb. 4: Eisspeicher am Zentrum für Photonik und Optik (Quelle: Energienetz Berlin Adlershof - Schlussbericht)

den können. Beispiele sind die Nutzung von Solarstrom für Kompressionskältemaschinen, Eisspeicher oder die Integration in Campus-Microgrids und Lastmanagement-Systeme.<sup>15</sup>

Ein gutes Beispiel für die Sektorkopplung ist das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Projekt „Energienetz Berlin Adlershof“. Ziel war die Optimierung des Kältenetzes im Zentrum für Photonik und Optik (ZPO). Im Fokus stand die systemische Vernetzung der Energieträger Wärme, Kälte und Strom, um den Primärenergiebezug signifikant zu reduzieren. Zunächst wurde das Bestandskältenetz saniert, erweitert und durch einen Eisspeicher ergänzt. Heute verfügt das Versorgungssystem über drei Einspeisepunkte. An den Erzeugerstandorten sind zwei Kompressionskältemaschinen und ein Eisspeicher installiert. Das Versorgungssystem (Abb. 3) besteht aus mehreren Primärkreisen mit Wasser/Glykol und einem gemeinsamen Sekundärkreis mit Wasser als Kälteträger. Es wird mit einer Temperaturspreizung von 6 °C im Vorlauf und 12 °C im Rücklauf betrieben,

während die Kältespeicherung im Eis bei -1,5 °C erfolgt. Die Installation von Messtechnik und Datenerfassungssystemen ermöglichte ein detailliertes Monitoring des Systems. Auf diese Weise konnten Schwachstellen und Optimierungsmöglichkeiten identifiziert sowie Effizienzpotenziale erschlossen werden. Im Verlauf des Projekts konnte so eine deutliche Verbesserung der Gesamtsystemeffizienz erzielt werden. Im Vergleich zum Referenzjahr 2015 konnte der Primärenergieverbrauch 2020 um 48% gesenkt werden. Eine detaillierte Darstellung des Vorhabens und der Ergebnisse ist im Schlussbericht „Energienetz Berlin Adlershof“ enthalten.<sup>16</sup>

#### Speichertechnologien

Speichertechnologien spielen eine zentrale Rolle für eine flexible und effiziente Kälteversorgung.<sup>17</sup> Latentkältespeicher, insbesondere Eisspeicher (Abb. 4) und Phase-Change-Systeme, nutzen die beim Phasenwechsel zwischen Wasser und Eis ohne Temperaturänderung freiwerdende bzw. aufgenommene latente Wärme. Sie eignen sich sowohl für tageszyklische

<sup>15</sup> <https://www.swd-ag.de/magazin/innovationskraft/sektorenkopplung/>; <https://www.energieforschung.de/uebersicht/sektorkopplung>

<sup>16</sup> <https://edocs.tib.eu/files/e01fb23/1854219308.pdf>

<sup>17</sup> Goeke, 2021, Thermische Energiespeicher in der Gebäudetechnik

als auch saisonale Anwendungen und ermöglichen die Kopplung von Kälte- und Wärmenetzen bei stabilem Temperaturniveau. Ein Anwendungsbeispiel ist die Einbindung eines Eisspeichers in das Kältenetz des ZPO in Berlin Adlershof (siehe oben), wodurch Lastverschiebepotenziale genutzt und Lastspitzen gedämpft werden können.

Kaltwasserspeicher, ausgeführt als Tank- oder Erdbeckenspeicher, sind bewährte Systeme zur Lastverschiebung im Tagesverlauf und werden häufig in Kombination mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung eingesetzt. Aktuelle Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die Optimierung von Be- und Entladevorgängen sowie die Reduzierung von Speicherverlusten. So hat die Technische Universität Berlin in einem Pilotprojekt in Berlin Adlershof (siehe oben) Möglichkeiten der Optimierung großer Versorgungssysteme auf Basis der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung untersucht. Dazu wurde ein großtechnischer Kurzzeitspeicher in ein bestehendes, mit Absorptions- und Kompressionskältemaschinen betriebenes Fernkältenetz integriert, das mit einer Vorlauftemperatur von 5° C betrieben wird.

Thermochemische Speicher befinden sich noch im Forschungsstadium. Sie gelten aufgrund ihrer hohen potenziellen Energiedichte und Eignung für lange Speicherzeiträume als zukunftsrelevant.

Power-to-Cold-Konzepte in Verbindung mit Kältespeichern ermöglichen die Nutzung von Überschussstrom aus regenerativen Energien zur Kälteerzeugung und tragen zur Netzdienlichkeit bei.<sup>18</sup>

### 3. Kältemittel

Kältemittel durchlaufen in Kältemaschinen einen thermodynamischen Kreisprozess, um Wärme aufzunehmen und an anderer Stelle wieder abzugeben. Es gibt natürliche und synthetische Kältemittel. Zu

den natürlichen Kältemitteln zählen Luft, Propan, CO<sub>2</sub> und Ammoniak. Synthetische Kältemittel sind halogenierte beziehungsweise fluorierte Kohlenwasserstoffe, deren Eigenschaften für den Kälteprozess optimiert wurden. Wie bereits erläutert, haben diese synthetischen Kältemittel eine stark klimaschädigende Wirkung. Aus diesem Grund werden bei Neuanlagen, die synthetische Kältemittel verwenden, strenge Anforderungen an Errichtung, Inbetriebnahme und Betrieb gestellt.

Um ein Entweichen der Kältemittel zu verhindern, ist es gesetzlich verpflichtend vor Inbetriebnahme eine Berstdruckprobe durchzuführen und die Dichtheit auch nach Inbetriebnahme regelmäßig zu überprüfen. Bei der Berstdruckprobe wird die Anlage mit dem Druck belastet, den das Kältemittel bei den höchsten zu erwartenden Außentemperaturen erreicht. Dieser kann bis zu 40 bar betragen. Verstöße gegen die gesetzlichen Anforderungen an den Umgang mit diesen Stoffen werden als Ordnungswidrigkeiten oder Straftaten sanktioniert.<sup>19</sup>

Die neueste Generation synthetischer Kältemittel sind Hydrofluorolefine (HFO). HFO schädigen nicht die Ozon-schicht und besitzen darüber hinaus ein vergleichsweise niedriges Treibhauspotenzial. Das Umweltbundesamt weist allerdings darauf hin, dass deren Abbauprodukt Trifluoressigsäure (TFA) Trinkwasser und Ökosysteme belastet.<sup>20</sup> Als Alternative zu den synthetischen Kältemitteln kommen in reversiblen Wärmepumpen zunehmend natürliche Kältemittel wie CO<sub>2</sub> oder Propan zum Einsatz. Bei bestehenden Anlagen ist die Umstellung von synthetischen auf natürliche Kältemittel aufgrund der abweichenden Eigenschaften allerdings nicht immer möglich und kann zu erheblichen Einbußen beim Wirkungsgrad führen. Welche Kältemittel zukünftig weiter verwendet werden dürfen und in welchen Fällen eine Nachrüstung der Anlagentechnik notwendig ist, wird in Abb. 5 dargestellt.

