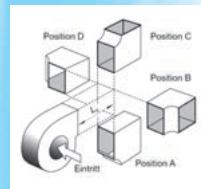
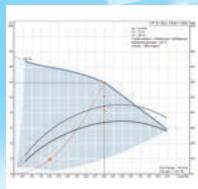


Valentin Löwen

Energetische Inspektion von Lüftungs- und Kälteanlagen

Durchführung, Einsparpotenziale,
Inspektionsbericht



Fraunhofer IRB Verlag

Valentin Löwen

Energetische Inspektion von Lüftungs- und Kälteanlagen

Valentin Löwen

Energetische Inspektion von Lüftungs- und Kälteanlagen

Durchführung, Einsparpotenziale, Inspektionsbericht

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9667-1
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9668-8

Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Herstellung: Andreas Preising
Satz: Mediendesign Späth GmbH, Birenbach
Druck: Bosch-Druck GmbH, Ergolding

Alle Rechte vorbehalten.

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2016
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 9 70-25 00
Telefax +49 711 9 70-25 08
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	7
2	Einleitung	9
2.1	Rechtliche Rahmenbedingungen	10
2.2	Unternehmerisches Potenzial der energetischen Inspektion in Deutschland	11
2.3	Bewertung des energetischen Einsparpotenzials durch Inspektionen in Deutschland	15
3	Zusammenfassung	21
4	Analyse	23
4.1	Anforderungen an eine energetische Inspektion	23
4.1.1	Zu prüfende Anlagen bzw. Bauteile	24
4.1.2	Gesetzlich geforderter Inhalt des Inspektionsberichtes	26
4.1.3	Abgrenzung des Umfangs der energetischen Inspektion	28
4.2	Durchführung der energetischen Inspektion	30
4.2.1	Vorinspektion	32
4.2.2	Gebäude- bzw. Zonenparameter	32
4.2.3	Klima- und Behaglichkeitsparameter	35
4.2.4	Betriebszeiten und Regelung	36
4.2.5	Inspektion RLT-Gerät	36
4.2.6	Dichtheit des Luftleitungsnetzes	44
4.2.7	SFP-Wert	44
4.2.8	Systemwirkungsgrad des Ventilators	46
4.2.9	Wärmerückgewinnung	47
4.2.10	Wärmedämmung	49
4.2.11	Kälteerzeuger und Rückkühler	49
4.2.12	Kalt- und Kühlwasserverteilung	51
4.2.13	Effizienzkennwerte für das Kälteerzeugungssystem	52
4.2.14	Endgeräte	55
4.2.15	Beurteilung Klimakonzept	55
4.2.16	Beurteilung Energiekonzept	55
4.3	Einsparpotenziale	56
4.3.1	Einsparpotenziale Ventile	56
4.3.2	Einsparpotenziale Systemtemperaturen	58
4.3.3	Einsparpotenziale Hydraulik	58
4.3.4	Einsparpotenziale Pumpe	59
4.3.5	Einsparpotenziale Lüftungsanlage	65
4.3.6	Einsparpotenziale Kälteanlage	99

5	Abbildungsverzeichnis	109
6	Tabellenverzeichnis	111
7	Literaturverzeichnis	113
8	Abkürzungsverzeichnis	119
	Anhang	121
A	Inspektionsbericht	125
A 1	Aufgabenstellung	126
A 2	Vorinspektion	126
A 2.1	Ergebnis der Vorinspektion	126
A 3	Ortstermin	127
A 4	Feststellungen	127
A 4.1	Gebäude und Nutzung	127
A 4.1.1	Flächen	127
A 4.1.2	Bautechnik	130
A 4.1.3	Nutzungsparameter und innere Lasten	131
A 4.1.4	Kühllasten	131
A 4.1.5	Klima- und Behaglichkeitsparameter	134
A 4.1.6	Betriebszeiten und Regelung	137
A 4.2	Lüftungsanlage	137
A 4.2.1	Effizienzkennwert E_{RLT}	141
A 4.3	Kälteanlage	143
A 4.3.1	Effizienzkennwerte für das Kälteerzeugungssystem E_{KK}	145
A 4.4	Kaltwasserverteilung	146
A 5	Handlungsempfehlungen	146
A 5.1	Alternativlösungen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage	148
A 5.2	Austausch zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage	148
A 5.2.1	Pumpenaustausch	148
A 5.2.2	Austausch des Röhrenwärmetauschers gegen ein KV-System	148
A 5.2.3	Austausch des Keilriemenantriebs gegen einen Flachriemenantrieb	149
A 5.3	Maßnahmen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage	149
A 6	Allgemeine Hinweise und Anmerkungen	149
A 7	Abbildungsverzeichnis Inspektionsbericht	150
A 8	Tabellenverzeichnis Inspektionsbericht	151
	Stichwortverzeichnis	152

