

Verfahren zur Bewertung der Energieeffizienz von Kälteanlagen

Prof. Dr.-Ing. Martin Becker, M.Sc. Thomas Köberle, Hochschule Biberach,
Studienfeld Energie & Klima, Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE),
Fachgebiet Gebäudeautomation und Energiemanagement

Method to calculate the energy efficiency of refrigerating systems

In many branches refrigerating systems have a significant part of the total energy consumption in buildings. Even more surprising is the fact that up to now the efficient operation of refrigeration systems is a subject that comparatively does not have much attention in practice. One reason for this purpose is that there are no established and methodically based methods available to calculate the energy efficiency during the ongoing operation of refrigerating systems.

Besides energy efficient components and improved concepts for refrigerating plants a high quality of measuring and control technology is the fundament for a reliable and efficient plant operation. Improved measuring and control technologies are the unavoidable tools for a continuous energy monitoring and calculation of the energy efficiency during operation.

However, up to now clear methods for measure and benchmark the energy efficiency of refrigerating systems during operating are missing. This contribution focuses on these aspects. New efficiency coefficients are introduced which describe the energy efficiency of refrigerating systems. This method is described in detail in the new specification paper VDMA 24247-part 7 "Energy efficiency of refrigerating systems – Control, energy management and efficient system management". In this specification references are given in which way the process measuring and control technology have to be planned, to create good conditions to design, build and operate refrigerating systems in an energy efficient way. Furthermore different measurement concepts are presented. These concepts allow to measure energy efficiency during the operation of refrigeration systems. First experiment results with measurements at an experimental setup and different refrigerating plants based on this method are presented.

key words:

energy efficiency, refrigerating systems, automation, energy management,

1. Einleitung und Motivation

Kälteanlagen tragen in vielen Bereichen zu einem nicht unerheblichen Anteil am gesamten Energieverbrauch von Gebäuden bei. Bei Supermärkten beträgt z.B. der Anteil zwischen 50-60% am gesamten elektrischen Energieverbrauch. Laut einer Studie des DKV [1] haben Kälteanlagen einen Anteil von 14% am gesamten elektrischen Endenergiebedarf in Deutschland. Umso erstaunlicher ist es, dass bisher das Thema eines energieeffizienten Betriebs von Kälteanlagen vergleichsweise kaum im Fokus steht, wenn es um Maßnahmen für ein verbessertes Energiemanagement geht. Ein Grund hierfür ist, dass bei den in der Praxis überwiegend mit Strom betriebenen Kältdampfkomppressionskälteanlagen der Energieverbrauch üblicherweise in den gesamten Stromverbrauch mit eingeht und selten separat gemessen wird. Des Weiteren sind Kälteprozesse aufgrund des intern ablaufenden Kältemittelkreislaufes mit den damit verbundenen Phasenübergängen (Verdampfen, Verflüssigen) recht komplex und mit vielen sich gegenseitig beeinflussenden Wechselwirkungen behaftet. Schließlich finden sich in der Praxis die vielfältigsten Kälteanlagenkonzepte für die breit gefächerten Anwendungsfelder (Industriekälte, Klimakälte, Gewerbekälte, Kühllager, Medizinische Geräte, ...), die eine systematische Betrachtung hinsichtlich Verbesserung der Energieeffizienz mit einer vergleichenden Bewertung (Benchmarking) sowie einer optimierten Betriebsführung erschweren.

Neben energieeffizienten Komponenten (z.B. Verdichter, Wärmeübertrager, Ventilatoren, Pumpen, ...) und energetisch verbesserten Kälteanlagen-Konzepten ist eine hochwertige MSR-Technik und Gesamtautomatisierung die Basis für den zuverlässigen und energieeffizienten Anlagenbetrieb. Erst der Einsatz hochwertiger Steuerungs- und Regelungssysteme in Verbindung mit einem Energie-Monitoring liefert die Transparenz im Anlagenbetrieb und ermöglicht damit Energieeinsparungen durch systematische Optimierungsmaßnahmen. Allerdings fehlte es hierbei bisher an Verfahren für spezifische Energiekenngrößen, mit denen die Energieeffizienz von Kälteanlagen im laufenden Betrieb systematisch und methodisch gemessen und bewertet werden kann. Dies gilt sowohl für einzelne Komponenten (z.B. Verdichter, Wärmeaustauscher) als auch für die Kälteanlage aber insbesondere auch für ein kältetechnisches Gesamtsystem inkl. der damit verbundenen Energieverteilung mit Kältespeicher bis zur Nutzenübergab, d.h. die gesamte Kette aus Kälteerzeugung über die Kälteverteilung bis hin zur Kältenutzung.