<sup>18</sup> [Wärmepumpen](#) als Schlüssel der Energiewende (Testo SE & Co KGaA)

<sup>19</sup> [https://www.bfs-kaelte-klima.de/fileadmin/DATEIEN/Download/Merkblaetter/Die\\_novellierte\\_F-Gase-Verordnung-12-24.pdf](https://www.bfs-kaelte-klima.de/fileadmin/DATEIEN/Download/Merkblaetter/Die_novellierte_F-Gase-Verordnung-12-24.pdf)

<sup>20</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/en/press/pressinformation/trifluoroacetic-acid-from-fluorinated-refrigerants>

F-Gas / Kältemittel	Technologien (typisch)	GWP	Status ab 2025
R404A (HFKW)	Kompressionskälte, ältere Gewerbeanlagen	3922	Verboten
R410A (HFKW)	Splitklimategeräte, Wärmepumpen	2088	Verboten (Neuanlagen)
R134A (HFKW)	Gewerbekälte, Großwärmepumpen	1430	Bestand, mittelfristig Reglementiert
R507A (HFKW)	Gewerbekälte	3985	Verboten
R32 (HFKW)	Split-/Multi-Split und kleinere Wärmepumpen	675	Noch zulässig (GWP < 750)
R449A, R452B (HFKW/HFO-Mix)	Nachrüstlösung Bestand	1397/698	Bestand / Folgemittel
R1234yf/ze (HFO)	Neue Kälteanlagen, Automobile, reversible Wärmepumpen	4-7	empfohlen, zukunftssicher
CO <sub>2</sub> (R744)	Eisspeicher, Kälteanlagen, Wärmepumpen, Speicher	1	uneingeschränkt zulässig
Propan (R290)	Speicher, Wärmepumpen, moderne Gewerbekälte	3	uneingeschränkt zulässig
Ammoniak (R717)	Absorptions- / Adsorptionsanlagen	0	uneingeschränkt zulässig
Wasser	Eisspeicher, Absorptionsanlagen	0	uneingeschränkt zulässig

Abb. 5: Zulassungsstatus gebräuchlicher Kältemittel

#### 4. Entwicklung einer institutionellen Kälteversorgungsstrategie

Helmholtz-Zentren verfügen über komplexe Forschungsinfrastrukturen. Die Transformation der Kälteversorgung erfordert deshalb einen ganzheitlichen Ansatz, der strategische Steuerung, regulatorische Anforderungen, technische Entscheidungen und den operativen Betrieb gleichermaßen berücksichtigt. Die folgenden Handlungsfelder bilden die Grundlage für eine langfristig klimaneutrale und resiliente Kälteinfrastruktur (Abb. 6).

##### Analyse des Status quo

Zu Beginn sollte eine gründliche Analyse des Status quo und möglicher Potenziale stehen (siehe Box). Insbesondere ist sorgfältig abzuwägen, ob eine zentrale, eine dezentrale Kälteversorgung oder eine Kombination aus beiden sinnvoll und wirtschaftlich betrieben werden und wie eine Einbindung in das Energiekonzept des Standorts erfolgen kann.

##### Strategische Planung

Basierend auf einer detaillierten Analyse der vorhandenen Kältebedarfe erfolgt die strategische Planung. Dabei ist zu prüfen, wie technische Optionen mit

#### Status quo Analyse der Kältebedarfe

Die Analyse der Kältebedarfe sollte folgende Aspekte berücksichtigen:

- Sorgfältige Klärung der Bedarfe
- Zu erwartende Gleichzeitigkeit von Lasten
- Gebäudebezogene Kennwerte, z. B. der Bedarf pro Quadratmeter
- Wechselwirkungen mit vorhandenen Wärmequellen und Lüftungsanlagen
- Einbindung in strategische Planung, z. B. Energiekonzept, Campusmasterplan
- Abwägung zentrale oder dezentrale Kälteerzeugung

strategischen Klimazielen und institutioneller Versorgungssicherheit in Einklang gebracht werden können. Darüber hinaus ist zu klären, wie die notwendigen Investitionen in der mittelfristigen Finanzplanung abgebildet werden.



Abb. 6: Schematische Darstellung für die Entwicklung einer institutionellen Kälteversorgungsstrategie

Daher sind ein Commitment des Vorstands sowie eine strategische Verankerung der Kälteversorgung mit klaren Zielpfaden und Verantwortlichkeiten erforderlich. Hierzu gehört auch die konsequente Integration in bestehende Energiemanagementsysteme und in die Campus-Masterplanung. Eine isolierte Betrachtung einzelner Anlagen greift zu kurz und birgt das Risiko langfristiger Fehlentwicklungen. Zudem verhindert sie die Nutzung von

Synergien mit Wärme, Strom und Gebäudestrukturen. Wesentliche Ziele der strategischen Planung der Kälteversorgung sind:

- Kälteversorgung als eigenständiges strategisches Handlungsfeld etablieren (analog Wärme).
- Festlegung klarer Zielpfade (Emissionen, Energiebedarf, GWP, Versorgungssicherheit).

## Forschungszentrum Jülich: Integration der Kälteversorgung in Energiemanagement & Masterplanung

Am Forschungszentrum Jülich (FZJ) wird die Kälteversorgung in strategische Planungsinstrumente integriert.

Im Rahmen des Energiemanagements wird mit Hilfe geeigneter Kennzahlen (EnPI) der Kälteverbrauch pro Fläche beziehungsweise pro Mitarbeitendem analysiert. Dadurch können strukturelle Veränderungen, etwa durch Flächenzuwachs oder Nutzungsänderungen, auch bei wachsender Infrastruktur abgebildet werden.

Das integrale Energiekonzept des FZJ sieht zudem vor, Wärme- und Kälteversorgung systematisch zu koppeln. Unterschiedliche Temperaturniveaus von Kälte- und Wärmenetzen (Kälte: 12/6 °C, Wärme: 90/50 °C) führen allerdings zu hohen Temperaturhuben und schränken die Effizienz bei Koppeltechnologien sowie die wirtschaftliche Umsetzbarkeit ein. Vor diesem Hintergrund werden am FZJ standortspezifische Transformationspfade entwickelt, die sowohl technologische Entwicklungen als auch perspektivisch niedrigere Temperaturniveaus berücksichtigen. Projektideen wie „Genial gekoppelt: Wärme- und Kälteversorgung mittels neuartiger Rotationswärmepumpe im Megawatt-Bereich“ werden hierbei wichtige Erkenntnisse zur technischen und wirtschaftlichen Einsetzbarkeit liefern.

Ergänzend zu zentralen Lösungsansätzen wird im Projekt „Wärme-Kälte-Kopplung mittels dezentraler Wärmepumpen im Gebäude 02.14 (JuCon)“ eine dezentrale Kopplung auf Gebäudeebene umgesetzt. Aufgrund der höheren Investitions- und Betriebskosten sowie Anforderungen an Betrieb, Wartung und Personal zeigte sich, dass eine frühzeitige Berücksichtigung betrieblicher Aspekte sowie der Aufbau geeigneter organisatorischer und technischer Strukturen zur Sicherstellung eines zuverlässigen und effizienten Anlagenbetriebs erforderlich ist.

Zentrale und dezentrale Versorgungsoptionen werden am FZJ frühzeitig integrativ betrachtet und in der Campus-Masterplanung sowie der Energieentwicklungsplanung verankert, u. a. durch das Vorhalten von Flächen für Energiezentralen, eine vorausschauende Trassenplanung sowie die Berücksichtigung zukünftiger Erweiterungsmöglichkeiten. Insgesamt hat sich gezeigt, dass nur eine systemische Gesamtbetrachtung von Kälte-, Wärme-, Strom- und Gebäudestrukturen die Nutzung von Synergien ermöglicht und die Grundlage für eine nachhaltige, klimagerechte Transformation der Energieversorgung bildet.

- Verankerung in Vorstands-, FM- und Energiemanagementstrukturen (z. B. ISO 50001) sowie Campus-Masterplänen (Netze, Flächen, Neubauten, Sanierungen).

**Kältemittelversorgung zukunftssicher gestalten**

Die europäische und internationale Regulierung zu fluorierten Kältemitteln verschärft sich dynamisch

und hat unmittelbare Auswirkungen auf bestehende und zukünftige Kälteanlagen. Investitionsentscheidungen, die diese Entwicklung nicht berücksichtigen, führen zu erheblichen regulatorischen und wirtschaftlichen Risiken. Um Rechtssicherheit herzustellen und Fehlinvestitionen zu vermeiden, empfiehlt sich folgende Vorgehensweise:

### Helmholtz Munich: Auswahl geeigneter Kältemittel für Um- und Neubau von Kälteanlagen

Helmholtz Munich achtet bei Auswahl neuer Kälteanlagen nicht nur auf die Investitionskosten, sondern auch auf deren Umweltverträglichkeit sowie die Betriebs- und Betriebskostensicherheit. Bei allen Neuinvestitionen wird grundsätzlich auch die Wahl des zu verwendenden Kältemittels untersucht. Dies betrifft sowohl Anlagen zur zentralen Fernkälteerzeugung als auch große Kältemaschinen und Wärmepumpen, etwa für Neubauprojekte.