1 Vorwort

Das vorliegende Fachbuch wurde auf Grundlage einer durch den Autor erstellten Masterthesis verfasst. Die Masterthesis erfolgte im Abschluss zum Studiengang Nachhaltiges Energie-Design für Gebäude (NED) an der Hochschule Hannover. Ziel der Masterthesis und nun fortführend dieses Fachbuches ist es, dem Fachmann/der Fachfrau ein Handbuch für die energetische Inspektion von Klimaanlagen bereitzustellen. Hierdurch soll der/die anwendende Ingenieur/Ingenieurin befähigt werden, einen qualifizierten und rechtssicheren Inspektionsbericht gemäß den Vorgaben der Energieeinsparverordnung zu erstellen.

Dabei soll nachfolgend im ersten Schritt grundsätzlich das energetische Einsparpotenzial bei Lüftungs- und Kälteanlagen durch energetische Inspektionen erläutert werden.

Weiter sollen im zweiten Schritt die rechtlichen Anforderungen an eine energetische Inspektion sowie an den hiernach zu erstellenden Inspektionsbericht dargestellt werden.

Im dritten Schritt werden der erforderliche Umfang und eine Leistungsabgrenzung der energetischen Inspektion anhand von Gesetzen und technischen Regeln beschrieben. Hierbei sollte die Ausarbeitung insgesamt so zweckmäßig sein, dass nicht diverse Literatur zur Erstellung des Inspektionsberichtes zur Hand genommen werden müssen.

Gleichfalls konnte die überschlägige Kühllastberechnung aufgrund des Umfangs nicht hierin ausgeführt werden. Somit verbleibt diese ergänzende Literatursuche beim jeweiligen Inspekteur/in.

Im vierten Schritt wird eine Auswahl von Einsparpotenzialen an Lüftungsanlagen sowie Kälteanlagen beschrieben. Hierbei konnten aufgrund der Vielfältigkeit und des Umfangs nicht alle grundsätzlich möglichen Einsparpotenziale dargestellt werden. Daher musste sich auf eine Auswahl beschränkt werden.

Abschließend ist der Anlage ein vollständiger Inspektionsbericht als Beispiel beigefügt.

2 Einleitung

Ein nachhaltiger Umgang mit Energie kann durch die Nutzung von sinnvoller regenerativer Energie, gesteigerter Energieeffizienz aber auch einfach durch Reduktion des Ver- und Gebrauchs erfolgen.

Einsparungen durch Reduzierung sind jedoch am einfachsten umzusetzen, am wirkungsvollsten in der Nachhaltigkeit und besitzen das größte Einsparpotenzial. Hauptsächlich ist hier bei Klimaanlagen an den Temperatur Soll-Wert und den Luftmassenstrom zu denken. Bei erweiterter Betrachtung des Begriffs Reduktion kann bereits in der Planungsphase eines Gebäudes der Gedanke eingebracht werden, ob eine aktive Kühlung der Zuluft im Gebäude erforderlich ist oder ob durch die Nachtauskühlung, bei angemessener Bekleidung der Personen ein ausreichender Komfort erreicht werden kann. Weiterhin können Einsparungen durch die Nutzung der natürlichen Lüftung sowie die Nutzung des Tageslichts (Lichtschächte) erfolgen – ohne den Komfort zu beeinträchtigen.