Auf der anderen Seite können mit moderner Messtechnik sowie Informations- und Kommunikationssystemen spezifische Energiekenngrößen immer kostengünstiger und genauer gemessen werden und als berechnete „Schlüssel-Kennzahlen“ (KPI- Key Performance Indicator, EPI - Energy Performance Indicator) für eine automatische Auswertung herangezogen werden, siehe [2]. Einer eindeutigen Vergleichbarkeit von in dieser Form ermittelten energetischen Kennzahlen als Benchmarking-Größen stehen allerdings drei wesentliche Hürden entgegen:

- Die eindeutige Bestimmung von Energieeffizienz-Kenngrößen (s. Abschnitt 2.1)
- Die eindeutige Definition des betrachteten Bilanzraumes mit Festlegung von eindeutigen Systemgrenzen (s. Abschnitt 2.2.)
- Die Festlegung eindeutiger und verbindlicher Messkonzepte (s. Abschnitt 2.3)

Auf diese Aspekte wird im Folgenden näher eingegangen. Detailliertere Betrachtungen zur Rolle der Automatisierung von Kälteanlagen sowie zu den prozesstechnischen Grundlagen zu den hier vorgestellten systemischen Betrachtungen zur Bewertung der Energieeffizienz finden sich in [3] - [7].

2. Methodik zur Bewertung der Energieeffizienz von Kälteanlagen

2.1 Bestimmung von Energieeffizienz-Kenngrößen

Neben der Struktur eines geeigneten Automatisierungskonzeptes steht und fällt ein verbessertes Energiemanagement mit der geeigneten Erfassung und Auswertung von Daten. Auf Basis eines solchen gezielten Informationsmanagements lassen sich Energieeffizienzgrößen ermitteln, mit denen Anlagen energetisch objektiv bewertet und diese als Benchmarking im Vergleich zu Anlagen anderer Größe und Typ ins Verhältnis gesetzt werden können.

Vielfach werden für Energiebilanzierungen bzw. Bewertungen Energiebedarfs- bzw. Energieverbrauchs-Kenngrößen herangezogen, wie z.B. x kWh Endenergie pro m² Bezugsfläche und Jahr. Hierzu zwei Beispiele von Energieverbrauchs-Kenngrößen: Beim Autofahren nehmen wir z.B. als Vergleichsgröße für den Energieverbrauch die Größe x Liter Benzin/Diesel auf 100 km. Selbstverständlich wissen wir aus der praktischen Erfahrung, dass es im Sinne eines Benchmarkings nur Sinn macht, vergleichbare Autotypen (z.B. Mittelklassewagen, Sportwagen etc.) mit vergleichbarem Baujahr miteinander zu vergleichen. Bei Gebäuden benutzen wir als Bezugsgröße für den Energieverbrauch üblicherweise die Angabe in x kWh/(m² BGF*a). Energieverbrauchs-Kenngrößen sind hilfreich, aber nicht ausreichend für eine Energieeffizienz-Bewertung, da neben der Angabe des Aufwandes auch der Nutzen berechnet werden muss.

Energieeffizienz-Kenngrößen sind somit Kennzahlen wie Wirkungsgrade, Leistungs- und Arbeitszahlen, die das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand angeben. Bei Kälteanlagen ist der Nutzen die bereitgestellte Nutzkälteleistung bzw. Nutzkälteenergie für den zu kühlenden Prozess (z.B. Rechnerraum, Büroraum, Kühlraum, ...). Der Nutzen, d.h. die Kälteleistung bzw. -energie ist z.B. bei indirekten Kälteanlagen (z.B. Kaltwassernetz) über einen separaten Kältemengenzähler vergleichsweise einfach zu messen, wird aber in der heutigen Praxis leider zu selten bei der Planung und Ausführung berücksichtigt. Bei direktverdampfenden Systemen (z.B. VRV-Systemen) oder beim Übergang von wasser- auf luftgeführte Wärmeübertrager an der Nutzenübergabe besteht die Herausforderung in einer kostengünstigen und messtechnisch hinreichend genauen Messung der Nutzkälteleistung z.B. über indirekte Messverfahren.

Wie lassen sich nun konkret Kälteanlagen hinsichtlich ihrer energetischen Effizienz im laufenden Betrieb objektiv und eindeutig bewerten und miteinander im Sinne eines Benchmarkings vergleichen? Welche Effizienz-Kenngrößen betrachten wir konkret bei Kälteanlagen? Die Leistungszahl des Verdichters, der Kältemaschine oder des gesamten Kältesystems (Kältemaschine inkl. Kälteverteilung mit den Hilfsenergien wie Pumpen, Ventilatoren usw.). D.h. der Wert der berechneten Kenngröße wird je nach Definition des Bilanzraumes und der gewählten Systemgrenzen unterschiedlich sein. Berücksichtigt man zusätzlich den üblichen Teillast-Betrieb einer Anlage ist es sinnvoller, statt einer Leistungskenngröße (z.B. auf Basis einer Leistungszahl) eine Arbeitszahl über einen definierten Zeitraum (z.B. Tag, Woche, Monat, Jahr, Kühlperiode) zu ermitteln, die die tatsächlichen Randbedingungen im realen dynamischen Anlagenbetrieb berücksichtigt.

Diese Problematik wurde auch bei der Erarbeitung des neuen Einheitsblattes VDMA 24247 Teil 7 „Energieeffizienz von Kälteanlagen – Regelung, Energiemanagement und optimierte Betriebsführung“ berücksichtigt. Unter der Federführung der Fachabteilung Kälte- und Wärmepumpentechnik im VDMA wurde in Zusammenarbeit mit Branchenverbänden, Betreibern, dem Handwerk, der Industrie und wissenschaftlichen Instituten der Arbeitskreis „Energieeffizienz von Kälteanlagen“ eingerichtet.