Beispielsweise wurde bei der Vorplanung für eine reversible Wärmepumpe (siehe Tabelle) untersucht, welche Kältemittelvarianten für eine reversible Wärmepumpe in einem aktuellen Neubauprojekt marktverfügbar sind, um deren langfristigen Vor- und Nachteile bewerten zu können.

Mit dieser frühzeitigen, intensiven Betrachtung soll die Auswahl von Technologien unterstützt werden, die investiv wirtschaftlich sind und zugleich langfristige Verfügbarkeit sowie einen möglichst niedrigen GWP-Wert aufweisen. In der Risikoanalyse wird bewusst nicht auf die aktuellen Grenzwerte von GWP 750 vertraut, da bei anhaltendem Verfehlen der europäischen Klimaschutzziele weitere Verschärfungen während des kommenden Jahrzehnts möglich sind. Beschafft werden daher Kälteanlagen, die hinsichtlich eines niedrigen GWP als bestverfügbare Technik gelten und sich im Rahmen von Projektbudgetgrenzen realisieren lassen.

Kriterium	R515B	NH3 (R717)	R1234ze	Co <sub>2</sub> (R744)
Möglicher Hersteller	ENGIE	Johnson Controls (JCI)	ENGIE	Carrier
GWP	299	0	6	1
Füllmenge gesamt	75 kg	21 kg	80 kg	510 kg
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	22,43 t	0,00 t	0,48 t	0,51 t
Aggregate	2 Stück	2 Stück	2 Stück	2 Stück
Kältekreise	2 Stück (1 pro Chiller)	2 Stück (1 pro Chiller)	2 Stück (1 pro Chiller)	2 Stück (1 pro Chiller)
Verdichter	2 Stück (1 pro Chiller)	2 Stück (1 pro Chiller)	2 Stück (1 pro Chiller)	6 Stück (3 pro Chiller)
Abmessungen (L x B x H)	3252 x 1360 x 1878 mm	5011 x 1370 x 2661 mm (Einhausung)	4400 x 1100 x 2200 mm (Einhausung)	5200 x 1000 x 2200 mm

Quelle: Klett Ingenieur GmbH

- Ausstieg aus hoch-GWP-Kältemitteln systematisch vorbereiten (EU-F-Gase-VO).
- Neuinvestitionen ausschließlich mit Kältemitteln, die ein möglichst niedriges GWP aufweisen, z. B. natürliche oder HFO-basierte Kältemittel.
- Vermeidung von Stranded Assets (gestrandeten Vermögenswerten) durch frühzeitige Umstellung.

#### Technologie- und Investitionsstrategie

Die Auswahl von Kältetechnologien ist eine langfristige strategische Entscheidung mit Laufzeiten von mehreren Jahrzehnten. Technologische Pfadentscheidungen beeinflussen Emissionen, Betriebskosten und regulatorische Flexibilität nachhaltig. Eine strukturierte Investitionsstrategie muss daher auf Lebenszyklus-, Klima- und Systemeffizienz ausgerichtet sein und nicht allein auf kurzfristige Investitionskosten.

Im Sinne einer klimagerechten Kälteversorgung sollten folgende Maßnahmen priorisiert werden:

- Wärmepumpen mit Kälte-/Wärme-Kopplung
- Frei Kühlung- und hybride Systeme
- Campusweite Kälte-/Fernkältenetze

Dabei sollten Entscheidungen auf Grundlage von Lebenszyklus- und Klimakosten und nicht allein von Investitionskosten getroffen werden.

#### Betrieb & Risikoabsicherung

Auch bei guter Planung entscheidet der Betrieb über Klimawirkung, Effizienz und Versorgungssicherheit der Kälteversorgung. Emissionen entstehen häufig durch Leckagen, suboptimale Regelung und fehlende Transparenz im Anlagenbetrieb. Um die Performance dauerhaft abzusichern, braucht es ein konsequentes Betriebs- und Risikomanagement, das folgende Aspekte berücksichtigt:

### Max Delbrück Center: Kälteversorgungskonzept für Haus 31.1

Das MDC hat für die Sanierung seines größten Forschungsgebäudes, Haus 31.1 (ca. 10.000 m<sup>2</sup>), ein innovatives Energiekonzept entwickelt, das auch die Kälteversorgung umfasst. Im Fokus steht der Energieverbrauch der RLT-Anlagen. Relevante Energieträger sind Strom für den Lufttransport sowie Kälte und Wärme zur Temperierung der angesaugten Außenluft. Zur Übertragung von Wärme und Kälte sind Wärmeübertrager notwendig, die entsprechend der verfügbaren Temperaturniveaus dimensioniert und mit regelbaren Bypässen ausgestattet werden, um Druckverluste im Luftnetz zu minimieren. Zukünftig soll die Wärme- und Kälteversorgung über ein Nahkältenetz erfolgen, das im Be-

darfsfall auch als „kaltes Wärmenetz“ fungieren kann. Darüber hinaus werden bestehende Anlagen zur Kälte- und Fernwärmeversorgung genutzt. Um die Energieeffizienz der Gebäude zu erhöhen, wird für alle Neu- und Umbauten eine Trennung der Kältekreise für die Versorgung raumlufttechnischer Anlagen (Spreizung 7/13 °C) und die Versorgung der Umluftkühler sowie sonstiger Geräte (Spreizung 13/19 °C) angestrebt. Dadurch kann im Auslegungsfall (Hochsommer) eine Temperaturspreizung des Nahkältenetzes von 6/18 °C realisiert werden. Im Winter, wenn keine Kühlung der raumlufttechnischen Anlagen erforderlich ist, sind sogar 12/18 °C möglich.

- Reduktion von Emissionen durch Leckage-Management und Monitoring
- Digitale Überwachung von Lasten, Effizienz und CO<sub>2</sub>-Wirkung
- Qualifizierung des Personals für neue Kältemittel und Sicherheitsanforderungen
- Leistungsregulierung: Vermeidung zu häufiger Ein-/Ausschaltvorgänge (Taktung) des Verdichters

## 5. Zukünftige Herausforderungen und Versorgungssicherheit

Die Versorgungssicherheit der Kälteversorgung wird durch Klimawandel, steigende technische Anforderungen und regulatorische Rahmenbedingungen zunehmend zur strategischen Herausforderung. Besonders relevant sind Lastspitzen bei Extremhitze, fehlende Standards zur Bürokühlung, die rapide Zunahme an Rechenleistungen, steigende Präzisionsanforderungen für wissenschaftliche Geräte sowie die klimaschädigende Wirkung klassischer Rückkühl- und Kältemittelkonzepte. Im vorliegenden Kapitel werden folgende Herausforderungen betrachtet:

- Versorgungssicherheit
- Auswirkungen von Extremwetter auf Kälteanlagen
- Risikoabschätzung
- Kühlung von Büroräumen
- Nutzeranforderungen an Labore und Forschungsräume

### Versorgungssicherheit

Die Richtlinie Kälte 2017 des Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV) weist darauf hin, dass neben der Energieeffizienz ausdrücklich die Ausfallsicherheit in die Planung einbezogen werden muss.<sup>21</sup> Maßnahmen zur Sicherung der Versorgungssicherheit sind:

### GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung: Effizienzsteigerung der Prototype Test Facility durch Komponententausch

Die Prototype Test Facility (PTF) ist eine Anlage zur Erprobung kryogener Komponenten für Teilchenbeschleuniger, in der Helium als Kühlmittel auf bis zu 4 K (-269° C) abgekühlt wird. Die benötigte Kälteleistung hängt dabei wesentlich von der Masse des zu kühlenden Objekts ab.

Der bisherige Kompressor der Anlage wurde mit einer festen Frequenz von 50 Hz betrieben, die nur eine eingeschränkte Anpassung der Leistung an den Bedarf ermöglichte. Nicht abgerufene Leistung wurde über einen By-Pass abgeführt.