Bei der energetischen Inspektion können Potenziale zur Minimierung des Energieverbrauchs festgestellt werden. Dem Betreiber sind dann Vorschläge zur Verbesserung der Ist-Situation zu unterbreiten. Für einige Verbesserungen müssen Umbauten vorgenommen werden. Jedoch bergen Umbauten im Bestand Tücken, die bedacht werden müssen, um die Wirkung der Erneuerung in vollem Umfang auszuschöpfen und keine »Verschlimmbesserung« herbeizuführen. So macht beispielsweise der Einsatz von Frequenzumrichtern meistens Sinn, da hierdurch ein geringer Volumenstrom bedarfsgerecht gefördert werden kann. Durch die dauerhaft geringe Leistung des Laufrades verschlechtert sich jedoch der Systemwirkungsgrad der Lüftungsanlage merklich. Hier ist unter Umständen zusätzlich die Anpassung des Laufrades erforderlich. Aufgrund eines Verbesserungsvorschlags wird evtl. das Laufrad erneuert. Hierbei sind jedoch unbedingt die Einbaumaße bzw. die Einbausituation zu beachten. Da ein ungenügender Abstand der Einsaugöffnung des Laufrades zur Gerätewand wiederum zu einer beachtlichen Wirkungsgradeinbuße führt. Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass eine Reihe von Zusammenhängen bekannt sein und beachtet werden müssen, da bei Nichtbeachtung eine energetische Sanierung durchaus ad absurdum geführt werden kann.

2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die energetische Inspektion findet rechtlich ihre erste Erwähnung in der *Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates: Gesamteffizienz von Gebäuden* (European Directive Energy Performance of Buildings, EPBR-Richtlinie) vom Dezember 2002. Hier wird in Artikel 9 die energetische Inspektion gefordert.¹

Diese Forderung fand fünf Jahre später durch die Energieeinsparverordnung vom 01.10.2007² (EnEV 2007) Eingang in das deutsche Recht.

Mit der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden³ des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 und der Richtlinie 2012/27/EU⁴ wurden verschärzte Vorgaben zur Energieeffizienz von Gebäuden gemacht.

Hierauf wurde das Energieeinsparungsgesetz⁵ zur Umsetzung in nationales Recht angepasst und am 13.06.2013 in Kraft gesetzt.

Anschließend wurde im Mai 2014 (EnEV 2014) die Energieeinsparverordnung vom 24.07.2009 (EnEV 2009) hieran angepasst.

Durch die EnEV 2014 § 12, nachfolgend nur kurz EnEV genannt, wird die energetische Inspektion für eine Kältenennleistung von mehr als 12 kW bei in Gebäude eingebauten Klimaanlagen vorgeschrieben. Verantwortlich für die Durchführung ist der Betreiber des Gebäudes.

Die Durchführungsfristen sind⁶:

- im zehnten Jahr nach der Inbetriebnahme
- im zehnten Jahr nach der Erneuerung wesentlicher Bauteile (z. B. Wärmeübertrager, Ventilator, Kältemaschine)
- < 4 und ≥ 12 Jahre alte Anlagen innerhalb von 6 Jahren zum Stichtag 1. Oktober 2007
- < 12 Jahre alte Anlagen innerhalb von 4 Jahren zum Stichtag 1. Oktober 2007
- < 20 Jahre alte Anlagen innerhalb von 2 Jahren zum Stichtag 1. Oktober 2007
- Nach erfolgter Inspektion ist diese alle 10 Jahre zu wiederholen.

1 Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 16.12.2002

2 EnEV 2007, § 12

3 Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010

4 Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 25.10.2012

5 Energieeinsparungsgesetz 2013

6 EnEV 2014, § 12 (1), (2), (3), (4)

Zur Durchführung der Inspektionen sind solche Personen berechtigt, die mindestens den Qualifikationsanforderungen laut § 12 (5) entsprechen. So wird die Leistung auf fachkundige Personen beschränkt,