In mehreren Unterarbeitskreisen wurden mittlerweile verschiedene Einheitsblätter erarbeitet:

- VDMA 24247-Teil 1: Klimaschutzbeitrag von Kälte- und Klimaanlage – Verbesserung der Energieeffizienz – Verminderung von treibhausrelevanten Emissionen, Januar 2010
- VDMA 24247-Teil 2: Anforderungen an das Anlagenkonzept und die Komponenten, *Entwurf*, Juli 2010
- VDMA 24247-Teil 3: Leitfaden für eine Verbesserung der Energieeffizienz in Kühlhäusern, März 2010
- VDMA 24247-Teil 4: Supermärkte, Gewerbekälte, Kühlmöbel, *Entwurf*, Juli 2010
- VDMA 24247-Teil 5: Industriekälte, *Entwurf*, Juli 2010
- VDMA 24247-Teil 6: Klimakälte, *Entwurf*, Juli 2010
- VDMA 24247-Teil 7: Regelung, Energiemanagement und effiziente Betriebsführung, *Entwurf*, Juli 2010
- VDMA 24247-Teil 8: Komponenten - Wärmeübertrager, *Entwurf*, Juli 2010

Detailliertere Informationen zu den einzelnen Teilen der VDMA 24247 finden sich unter [8]. Im Folgenden wird auf den Teil 7: „Regelung, Energiemanagement und effiziente Betriebsführung“ Bezug genommen, in den die Betrachtungen von eindeutigen Energieeffizienz-Kenngrößen, Wahl der Bilanzgrenzen und Vorschläge für direkte und indirekte Messkonzepte eingeflossen sind. Neben Empfehlungen zur verbesserten Regelung und Betriebsführung, werden Hinweise zur Festlegung der Bilanzgrenzen für eine energetische Bewertung im Anlagenbetrieb gegeben. Schließlich wird die Bedeutung von Energie-Monitoring aufgezeigt und es werden Vorschläge für Messkonzepte zur Bewertung von Kälteanlagen mittels Energieeffizienz-Kennzahlen im laufenden Anlagenbetrieb vorgestellt. Auf die beiden Aspekte Wahl der Bilanzgrenze und Art der Messverfahren wird im Weiteren näher eingegangen.

2.2 Definition des Bilanzraumes mit Festlegung eindeutiger Systemgrenzen

Wichtig für die energetische Bewertung von Energiesystemen ist eine eindeutige und transparente Festlegung der Systemgrenzen und des Bilanzraumes. Um gemessene energetische Kenngrößen eindeutig einem bestimmten Bilanzraum zuordnen zu können, bedarf es deren eindeutigen Bezeichnung. In Anlehnung an die Richtlinie VDI 2067-Teil 6, die sich mit Wärmepumpenanlagen beschäftigt, wird für eine Systemabgrenzung eine Terminologie nach **Bild 1** eingeführt.

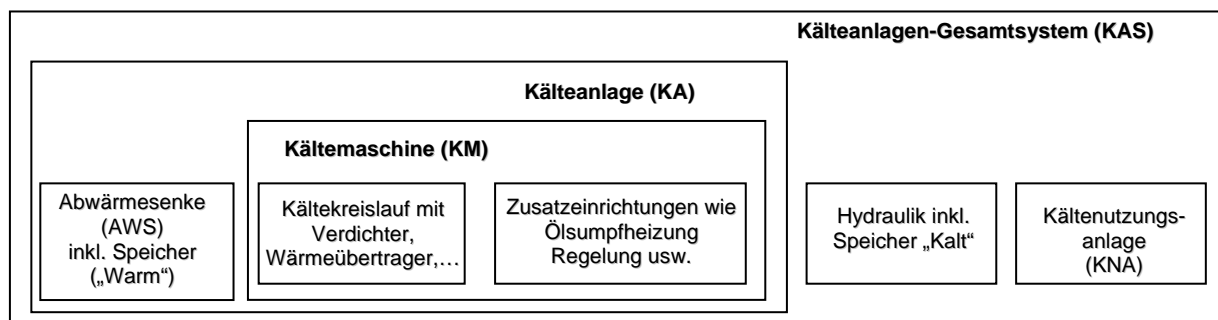


Bild 1: Systembild für die Kennzeichnung des Anlagenumfanges einer Kältemaschine (KM), Kälteanlage (KA) und eines Kälteanlagen-Gesamtsystems (KAS), in Anlehnung an VDI 2067, [9]

Der Energiefluss von der Kälteerzeugung über die Kälteverteilung zur Kältenutzung ist in **Bild 2** dargestellt. Ausgehend von der bereitgestellten Erzeuger-Nutzkälteabgabe $Q_{o,Ab}$ der Kälteanlage steht abzüglich der auftretenden Verluste (Speicherverluste, Verteilverluste) die für die Kälteanwendung nutzbare Nutz-Kälteenergie $Q_{o,Nutz}$ an der Kälteübergabe zur Verfügung. Als Aufwand müssen einerseits die elektr. Energie für die Kältemaschine bzw. das Kälteaggregat als auch alle Energien für die Hilfsaggregate aufgebracht werden. Entscheidend für die energetische Bewertung der kältetechnischen Gesamtanlage ist die Festlegung der Systemgrenze zur Bilanzierung von Nutzen zu Aufwand.