Im Rahmen von Energieeffizienz-Maßnahmen wurde der alte Kompressor durch ein Gerät ersetzt, dessen Leistungsaufnahme durch einen Frequenzumrichter mittels Frequenzmodulation angepasst werden kann. Bei gleicher Leistung arbeitet der neue Kompressor ca. 10% effizienter. Durch die höhere Grundeffizienz verkürzen sich zudem die Abkühlphasen, was zusätzlich Energie einspart.

Im Kaltbetrieb kann die Leistung des neuen Kompressors in der Regel auf 60% reduziert werden. Bei etwa 6.000 Betriebsstunden pro Jahr und einem Anteil von etwa 90% Kaltbetrieb, ergeben sich hieraus Energieeinsparungen in Höhe von 540 MWh (ca. 35%).

<sup>21</sup> [https://www.amev-online.de/AMEVinhalt/Planen/Maschinenbau-und-Versorgungstechnik/Kaelte\\_2007/kaelte\\_2017.pdf](https://www.amev-online.de/AMEVinhalt/Planen/Maschinenbau-und-Versorgungstechnik/Kaelte_2007/kaelte_2017.pdf)

### Redundanz und Anlagendesign

Die Gesamtkälteleistung sollte auf mehrere Maschinen verteilt werden; eine Grundlastanlage liefert effizient Kälte, während eine Spitzenlastanlage mit weitem Teillastbereich Lastspitzen abfängt. Beispielsweise wird dieser Ansatz im Fernkältesystem des Energieversorgers „eins energie in sachsen GmbH & Co. KG“ in Chemnitz umgesetzt: Die Kälte für das Netz wird von mehreren Absorptions und Kompressionskältemaschinen erzeugt, was laut Monitoring zu besserem Anlagenbetrieb und höherer Sicherheit bzw. Versorgungsqualität führt.<sup>22</sup>

### Kältespeicher als Sicherheitsreserve

Kältespeicher können die installierte Leistung reduzieren und gleichzeitig hohe Spitzenlasten abdecken. Sie ermöglichen den Betrieb der Erzeuger unter günstigen Randbedingungen (z. B. nachts) und dienen als Notkälteversorgung. Zur weiteren Erhöhung der Versorgungssicherheit wurde bei dem bereits erwähnten Fernkältesystem in Chemnitz ein oberirdischer Kaltwasserspeicher in das System integriert. Diese Maßnahme ist klimafreundlich und ermöglicht eine kostengünstige Nachrüstung.

### Vermeidung von Verdunstungskühltürmen

Verdunstungs Rückkühlanlagen unterliegen in Deutschland der 42. BImSchV<sup>23</sup> und der VDI Richtlinie 2047.<sup>24</sup> Der erhöhte Überwachungs und Qualifikationsaufwand führt dazu, dass viele Betreiber auf trockene oder hybride Rückkühler umstellen. Dies beeinflusst die Planungs- und Betriebssicherheit in Forschungszentren.

### Minimierung der Ausfallrisiken bei Rechenzentren

Die zunehmenden Nutzung von KI-Methoden führt zu rapide steigenden Anforderungen an die Rechenleistung. Damit wird auch der Kühlbedarf von Rechen-

zentren stark steigen. Kühlanlagen machen bis zu 40% des Energieverbrauchs eines Rechenzentrums aus.<sup>25</sup> Betreiber setzen deshalb auf flüssige Kühlung und geschlossene Kreisläufe, um Wasserverbrauch und Ausfallrisiken zu reduzieren. Gleichzeitig bleiben Kühlungsstörungen selten, weil die Anlagen stark redundant ausgelegt sind und eine Ausfallzeit von weniger als einer Stunde pro Jahr angestrebt wird.

### Integrierte Kälte- und Wärmesysteme

Zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit von Forschungszentren wird von Projektentwicklern empfohlen, Spezialkonzepte mit integrierten Kälte und Wärmesystemen zu nutzen.<sup>26</sup> So kann beispielsweise eine Kombination aus Geothermie, Wärmepumpen, Photovoltaik und reversibel betriebenen, wassergekühlten Kältemaschinen maximale Effizienz und Versorgungssicherheit gewährleisten.

### Bewertung des Bestandes und Lessons Learned

Erfahrungen aus bestehenden Anlagen zeigen, dass saisonale Übergangszeiten und Teillastbetrieb zu Störungen führen können. Eine systematische Auswertung von Störungs- und Engpassprotokollen sowie regelmäßige Bestandsanalysen sind notwendig, um Schwachstellen frühzeitig zu erkennen. Zusätzlich sollten bei Neuplanungen Kältemittel mit niedrigem Treibhauspotential gewählt und unnötige Regel und Überwachungslasten (z. B. bei Verdunstungskühltürmen) vermieden werden. Überholte Anlagenkonzepte (z. B. ausschließliche Rückkühlung über Nasskühltürme) sind aufgrund regulatorischer Anforderungen und des Legionellenrisikos nur noch bedingt zukunftsfähig.

### Extremwetterbedingungen

Wie bereits im HKB | Leitfaden 06 dargestellt, wirken sich der Klimawandel und die zunehmende Urbani-

<sup>22</sup> [https://www-user.tu-chemnitz.de/~tur/ks2/pilotpr\\_ks.htm](https://www-user.tu-chemnitz.de/~tur/ks2/pilotpr_ks.htm)

<sup>23</sup> [https://www.gesetze-im-internet.de/bimsv\\_42/](https://www.gesetze-im-internet.de/bimsv_42/)

<sup>24</sup> <https://www.vdi.de/mitgliedschaft/vdi-richtlinien/unsere-richtlinien-highlights/vdi-2047>

<sup>25</sup> <https://www.reuters.com/business/keeping-cool-heat-key-challenge-data-centers-ai-2025-11-28/>

<sup>26</sup> <https://www.engie-deutschland.de/de/magazin/nachhaltige-kaelte-und-waermeversorgung-loesungen-fuer-den-pharma-und-life-science-bereich>

sierung nachteilig auf die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum aus. Durch die Entstehung sogenannter Hitzeinseln sowie fehlender Kaltluftschneisen kommt es zu Hitzestress. Dies betrifft auch Forschungszentren, deren Mitarbeitende zukünftig durch bauliche und organisatorische Maßnahmen vor hitzebedingtem Stress geschützt werden müssen. Zur Vermeidung von Hitzestress stehen verschiedene Strategien zur Verfügung.<sup>27</sup>

### Redundanz und Resilienz

Neben einer N+1 Redundanz für Maschinen und Energiestrom sollte die Netzarchitektur mehrere unabhängige Verteilerwege enthalten. Für Labore mit hohem Kühlbedarf (z. B. Kryotechnik, Hochpräzisionsmikroskopie) ist eine Priorisierung („Kältevorrang“) erforderlich, damit im Fall von Engpässen kritische Zonen versorgt werden können.

### Lastverschiebung und aktives Lastmanagement

Kältespeicher und intelligente Steuerung erlauben die Verlagerung von Kühlleistung in Nachtstunden oder Zeiten mit günstigen Außentemperaturen. In Hitzeperioden können unkritische Bereiche temporär höhere Temperaturen tolerieren, um Spitzenlasten zu vermeiden.

### Anpassung an höhere Anforderungen

Neue Labortechnologien erfordern eine präzise Temperatur und Feuchtestabilität (z. B. für Hochpräzisionsmikroskopie oder Kryotechnologien). Gleichzeitig sinkt die Effizienz klassischer Kälteanlagen bei hohen Umgebungstemperaturen; dies kann durch den Einsatz effizienter Wärmequellen (Geothermie), trockener oder hybrider Rückkühler und optimierter Entfeuchtungslösungen kompensiert werden.