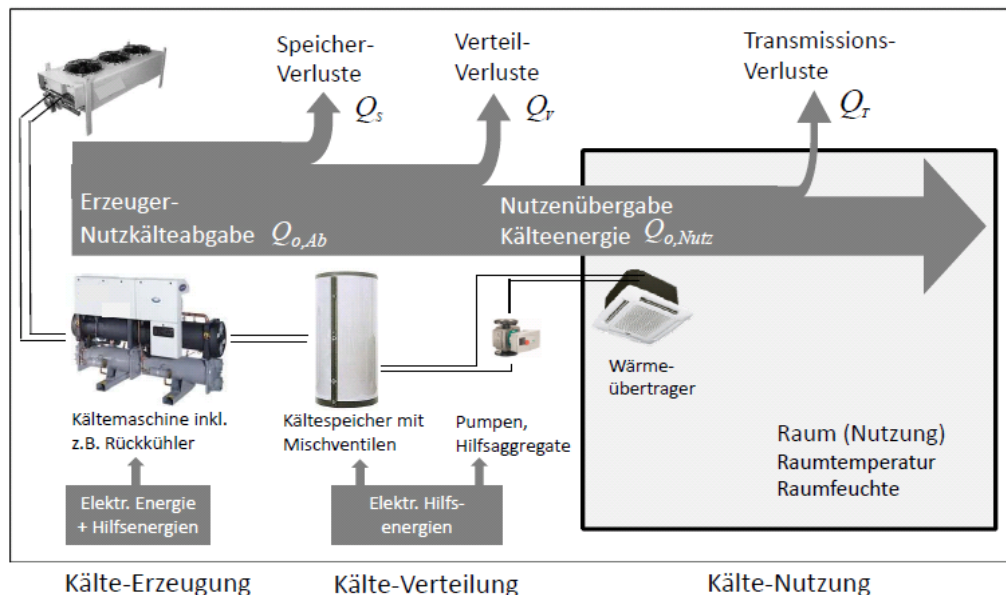


Bild 2: Darstellung des Energieflusses von der Kälte-Erzeugung über die Kälte-Verteilung zur Kälte-Nutzung [6]

2.3 Einführung neuer Energieeffizienz-Kennzahlen TEER und TEPF sowie Festlegung von Messkonzepten

Für die energetische Bewertung von Kältemaschinen bzw. Wärmepumpen werden - teilweise basierend auf verschiedenen Normen oder Richtlinien - leider mehrere, zum Teil unterschiedliche, aber auch zum Teil mehrfach verwendete energetische Kenngrößen verwendet, was in der Praxis häufig zur Verwirrung und Verwechslung führt.

Beispiele für energetische Kenngrößen sind:

Leistungskenngrößen (Verhältnis Nutzleistung zur aufgenommenen Leistung):

- Kälteleistungszahl ε_K (Carnot, effektiv, isentrop, innere, äußere)
- Gütegrad η (Carnot, isentrop, real)
- Wirkungsgrad η (mechanisch, elektrisch)
- COP (Coefficient of Performance)
- EER (Energy Efficiency Ratio)
- ESEER (European Seasonal Energy Efficient Ratio)
- IPLV (Integrated Part Load Value)

Energie-Kenngrößen (Verhältnis Nutzenergie zu aufgenommener Energie):

- Jahresarbeitszahl JAZ bzw. β
- Seasonal Performance Faktor SPF

Nähere Erläuterungen zu diesen Kennzahlen finden sich z.B. in [6].

Aufgrund der Problematik der unterschiedlichen Benennung von bestehenden Energieeffizienz-Kennzahlen werden neue Effizienz-Kennzahlen vorgeschlagen, mit denen Kältemaschinen, aber auch komplette Kälteanlagen-Gesamtsysteme (KAS) im laufenden Betrieb hinsichtlich ihrer Energieeffizienz eindeutig bewertet werden können. Wichtig hierbei ist es, dass es sich hierbei nicht um Kenngrößen handelt, die nur unter Labor- bzw. Prüfbedingungen ermittelt werden können, sondern dass diese Kenngrößen im praktischen Betrieb an realen Anlagen kontinuierlich gemessen werden können. In Analogie zur Betrachtung bei Wärmepumpen mit der Leistungszahl COP als leistungsbezogene

Kenngroße und der Jahresarbeitszahl SPF als energetische Kenngroße werden im Folgenden sowohl eine leistungsbezogene als auch eine energiebezogene Kenngroße für kältetechnische Systeme eingeführt.

Die leistungsbezogene Kenngroße **TEER (Total Energy Efficiency Ratio)** wird definiert als das Verhältnis von Nutz-Kälteleistung zur Summe der aufgenommenen elektrischen Leistungen gemäß:

$$TEER = \frac{\dot{Q}_{0,Nutz}}{\sum P_{el,i}} \quad (1)$$

Die Größe TEER ist eine Leistungszahl und erlaubt somit eine kontinuierliche Momentanbewertung des Gesamtsystems.

Die energiebezogene Kenngroße **TEPF (Total Energy Performance Factor)** ist als Verhältnis der Kälteenergie zu dem erforderlichen Energieaufwand definiert:

$$TEPF = \frac{\dot{Q}_{0,Nutz} * t}{\sum_i P_{el,i} * t_i} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{0,Nutz} dt}{\sum_i \left(\int_{t_1}^{t_2} P_{el,i} dt_i \right)} \quad (2)$$

Die Größe TEPF ist somit eine Arbeitszahl, wobei als Zeitperiode ein Tag, eine Woche, ein Monat, ein Jahr oder z.B. die Kühlperiode gewählt werden kann. Da mit dieser Größe alle elektrischen Energien inkl. der Hilfsenergien erfasst werden und mit der bereitgestellten Nutz-Kälteenergie ins Verhältnis gesetzt werden, ist mit dem TEPF somit eine Effizienzbewertung einer Kältemaschine (KM) oder eines kompletten Kälteanlagen-Gesamtsystems (KAS) im laufenden Betrieb möglich. Grundsätzlich sind beide Kenngroßen bei jedem Kälteanlagen-System messtechnisch erfassbar. Das Messkonzept erfordert eine kontinuierliche Überwachung und Aufzeichnung der relevanten Betriebs- und Energieparameter. Es ist angelehnt an die DIN EN 15450 [10] und sieht wie folgt aus:

- Kontinuierliche direkte Messung der elektrischen Leistungen aller Aggregate (inkl. der Hilfskomponenten) mit digitalen bzw. auslesbaren Elektrozählern
- Kontinuierliche direkte Messung der Nutz-Kälteleistung mit Hilfe eines Kältemengenzählers (oder separat Vor-/Rücklauftemperatur und Massenstrom) als externes Verfahren oder alternativ
- Indirekte Messung über ein Kältemittelbilanzverfahren (internes Verfahren), z.B. mittels Messung von Temperaturen und Drücken und unter Berücksichtigung des gewählten Kältemittels und der Verdichter-Leistungskennlinie
- Hieraus Ermittlung der Leistungszahl TEER sowie Arbeitszahl TEPF nach Gleichung (1) bzw. (2) über den festzulegenden Zeitraum (z.B. Kühlperiode)

Wünschenswert ist es, dass auf dieser Basis zukünftig Mindeststandards an Kälteanlagen verbindlich vorgegeben werden, damit Kälteanlagen ab einer bestimmten Größe ständig energetisch überwacht und bilanziert werden können und somit auch die Basis für eine kontinuierliche Online-Betriebsoptimierung geschaffen wird.

4. Experimentelle Untersuchungen

Im Folgenden werden erste Ergebnisse nach der zuvor vorgestellten Methodik anhand eines kompakten Kaltwassersatzes an der Hochschule Biberach und anhand einer Anwendung für die Kühlung eines Rechenzentrums mittels Kaltwassernetz vorgestellt. Für mobile Messungen an bestehenden Anlagen wurde zudem an der Hochschule Biberach das auf diese Aufgabenstellung zugeschnittene Messsystem *cool.box* mit der zugeschnittenen Software *cool.check* entwickelt.

4.1 Kälteversorgungssystem für ein Rechenzentrum

Bei dieser Anlage handelt es sich um einen Kaltwassersatz, der zur Kühlung eines Rechenzentrums genutzt wird. Der Aufbau der Anlage ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Der Kaltwassersatz wird über einen Nasskühlturm auf dem Dach des Gebäudes gekühlt. Über das Kaltwassernetz werden die unterschiedlichen Verbraucher versorgt. Das gesamte System war bei Beginn der Messung schon längere Zeit in Betrieb und teilweise mit Messtechnik ausgerüstet. Da der Anlagenbetrieb nicht unterbrochen werden konnte, wurde für die Effizienzbewertung keine weitere Messtechnik installiert. Aus diesem Grund konnte das gesamte kältetechnische System nicht komplett bewertet werden. Vielmehr mussten der Speicher und die Umluftkühler bei der Betrachtung ausgeklammert werden, was mit dem Bilanzraum 3 in **Bild 3** dargestellt ist. Der Bilanzraum 2 umfasst die Kälteanlage, der Bilanzraum 1 die Kältemaschine.

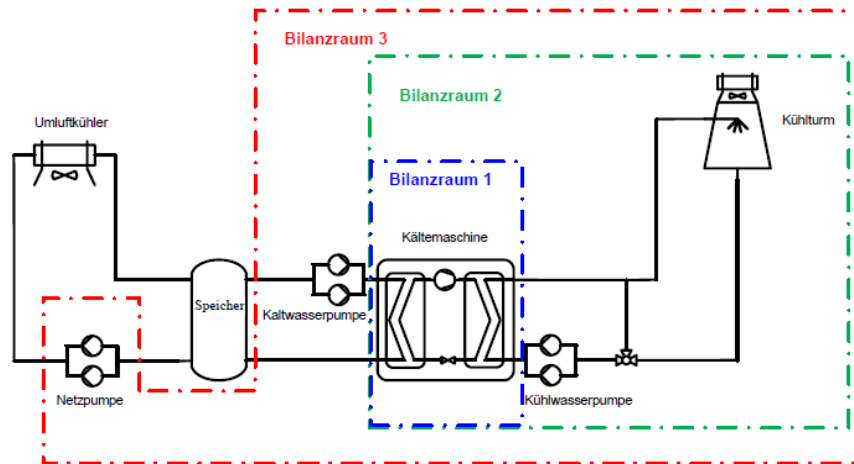


Bild 3: Anlagenübersicht mit den definierten Bilanzräumen für Kältemaschine (Bilanzraum 1), Kälteanlage (Bilanzraum 2) und kältetechnisches Gesamtsystem (Bilanzraum 3)