### Notfallplanung

Forschungszentren sollten Szenarien für längere Hitze-

perioden und Stromausfälle entwickeln. Dies umfasst die Bereitstellung von Notstromaggregaten (für Pumpen und Steuerung), die Nutzung passiver Kühlstrategien (z. B. Nachtlüftung, Verschattung) sowie die Kooperation mit externen Rechenzentren oder Clouds, um Lasten auszulagern. Die im Resilient Cooling Bericht der International Energy Agency genannten Kategorien - reduzieren von Wärmeeinträgen, Abfuhr von fühlbarer Wärme, Steigerung des individuellen Komforts und Abfuhr von latenter Wärme - geben einen strukturierten Rahmen für solche Maßnahmen.<sup>28</sup>

### Blau-Grün-Rote Campus-Infrastrukturen

Bei der Entwicklung Blau-Grün-Roter Campus-Infrastrukturen<sup>29</sup> gilt es zu analysieren, wie Wasser- und Energieversorgungssysteme resilient und nachhaltig gestaltet werden können. Eine effektive blau-grüne Maßnahme zur Reduktion von Hitzestress ist die Verschattung durch Bäume. Diese senken die gefühlte Temperatur drastisch, schützen Gebäude vor dem Aufheizen und verbessern das Mikroklima. Eine weitere Möglichkeit bieten Fassadenbegrünungen, die sich positiv auf den Erlebniswert des Campus auswirken und darüber hinaus zahlreiche weitere Vorteile bieten. Sie kühlen im Sommer, dämmen im Winter und verbessern das Mikroklima durch Luftfilterung, Sauerstoffproduktion und Feinstaubbindung. Zudem können sie die Auswirkungen von Starkregen abmildern und Wasser speichern, die Biodiversität fördern, die Bausubstanz vor UV-Strahlung und Witterung schützen und Lärm reduzieren.

### Risikoabschätzung

Für Forschungsbetriebe wird die Kälteversorgung zunehmend zu einem strategischen Risikofaktor. Nachfolgend wird das Konzept der Risikomatrix vorgestellt, das in industriellen Kälte- und Wärmenetzen zur Bewertung und Priorisierung von Risiken einge-

<sup>27</sup> <https://www.aivc.org/sites/default/files/International%20Energy%20Agency%20EBC%20Annex%2080%20-%20Resilient%20Cooling%20of%20Buildings%20-%20Technology%20Profiles%20Report.pdf>

<sup>28</sup> <https://www.aivc.org/sites/default/files/International%20Energy%20Agency%20EBC%20Annex%2080%20-%20Resilient%20Cooling%20of%20Buildings%20-%20Technology%20Profiles%20Report.pdf>

<sup>29</sup> [https://hkb.helmholtz.de/assets/klimagerechtes\\_bauen/Dokumente/Leitf%C3%A4den/HKB\\_Leitfaden\\_06\\_Klimaangepasste\\_Campusentwicklung\\_Wasser-\\_und\\_Vegetationsmanagement\\_in\\_Helmholtz-Z.pdf](https://hkb.helmholtz.de/assets/klimagerechtes_bauen/Dokumente/Leitf%C3%A4den/HKB_Leitfaden_06_Klimaangepasste_Campusentwicklung_Wasser-_und_Vegetationsmanagement_in_Helmholtz-Z.pdf)

Nr.	Risiko	EW	A	Risiko- klasse	Strategische Relevanz
R1	Ausfall / Überlastung der Kälteversorgung bei Hitze	hoch	kritisch	●	Unterbrechung von Forschung, IT, Großgeräten
R2	Fehlende Redundanz in zentralen Kälteanlagen	mittel	kritisch	●	Single Point of Failure
R3	Unklare Priorisierung bei Kälteknappheit	hoch	erheblich	●	Fehlallokation, Forschungsschäden
R4	Unzureichende Entfeuchtung für neue Technologien	mittel	erheblich	●	Qualitätsverluste, Geräteausfälle
R5	Überzogene Komfortanforderungen (Bürokühlung)	hoch	begrenzt- erheblich	●	Steigende Lasten, Zielkonflikt Klimaneutralität
R6	Rechtliche Unsicherheit bei Büroraumkühlung	mittel	begrenzt	●	Reputations- und Genehmigungsrisiken
R7	Hoher technischer Aufwand für Standardlabore	mittel	erheblich	●	Ineffiziente Investitionen
R8	Rückbau / Wegfall von Nasskühltürmen	mittel	kritisch	●	Leistungseinbruch bei Großanlagen
R9	Fachkräftemangel	hoch	erheblich	●	Erhöhtes Ausfallrisiko
R10	Einsatz von Kältemitteln mit hohem GWP	hoch	erheblich	●	Wartungsprobleme, regulatorische Risiken
R11	Eingeschränkte Verfügbarkeit von Ersatz-Kältemitteln	mittel	kritisch	●	Stillstand bei Störung
R12	Übergangszeiten (gleichzeitig Heizen, Kühlen + Entfeuchten)	hoch	erheblich	●	Instabile Betriebszustände

Abb. 7: Strategische Risiken bei der Kälteversorgung; Eintrittswahrscheinlichkeit (EW): niedrig | mittel | hoch; Auswirkung (A): begrenzt | erheblich | kritisch; Risikoklasse: ● gering | ● mittel | ● hoch

setzt wird. Risikomatrizen sind in der Instandhaltung von Energie und Kältenetzen ein etabliertes Werkzeug, um Wahrscheinlichkeit und Folgen von Ausfällen systematisch zu bewerten und die Ressourcenzuteilung zu priorisieren (Abb. 7).

### Kühlung von Büroräumen

Das Raumklima eines Büroarbeitsplatzes wird durch inneren Lasten (Personen und Geräte) und von außen einfallende Lasten (Temperatur, Sonneneintrag) beeinflusst. Während der Wintermonate werden die von den Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR), A3.5 Raumtemperatur<sup>30</sup> vorgeschriebenen Temperaturen für Büroräume (mind. 20 °C) durch Heizungen sichergestellt. Eine vergleichbare technische Kompensation erfolgt in den Sommermonaten nicht, da in Standard-Büros gemäß haushaltsrechtlicher Vorgaben des Bundes keine technische Kühlung zulässig ist.

Die ASR A3.5 definieren im Sinne des Arbeitnehmerschutzes Vorgaben und zeigen passive bauliche und organisatorische Optionen auf. Bei Raumtemperaturen über +26 °C sind gem. ASR der nachträgliche Einbau eines Sonnenschutzes sowie die Art der Nutzung und eine mögliche besondere Gefährdung von Nutzenden zu prüfen. Bei hohen Raumtemperaturen über +30 °C können zusätzliche Maßnahmen, wie Nachtauskühlung, Lüftung in den frühen Morgenstunden, Einsatz von Ventilatoren oder die Reduzierung innerer thermischer Lasten erforderlich werden. Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels und der Zunahme sommerlicher Temperaturspitzen wird insbesondere bei der Bestandnutzung dem Thema sommerlicher Wärmeschutz eine hohe Aufmerksamkeit zu widmen sein.

Ein Einsatz aktiver Kühlung wird in der ASR A3.5 weder empfohlen noch kategorisch ausgeschlossen, so dass ggf. eine besondere Begründung erforderlich wird. Bei der Planung geeigneter Maßnahmen

(Abb. 7) empfiehlt sich eine differenzierte Betrachtung von Neubau und Bestandsbau.

### Neubau

Bei Neubauvorhaben sollte die Betrachtung des Raumklimas frühzeitig in die Planung einbezogen werden. Es ist zu prüfen, wie Wärmeeinträge vermieden oder kompensiert werden können. Beispielsweise können massive und gut gedämmte Außenwände den Wärmeeintrag im Sommer sowie Wärmeverluste im Winter reduzieren. Gleichzeitig wirken sie als thermische und energetische Speichermasse und gleichen Temperaturschwankungen aus. Werden sie mit aktiven Komponenten ergänzt (z. B. durch Betonkernaktivierungen, Flächenheizungen), können Lasten auf Grund der steten Wirkung gleichmäßig über den gesamten Tagesablauf abgeführt werden.

Bei der Auslegung der Fensterflächen muss ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Außenlichteinfall und Wärmeeintrag gefunden werden. Auch modernste Außenfenster und Glasfassaden können keine Wärme speichern. Große Glasflächen ermöglichen zwar solare Gewinne im Winter, erhöhen jedoch den Aufwand zur Vermeidung von Überhitzungen im Sommer. Daher ist der Einsatz von außenliegenden Sonnenschutzsystemen eine der wichtigsten Maßnahmen, wobei das gewählte System den Sonnenschutz auch bei extremen Wettersituationen (z. B. Sturm) wirksam gewährleisten muss. Weitere Maßnahmen sind in Abb. 8 dargestellt.

### Bestandsgebäude

Wärmeschutzmaßnahmen für Büros in Bestandsgebäuden sind in der Regel schwieriger umzusetzen. Ursachen sind bauliche Gegebenheiten, die oft nicht ohne Weiteres verändert werden können, sowie baurechtliche Vorgaben wie Denkmalschutz. Bauliche Eingriffe zur Verbesserung des Raumklimas sind insofern im Bestandsgebäude nur eingeschränkt mög-

<sup>30</sup> <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/ASR/ASR-A3-5>

lich. Bei erheblichen und länger anhaltenden Abweichungen von den Vorgaben der ASR sind demnach technische Installationsmaßnahmen erforderlich, um eine wirksame Verbesserung zu erreichen (Abb. 8).

**Nutzeranforderungen an Labore**

Typische Labore für die chemische, biologische, oder pharmazeutische Forschung sind durch unterschiedliche Sicherheitsanforderungen (S1-S4) sowie Labore nach GMP / GML charakterisiert. Daneben gibt es Forschungsräume, die nicht den Laborrichtlinien der

BG RCI<sup>31</sup> unterliegen, wie etwa physikalische Prüflabore oder Mikroskopieräume. Aufgrund dieser Vielfalt werden hier nur einige grundlegende raumklimatische Aspekte für naturwissenschaftliche Labore dargestellt.

Da sich Bedarfe für die Medienversorgung im Lebenszyklus eines Forschungsgebäudes ändern können, sind unflexible technische Systemlösungen ungeeignet. Stattdessen sollte ein Basissystem im Gebäude die grundlegenden technischen Parameter abdecken

Maßnahme	Vorteile	Nachteile	Empfehlung
Außenliegender Sonnenschutz	verhindert wirksam Wärmeeintragung durch Sonnenstrahlen, keine Betriebsenergiekosten	um Wirksamkeit auch bei Sturm zu gewährleisten, sind aufwendigere Systeme notwendig	+++
Nachtlüftung über Fassadenöffnungen	Wärmeabfuhr mit Luftdurchspülung / Lüftererneuerung in den Nachtstunden	Nachttemperaturen unter 20 °C notwendig, motorisch zu öffnende Fassadenelemente erforderlich	++
Betonkernaktivierung	Speicherung von Energie in den Baumassen	geringe Leistung	++
Begrünungen an und vor Fassaden	Natürliche Wirkung	Wirkt nur gegen äußere Lasteintragungen	+
Umluftkühlgerät	hohe Leistung	Geräusche, Zugluft, hoher Energieaufwand, Entfeuchtung der Raumluft	+/-
Lüftungsanlage	Lüftererneuerung im Raum, Nachtlüftung	Geringe Kühlleistung, ggf. Zugerscheinungen, hoher Energieaufwand, hoher technischer Aufwand	+/-

Abb. 8: Maßnahmen zum Hitzeschutz

<sup>31</sup> <https://www.bgrci.de/fachwissen-portal/themenspektrum/laboratorien/laborrichtlinien>

und in den Nutzungseinheiten flexibel auf die aktuellen Bedürfnisse anpassbar sein. Dazu zählen z. B. die Versorgung mit Laborgasen und Sondermedien, die Integration von Laborabzügen sowie die Erfassung und Abfuhr innerer Lasten am Entstehungsort.

Für die Bausubstanz von Laboren gelten grundsätzlich die gleichen Prinzipien wie für Bürobereiche (Abb. 8). Aufgrund höherer Lasten und hoher mechanischer Luftwechselraten ist die Wirkung dieser Maßnahmen jedoch häufig weniger wahrnehmbar. Zudem bestehen in Laborbereichen oft spezifische Anforderungen an das Raumklima, etwa hinsichtlich Temperatur und Luftfeuchte. Da deren Einhaltung mit aufwendiger Technik verbunden ist und häufig höhere Energie- und Betriebskosten erzeugt, sollten solche Anforderungen möglichst auf die tatsächlich notwendigen Bereiche begrenzt werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es keine Standardlösungen für Labore gibt. Auch sogenannte Grundinstallationen mit flexiblen Ausbaumöglichkeiten haben sich in der Praxis nicht immer bewährt. In der Regel wird durch die notwendige Laborlüftung und die Konditionierung der Zuluft eine ausreichende Kompensation der inneren Lasten sichergestellt. Zusätzliche Maßnahmen, insbesondere zur Raumkühlung oder zur Be- und Entfeuchtung, sollten aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht nur bedarfsgerecht und räumlich begrenzt eingesetzt werden.

## 6. Gesetzliche und politische Rahmenbedingungen / Fördermöglichkeiten

Kälteanlagen in Forschungszentren sind bau-, sicherheits-, energie- und umweltrechtlich relevante technische Anlagen, deren Auslegung zunehmend durch europäische und nationale klimapolitische Zielsetzungen bestimmt wird. Entscheidungen zur Anlagentechnik und zum Kältemittel beeinflussen nicht nur Genehmigungsfähigkeit und Betriebssicherheit, sondern

auch Energieeffizienz, Förderfähigkeit und langfristige regulatorische Zukunftssicherheit.

Die nachfolgende Übersicht soll einer ersten Orientierung dienen. In Abhängigkeit von der gewählten Technik der Kälteerzeugung können zusätzliche Anforderungen hinzukommen, die projektspezifisch mit Fachplanern und gegebenenfalls Behörden geprüft werden müssen. So können bei der Nutzung von Geothermie wasserrechtliche Genehmigungen erforderlich werden, bei Standorten in Schutz- oder Naturschutzgebieten weitergehende umweltrechtliche Vorgaben greifen. Nachfolgend werden der übergeordnete rechtliche Rahmen sowie relevante Vorschriften skizziert, die in den verschiedenen Phasen des Lebenszyklus von Kälteversorgungsanlagen von Bedeutung sind. Eine tabellarische Übersicht der wichtigsten regulatorischen Vorgaben ist im Anhang dargestellt. Neben den rechtlichen Rahmenbedingungen wird am Ende des Kapitels auch auf Fördermöglichkeiten hingewiesen.

### Europäischer Rahmen

#### European Green Deal

Den übergeordneten europäischen Rahmen bildet der European Green Deal, der das Ziel verfolgt Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen. Dafür sollen unter anderem Treibhausgasemissionen drastisch gesenkt und die Biodiversität sowie die Kreislaufwirtschaft gefördert werden.<sup>32</sup>

#### EU-Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden (EPBD, Neufassung 2024)

Für den Gebäudesektor bedeutet dies eine entschiedene Reduktion des Energieverbrauchs sowie der direkten Emissionen aus Kältemitteln. Die zentrale europäische Grundlage hierfür ist die der EPBD in Ihrer Neufassung von 2024. Sie verpflichtet die Mitgliedstaaten, die Anforderungen an die Energieeffizienz technischer Gebäudesysteme einschließlich Klimaanlage zu verschärfen, weitere Inspektions-

<sup>32</sup> <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/european-green-deal-118284>

pflichten vorzusehen und perspektivisch Nullemissionsgebäude zum Standard zu machen.<sup>33</sup>

### **F-Gase-Verordnung (EU) 2024/573**

Für die Auswahl und langfristige Verfügbarkeit von Kältemitteln ist die F-Gase-Verordnung (EU) 2024/573 maßgeblich. Sie sieht eine schrittweise Reduktion fluoriierter Treibhausgase (Phase-down), Anwendungsverbote mit festen Stichtagen sowie verschärfte Betreiberpflichten vor. Diese Regulierung hat unmittelbare Auswirkungen auf Investitionsentscheidungen und die Zukunftsfähigkeit bestehender und geplanter Anlagen.<sup>34</sup>

#### Nationaler Rahmen

### **Gebäudeenergiegesetz (GEG, in Novellierung)**

In Deutschland erfolgt die Umsetzung im Wesentlichen durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG), das sich derzeit in Überarbeitung befindet. Die Novellierung soll das Gesetz an die aktuelle Fassung der EPBD anpassen und es technologieoffener sowie flexibler gestalten.