Für die in **Bild 3** gezeigten Bilanzräume wurde eine Bewertung der Effizienz nach den Kenngrößen von Abschnitt 2.3 vorgenommen. In **Bild 4** sind die Leistungszahlen TEER und Arbeitszahlen TEPF über einen Zeitraum von einem Monat für die jeweiligen Bilanzräume dargestellt. Die höchste Leistungszahl mit dem Wert 4,0 weist erwartungsgemäß die Kältemaschine auf, da innerhalb dieser Bilanzgrenze (Bilanzraum 1) die wenigsten elektrischen Verbraucher liegen. Mit der Erweiterung des Bilanzraums sinkt zwangsläufig die Leistungszahl. Für das Gesamtsystem (Bilanzraum 3) wurde eine Leistungszahl von 3,4 ermittelt, die somit 0,6 Punkte unter der der Kältemaschine liegt. Die Arbeitszahlen liegen alle deutlich unter den Leistungszahlen der jeweiligen Bilanzräume. Dies ist auf die Standby-Verbraucher wie Schaltschränke und kontinuierlich betriebenen Pumpen zurückzuführen.

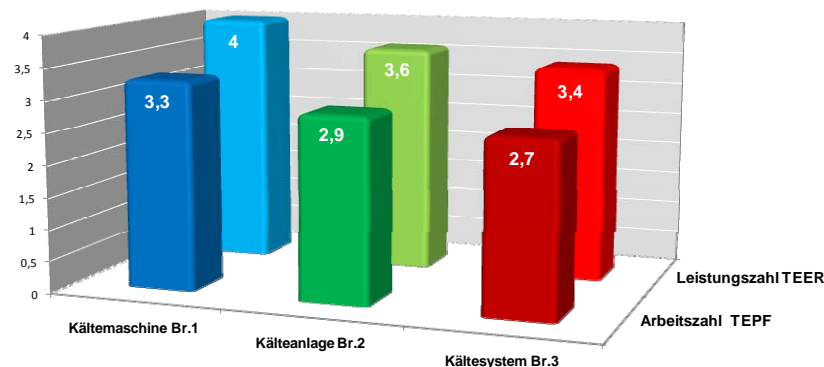


Bild 4: Ergebnisse Anwendungsbeispiel 1: Leistungszahlen (TEER) und Arbeitszahlen (TEPF) für die Bilanzräume Kältemaschine, Kälteanlage und Kältesystem

4.2 Labor-Kältemaschine an der Hochschule Biberach

Die Labor-Kältemaschine der Hochschule Biberach ist ein Kaltwassersatz der Firma Daikin. Die Anlage wurde ebenfalls nach obiger Methode vermessen und bewertet. Die Bilanzräume wurden wie in **Bild 5** dargestellt gewählt. Auch bei dieser Anlage werden aus anlagen- und messtechnischen Gründen zurzeit die Speicherverluste und die Übergabe an den Nutzer nicht mit bilanziert.

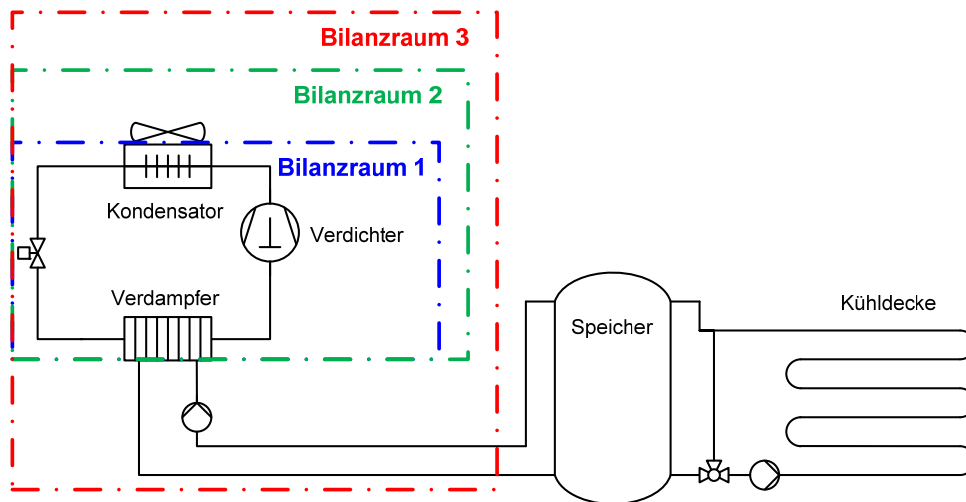


Bild 5: Schematische Darstellung der vermessenen Anlagen mit den unterschiedlichen Bilanzräumen

Die Leistungszahl TEER der Kältemaschine ($T_0 = 7 \text{ °C}$; $T_c = 40 \text{ °C}$) gemäß Bilanzraum 1 liegt bei 4,4. Mit den jeweiligen Erweiterungen der Bilanzräume sinkt die Leistungszahl auf 4 bzw. 3,7. Da noch keine Langzeitmessungen an der Anlage durchgeführt wurden, mussten für die Berechnung der zugehörigen Arbeitszahlen Annahmen getroffen werden. Es wurde angenommen, dass die Anlage immer im gleichen Anlagenzustand bezogen auf T_0 und T_c betrieben wird und die Anlagenlaufzeit sich auf 4 Stunden pro Tag beschränkt.

Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich eine Arbeitszahl von 4,2 bzw. 3,8 für die Bilanzräume der Kältemaschine bzw. Kälteanlage. Da die Kaltwasserpumpe im Standbybetrieb der Anlage kontinuierlich betrieben wird, sinkt die Arbeitszahl des Kältesystems deutlich unter die zugehörige Leistungszahl. Dieser Effekt könnte durch eine effizientere Pumpe bzw. intelligentere Steuerung deutlich abgeschwächt werden.

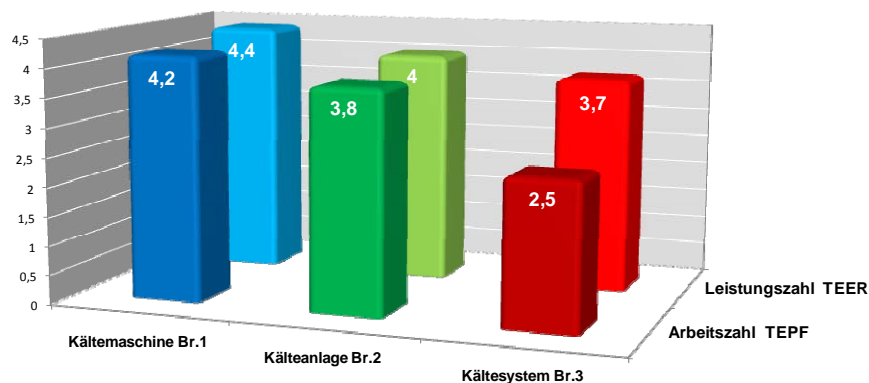


Bild 6: Ergebnisse Anwendungsbeispiel 2: Leistungszahlen TEER und Arbeitszahlen TEPF für die Bilanzräume Kältemaschine, Kälteanlage und Kältesystem

4.3 Mobiles Messsystem *cool.box* und Software *cool.check*

Im heutigen Anlagen-Bestand sind nur die wenigsten Kälteanlagen bereits mit der geeigneten Messtechnik ausgerüstet, um eine Bewertung nach dem hier vorgestellten Verfahren gemäß Einheitsblatt VDMA 24247 – Teil 7 vornehmen zu können. Vor allem Kleinkälteanlagen verfügen in den seltensten Fällen über die passende Messtechnik. Um diese Anlagen trotzdem bewerten zu können, bieten sich mobile Messeinrichtungen an, die für temporäre Messungen installiert werden können. Aus diesem Grund wurde an der Hochschule Biberach ein mobiles Messsystem, die *cool.box* mit der Software *cool.check* für die automatische Datenvisualisierung und -auswertung entwickelt, mit der es möglich ist, beliebige Kälteanlagen nach der vorgestellten Methodik zu messen und zu bewerten.

An das Messsystem können bis zu 16 Temperaturfühler, 6 Druckaufnehmer und vier 3-Phasen-Leistungsmesser angeschlossen werden. Damit können alle Wärmeübertrager vermessen, die Drücke in der Anlage aufgezeichnet und alle wichtigen elektrischen Verbraucher einzeln aufgenommen werden. Zusätzlich können Analogsignale von z.B. Kältemengenzählern aufgeschaltet werden. Die Messergebnisse werden automatisch aufbereitet und dem Nutzer auf einem Touchscreen angezeigt. Die Software *cool.check* ermöglicht einen schnellen Überblick über die Energie-Kennzahlen. Die Messdaten werden aber auch so aufbereitet, dass Personen mit einem tieferen kältetechnischen Wissen aussagekräftige Informationen über den aktuellen Betriebszustand der Anlage erhalten.

Bild 7 zeigt die *cool.box*, wobei in die Oberseite ein Touchscreen eingelassen ist, auf dem die Benutzeroberfläche von *cool.check* läuft, mit der die Messwerte angezeigt werden.

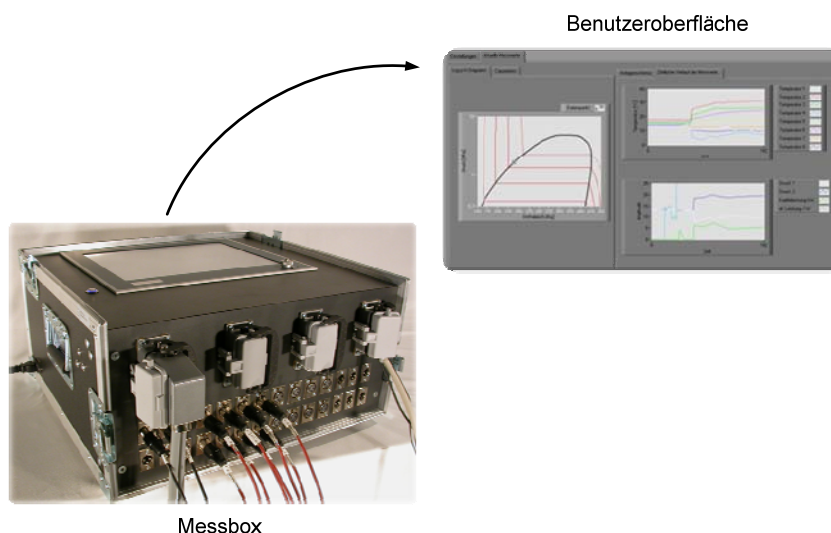


Bild 7: Messsystem *cool.box* und Beispiel Visualisierung mittels Software *cool.check*

5. Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der immer weiter steigenden Energiekosten und dem zunehmenden Bewusstsein hinsichtlich Umweltschutz und einem aktiven Klimaschutz kommt einem energieeffizienten und umweltschonenden Betrieb von Kälteanlagen eine immer wichtigere Bedeutung zu. Um Kälteanlagen bzw. kältetechnische Gesamtsysteme hinsichtlich Energieeffizienz möglichst objektiv und vergleichend im Sinne eines Benchmarkings bewerten zu können, werden passende Energieeffizienz-Kenngrößen benötigt, die auch im praktischen Betrieb von Kälteanlagen kontinuierlich erfasst, berechnet und ausgewertet werden können.

Dazu ist es erforderlich, eindeutige Bilanzgrenzen für eine energetische Bewertung von Komponenten, Anlagen oder ganze Anlagen-Systeme festzulegen, damit bei vergleichenden Gegenüberstellungen aussagekräftige Ergebnisse für ein Benchmarking erzielt werden können. Ausgehend von der Vorgabe geeigneter Bilanzräume und Systemgrenzen wurden neue Energieeffizienz-Kenngrößen TEER und TEPF vorgestellt, die sowohl auf Basis von Leistungsgrößen, als auch auf Basis von Energiegrößen eine Aussage über die Energieeffizienz von Kälteanlagen-Systemen im Sinne einer Nutzen zu Aufwand-Betrachtung ermöglichen. Diese Kenngrößen haben den Vorteil, dass Sie im praktischen Betrieb kontinuierlich berechnet werden können.

An der Hochschule Biberach wurde dazu das mobile Messsystem *cool.box* entwickelt, mit dem flexible Messungen an bestehenden Anlagen durchgeführt werden können. Die vorgestellten Beispiele auf Basis experimenteller Untersuchungen zeigen die grundsätzliche Tauglichkeit des Verfahrens und öffnen den Blickwinkel für zielgerichtete Weiterentwicklungen. So erscheint es z.B. auf Basis der energetischen Kenngröße Arbeitszahl TEPF sinnvoll Mindestwerte an die energetische Effizienz von Kälteanlagen zu definieren, die dann im praktischen Betrieb von Kälteanlagen durch ständiges Monitoring überwacht und überprüft werden können. Dies hat einen doppelten Nutzen: Einerseits können durch ein verbessertes Energiemanagement die laufenden Betriebskosten reduziert werden und andererseits liefert diese Vorgehensweise einen nicht unerheblichen Beitrag zum Umweltschutz und damit einem aktiven Klimaschutz. Hierzu müssen allerdings noch umfangreiche weitere Voruntersuchungen und Feldmessungen durchgeführt werden, um Erfahrungswerte mit den heute in der Praxis erzielbaren Arbeitszahlen von Kälteanlagen-Systemen zu erhalten. Langfristiges Ziel sollte es sein, dass der Betreiber eine einfache Möglichkeit erhält, die Energieeffizienz seiner Kälteversorgung über ein „Energieeffizienz-Cockpit“ oder eine „Energie-Ampel“ angezeigt zu bekommen.

Literatur

- [1] Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte. DKV Statusbericht Nr.22, Juni 2002
- [2] DIN EN 16001: Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung, *Entwurf*, Beuth-Verlag, März 2008
- [3] Becker, M.: Automatisierung kältetechnischer Anlagen auf Basis der mathematischen Modellierung des Gesamtsystems. Dissertation, Universität Kaiserslautern, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 19, Nr. 86, VDI-Verlag, Düsseldorf 1996.
- [4] Diehl, A: Ein modulares Konzept zur ganzheitlichen Automatisierung leistungsgeregelter Kompressionskälteanlagen, Shaker-Verlag, 2003
- [5] Becker, M.: Energieeffizienz in der Kältetechnik durch adäquaten Einsatz von Automatisierungstechnik, DKV-Tagungsband 2005, Band IV, S.17-32
- [6] Becker, M.: Energetische Bewertung von Kälteanlagen und optimierte Betriebsführung von Kälteanlagen aus automatisierungstechnischer Sicht, Tagungsband Bd. II, DKV-Tagung Ulm, 19.-21. November 2008
- [7] Becker, M.: Kap. 13 Anwendungen: Regelung von Kälteanlagen, In: Regelungs- und Steuerungstechnik in der Versorgungstechnik, VDE-Verlag, 6. Auflage 2010, S. 461-487
- [8] Einheitsblätter VDMA 24247: Energieeffizienz von Kälteanlagen. <http://www.vdma.org>,
- [9] VDI-Richtlinie 2067 – Teil 6: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen – Wärmepumpen, Beuth-Verlag, Sept. 1999
- [10] DIN EN 15450: Heizungsanlagen in Gebäuden – Planung von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen, Beuth-Verlag, Dez. 2007