### **Bundes-Klimaschutzgesetz**

Ergänzend wirkt das Bundes-Klimaschutzgesetz, das sektorale Emissionsziele vorgibt und mittelbar Druck auf öffentliche Gebäude und Forschungseinrichtungen ausübt, ihre Energie- und Kälteversorgung zu dekarbonisieren.<sup>35</sup>

#### Vorschriften in der Planungsphase

### **Landesbauordnungen, Sonderbauvorschriften**

Maßgeblich für die Planung sind die Landesbauordnungen sowie gegebenenfalls Sonderbauvorschriften. Anforderungen ergeben sich insbesondere aus Brand-

schutz, Aufstellbedingungen, Leitungsführungen und sicherheitsrelevanten Gebäudebereichen. Kälteanlagen können genehmigungsrelevant sein, etwa bei größeren Technikzentralen oder bei Einfluss auf das Brandschutzkonzept.<sup>36</sup>

### **DIN EN 378 Kälteanlagen und Wärmepumpen**

Als technischer Maßstab gilt die DIN EN 378 (Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheit und Umweltschutz) als anerkannte Regel der Technik. Energetische Anforderungen ergeben sich aus dem GEG als nationale Umsetzung der EPBD. Auf Grund der derzeitigen Novellierung bleiben die genaue Ausgestaltung sowie die finale Namensgebung noch offen. Das Verfahren muss bis Mai 2026 abgeschlossen sein.<sup>37</sup>

### **Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)**

Weiterhin relevant können immissionsschutzrechtliche Anforderungen nach BImSchG sein, insbesondere hinsichtlich Schallemissionen oder beim Einsatz von Rückkühlanlagen.<sup>38</sup>

### **F-Gase-Verordnung (EU) 2024/573**

Wie zuvor geschildert, ist bei der Auswahl des Kältemittels die F-Gase-Verordnung zu beachten. Neben aktuellen Anforderungen sind bei der Auswahl der Kältemittel zudem auch zukünftige Verfügbarkeits- und Einsatzbeschränkungen zu berücksichtigen.

#### Vorschriften für Errichtung und Umbau

### **Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU**

Viele Kälteanlagen enthalten Kompressoren, sodass die Anlagen als Ganzes oder in Teilen unter Druck stehen. Diese druckführenden Komponenten unterliegen der Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU. Die An-

<sup>33</sup> [https://www.bbsr-geg.bund.de/GEGPortal/DE/ErgaenzendeRegelungen/EPBD/epbd\\_node.html](https://www.bbsr-geg.bund.de/GEGPortal/DE/ErgaenzendeRegelungen/EPBD/epbd_node.html)

<sup>34</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/rechtliche-regelungen/eu-verordnung-ueber-fluorierte-treibhausgase#aktuelles>

<sup>35</sup> <https://www.bundesumweltministerium.de/gesetz/bundes-klimaschutzgesetz>

<sup>36</sup> <https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/grundlagen/verordnungen-fuer-geregelte-und-andere-sonderbauten-3110891>

<sup>37</sup> <https://www.dgwz.de/normen/din-en-378-1-kaelteanlagen-waermepumpen>

<sup>38</sup> <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Gesetze/Energie/BImSchG.html>

lage ist entsprechend den (anerkannten) Regeln der Technik zu errichten und zu dokumentieren. Änderungen von Leistung, Kältemittel, Aufstellort oder Rückkühltechnik können neue Prüf-, Anzeige- oder Genehmigungspflichten auslösen.<sup>39</sup>

### **F-Gase-Verordnung (EU) 2024/573**

Insbesondere beim angestrebten Um- und Weiterbau bestehender Anlagen muss anhand der F-Gase-Verordnung genau geprüft werden, ob die verwendeten Kältemittel weiterhin erlaubt sowie verfügbar sind, da eine Umrüstung auf ein zukunftsfähiges Kältemittel häufig aus technischen sowie wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist.

### **42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV)**

Für Verdunstungskühlanlagen gelten die Anforderungen der 42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (42. BImSchV) zur Legionellenprävention.<sup>40</sup>

#### Vorschriften für den Betrieb von Kälteversorgungsanlagen

### **Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)**

Rechtsgrundlagen für den Betrieb sind das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV). Sie begründen die Erfordernis von Gefährdungsbeurteilungen, die Festlegung von Prüfintervallen sowie regelmäßige Prüfungen sicherheitsrelevanter Komponenten.<sup>41,42</sup>

### **Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), Chemikalien-Klimaschutzverordnung (ChemKlimaschutzV)**

Bei Verwendung gefährlicher oder brennbarer Kälte-

mittel gilt zusätzlich die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV). Für Anlagen mit fluorierten Kältemitteln sind die Betreiberpflichten aus der F-Gase-Verordnung (EU 2024/573) einzuhalten, insbesondere Leckagekontrollen, Dokumentationspflichten und der Einsatz zertifizierten Personals (ergänzt durch die Chemikalien-Klimaschutzverordnung, ChemKlimaschutzV).<sup>43</sup>

### **Gebäudeenergiegesetz (GEG); 42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (42. BImSchG)**

Das GEG verlangt zudem die regelmäßige energetische Inspektion größerer Klimaanlageanlagen. Bei Rückkühlwerken sind die Vorgaben der 42. BImSchV im laufenden Betrieb einzuhalten.

#### Förderung von Kälte- und Klimaanlageanlagen

Seit dem 1. März 2024 gilt die novellierte Richtlinie zur Förderung von Kälte- und Klimaanlageanlagen. Die Förderrichtlinie ist bis zum 31. Dezember 2026 gültig.<sup>44,45</sup> Die Richtlinie fördert ausschließlich Anlagen und Anwendungen mit nicht-halogenierten Kältemitteln in stationären Systemen. Gefördert werden Unternehmen, gemeinnützige Organisationen, Kommunen, kommunale Gebietskörperschaften, Zweckverbände und Eigenbetriebe, Schulen, Krankenhäuser und kirchliche Einrichtungen. Konkret bedeutet dies, dass beispielsweise Betreiber von Kühlhäusern und von Klimaanlageanlagen in Verwaltungsgebäuden, aber auch Betreiber von Gewerbekälteanlagen Anträge stellen können.

## 7. Resümee

Die Allianz der Forschungsorganisationen hat sich dazu bekannt, bis zum Jahr 2035 Klimaneutralität in ihren Arbeitsweisen und Forschungsprozessen zu

<sup>39</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02014L0068-20140717&from=SK>

<sup>40</sup> [https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_42/](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_42/)

<sup>41</sup> <https://www.gesetze-im-internet.de/arbSchG/>

<sup>42</sup> [https://www.gesetze-im-internet.de/betrSichV\\_2015/](https://www.gesetze-im-internet.de/betrSichV_2015/)

<sup>43</sup> [https://www.gesetze-im-internet.de/gefStoffV\\_2010/](https://www.gesetze-im-internet.de/gefStoffV_2010/)

<sup>44</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgas-fckw/natuerliche-kaeltemittel-in-stationaeren-anlagen/allgemeine-informationen/foerderung-von-kaelte-und-klimaanlagen>

<sup>45</sup> [https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Klima\\_Kaeltetechnik/klima\\_kaeltetechnik\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Klima_Kaeltetechnik/klima_kaeltetechnik_node.html)

erreichen.<sup>46</sup> Ein wesentlicher Schritt auf diesem Weg ist die klimagerechte Transformation der Kälteversorgung in Forschungszentren. Im Rahmen dieses Prozesses sollten folgende Aspekte beachtet werden:

- Technologie-Vielfalt zur Kältebereitstellung (passive oder aktive Verfahren) berücksichtigen und geeignete Technologie für das jeweilige Anforderungsprofil auswählen
- Möglichkeiten zur Sektorkopplung nutzen, die Effizienz von Versorgungssystemen optimieren und ggf. Speicherlösungen integrieren
- Nutzung von klimaschädigenden Kältemitteln möglichst reduzieren und einen Umstieg auf Technologien mit natürlichen Kältemitteln forcieren
- Möglichkeiten des baulichen Hitzeschutzes sowie der klimatischen Vorteile von blau-grünen Infrastrukturen ausnutzen
- Strategische Planung unter Einbeziehung des Vorstands und der Nutzer organisieren:
  - Bedarfe und technische Optionen im Rahmen einer Status quo Analyse ermitteln
  - Entwicklung geeigneter Konzepte zur Kältebereitstellung und -verteilung
  - Berücksichtigung klimagerechter Nutzung von Kältemitteln
  - Strukturierte Investitionsstrategie, ausgerichtet an Lebenszyklus-, Klima- und Systemeffizienz
- Versorgungssicherheit und zukünftige Herausforderungen bedenken:
  - Gesamtleistung auf mehrere Systeme verteilen
  - Integrierte Wärme- und Kältesysteme mit Nutzung erneuerbarer Energiequellen vorsehen
- Kältespeicher für aktives Lastmanagement sowie als Sicherheitsreserve vorhalten
- Verdunstungskühltürme aufgrund hohen Betriebs- und Wartungsaufwands vermeiden
- Kältemaschinen an den zu erwartenden Anstieg der Außentemperaturen anpassen
- Notfallpläne für längere Hitzeperioden sowie Stromausfälle aufstellen
- Gesetzliche Vorgaben zur Nutzung von Kältemitteln, zur Steigerung der Energieeffizienz, zur Nutzung erneuerbarer Energien und zur Integration von Sektorkopplung umsetzen

Zusammenfassend gilt es, im Rahmen der klimagerechten Transformation der Kälteversorgungssysteme Effizienz, Klimaschutz und Versorgungssicherheit miteinander zu verbinden und Synergien zwischen Strom-, Wärme- und Kältesystemen nutzbar zu machen.

#### Danksagungen

Für die Diskussionsbeiträge und Praxis-Beiträge aus den Zentren danken wir Torsten Müller, Philipp Walter und Jacob Meissner (Max Delbrück Center), Axel Deiner (Helmholtz Munich), Holger Kollmus und Jan Lindenberg (GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung) sowie Marcel Sommer und Kai Deuster (Forschungszentrum Jülich) ■

<sup>46</sup> <https://www.allianz-der-wissenschaftsorganisationen.de/themen-stellungnahmen/allianz-der-wissenschaftsorganisationen-will-ihren-beitrag-zum-ziel-der-klimaneutralitaet-leisten/>

## 8. Anhang

In Ergänzung zu Kapitel 6 ist hier ein Auszug wesentlicher gesetzlicher Regelungen aufgelistet, die bei der Entwicklung von Kälteversorgungssystemen zu beachten sind:

Rechtsbereich	Gesetz / Regelwerk	Geltungsphase	Regelungsinhalt	Konkrete Anforderungen / Pflichten
<b>Bauordnungsrecht</b>	Landesbauordnungen (LBO)	Planung / Errichtung	Bauliche Sicherheit, Brandschutz, TGA	Einhaltung von Brandschutz-, Rettungsweg- und Aufstellanforderungen Kälteanlagen
	Sonderbauvorschriften (z. B. Labor-, oder Industriebau-richtlinie)	Planung / Betrieb	Erhöhte Sicherheitsanforderungen	Zusätzliche Auflagen für Technikzentralen, Medienführung, Redundanzen
<b>Energie- und Klimaschutzrecht</b>	Gebäudeenergiegesetz (GEG)	Planung <b>und</b> Betrieb	Energieeffizienz von Gebäuden und Anlagentechnik	Effiziente Auslegung, regelmäßige Inspektionen, Optimierungspflichten im Betrieb
<b>Produktsicherheitsrecht</b>	Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)	Planung / Inverkehrbringen	Sicherheit technischer Produkte	CE-konforme Kälteanlagen und Komponenten
	Maschinenrichtlinie 2006/42/EG	Planung / Errichtung	Maschinensicherheit	Sicherheitskonzepte, Schutzmaßnahmen, Dokumentation
	Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU	Planung / Errichtung	Drucksicherheit	Auslegung, Werkstoffe, Prüfungen von Druckbehältern und Rohrleitungen
<b>Arbeitsschutzrecht</b>	Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)	Betrieb	Schutz von Beschäftigten	Gefährdungsbeurteilung, sichere Betriebsorganisation, Unterweisungen
<b>Betriebssicherheitsrecht</b>	Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)	Betrieb	Sicherer Betrieb von Arbeitsmitteln	Prüfungen, Prüfintervalle, Prüfungen nach Änderungen, ggf. ZÜS-Prüfungen
<b>Gefahrstoffrecht</b>	Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	Betrieb	Umgang mit gefährlichen Stoffen	Gefahrstoffverzeichnis, Substitution, Notfallmaßnahmen (z. B. NH <sub>3</sub> , R290)

Rechtsbereich	Gesetz / Regelwerk	Geltungsphase	Regelungsinhalt	Konkrete Anforderungen / Pflichten
	Technische Regeln für Gefahrstoffe (z. B. TRGS 400, 800)	Betrieb	Konkretisierung der GefStoffV	Durchführung und Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung
<b>Umweltrecht (Kältemittel)</b>	Verordnung (EU) 517/2014 (F-Gase Verordnung)	Betrieb	Klimaschutz, Emissionsminderung	Leckagekontrollen, Dokumentation, zertifiziertes Personal
	Chemikalien-Klimaschutzverordnung	Betrieb	Nationale Umsetzung F-Gase	Ergänzende Pflichten und Sanktionen
	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)		Besondere Anforderungen an Erdwärmesonden und -kollektoren, Solarkollektoren und Kälteanlagen	
<b>Hygiene- und Immissionschutz</b>	42. BImSchV (Verdunstungskühlanlagen)	Betrieb	Legionellenprävention	Anzeige, Betriebsbuch, mikrobiologische Untersuchungen
<b>Elektrosicherheit</b>	DGUV Vorschrift 3	Betrieb	Sicherheit elektrischer Anlagen	Wiederkehrende Prüfungen elektrischer Komponenten
<b>Technische Regeln</b>	DIN EN 378	Planung <b>und</b> Betrieb	Sicherheit und Umweltschutz von Kälteanlagen	Kältemittelauswahl, Leckagebegrenzung, Aufstellräume, Betrieb
	VDI 6022	Betrieb	Hygiene RLT-Anlagen	Hygieneinspektionen, Wartung
	VDI 2047	Betrieb	Hygiene und Prüfung von Rückkühlwerken (adiabaten Verdunstungskühlanlagen)	Wasserqualität, Überwachung, Maßnahmen bei Befund
	Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)	Betrieb	Konkretisierung BetrSichV	Prüfarten, Prüfintervalle, befähigte Personen

# Impressum

## Herausgeber

Helmholtz Kompetenznetzwerk Klimagerecht Bauen  
c/o Max Delbrück Center in Berlin-Buch

Robert-Rössle-Str. 10, 13125 Berlin

Telefon: +49 (0) 30 94 06-21 61

E-Mail: [hkb@mdc-berlin.de](mailto:hkb@mdc-berlin.de)

Webadresse: [www.hkb.helmholtz.de](http://www.hkb.helmholtz.de)

Einzelheiten zur inhaltlichen und rechtlichen  
Verantwortlichkeit finden Sie auf:

[www.hkb.helmholtz.de](http://www.hkb.helmholtz.de)

Stand

07/04/2026