- » ...mit berufsqualifizierendem Hochschulabschluss in den Fachrichtungen Versorgungstechnik oder Technische Gebäudeausrüstung mit mindestens einem Jahr Berufserfahrung in Planung, Bau, Betrieb oder Prüfung raumlufttechnischer Anlagen,...«⁷
- alternativ auf » ... Personen mit berufsqualifizierendem Hochschulabschluss in
 - a) den Fachrichtungen Maschinenbau, Elektrotechnik, Verfahrenstechnik, Bauingenieurwesen oder
 - b) einer anderen technischen Fachrichtung mit einem Ausbildungsschwerpunkt bei der Versorgungstechnik oder der Technischen Gebäudeausrüstung mit mindestens drei Jahren Berufserfahrung in Planung, Bau, Betrieb oder Prüfung raumlufttechnischer Anlagen.«

Der Leistungsumfang der Inspektion wird in Kap. 4.1 dargestellt und analysiert.

2.2 Unternehmerisches Potenzial der energetischen Inspektion in Deutschland

Bei der Bewertung des unternehmerischen Potenzials ist die Nachfrage dem Angebot gegenüberzustellen. Die potenzielle Nachfrage wird durch die zu inspizierenden Lüftungs- und Kälteanlagen gebildet. Das Angebot stellen die durchführenden Unternehmen, Institutionen und Personen dar.

In zwei Studien⁸ wurde durch Kaup für die Jahre 2006 – 2008 ein durchschnittlicher Absatz von ca. 43.000 Lüftungsgeräten pro Jahr für den deutschen Markt festgestellt. Hierbei betrug der Gesamtvolumenstrom 619 Mio. m³/h. Hieraus kann rechnerisch im Mittel eine Luftleistung von rund 14.400 m³/h je Gerät angenommen werden. Von den ca. 43.000 Geräten sind laut den Studien 41% mit Luftkühlern ausgestattet. Somit sind jährlich rund 17.600 Geräte neu der energetischen Inspektion unterworfen. Aus diesen Kennzahlen und der durchschnittlichen Nutzungszeit wurde der aktuelle Bestand der zu inspizierenden Lüftungsgeräte auf 250.000 – 420.000 geschätzt.⁹

In einer dritten Studie¹⁰ wurden für die Jahre 2009 – 2012 ein durchschnittlicher Absatz von ca. 57.000 Geräten pro Jahr für den deutschen Markt festgestellt. Hierbei

7 EnEV 2014, § 12 (5)

8 Kaup (2009) und Kaup (2012)

9 Schiller (2014), S. 29

10 Kaup (2013), S. 9

betrug der Gesamtvolumenstrom 566 Mio. m³/h. Hieraus kann rechnerisch im Mittel eine Luftleistung von rund 10.000 m³/h je Gerät angenommen werden.

Da nach EnEV § 1 Anlagen für die Prozesstechnik nicht berücksichtigt werden, ist ein geschätzter Anteil von <10% in Abzug zu bringen.¹¹

Die reale mittlere Betriebszeit kann mit 25 – 30 Jahren zugrunde gelegt werden.¹¹

Die jährliche Absatzzahl von Kälteanlagen beträgt ca. 6.500 Stück. Die mittlere Betriebszeit liegt bei ca. 25 Jahren. Durch Hochrechnung wird hierbei der Bestand auf ca. 180.700 Anlagen geschätzt. Abzüglich der Anlagen für die Prozesstechnik kann man bei den zu inspizierenden Bestandsanlagen von etwa 150.000 Stück ausgehen.¹²

Die in Deutschland installierte Gesamtkälteleitung beträgt 46.182 MW. Bei Vollbe nutzungsstunden von 700 h/a besteht ein Nutzenergiebedarf von 32.440 GWh/a. Die unter die energetische Inspektion fallenden Anlagen können mit 33.519 MW bei einem Nutzenergiebedarf von 23.545 GWh/a angenommen werden. Die mittlere Kälteleistung beträgt hierbei 223 kW.¹³

Die Nutzungsart der zu inspizierenden Anlagen kann der nachfolgenden Grafik entnommen werden. Hierbei entspricht die Häufigkeitsverteilung der Inspektionen auch der Häufigkeitsverteilung der tatsächlich installierten Anlagen.¹⁴

11 Schiller (2014), S. 18

12 Schiller (2014), S. 20

13 Schiller (2014), S. 71

14 Schiller (2014), S. 26

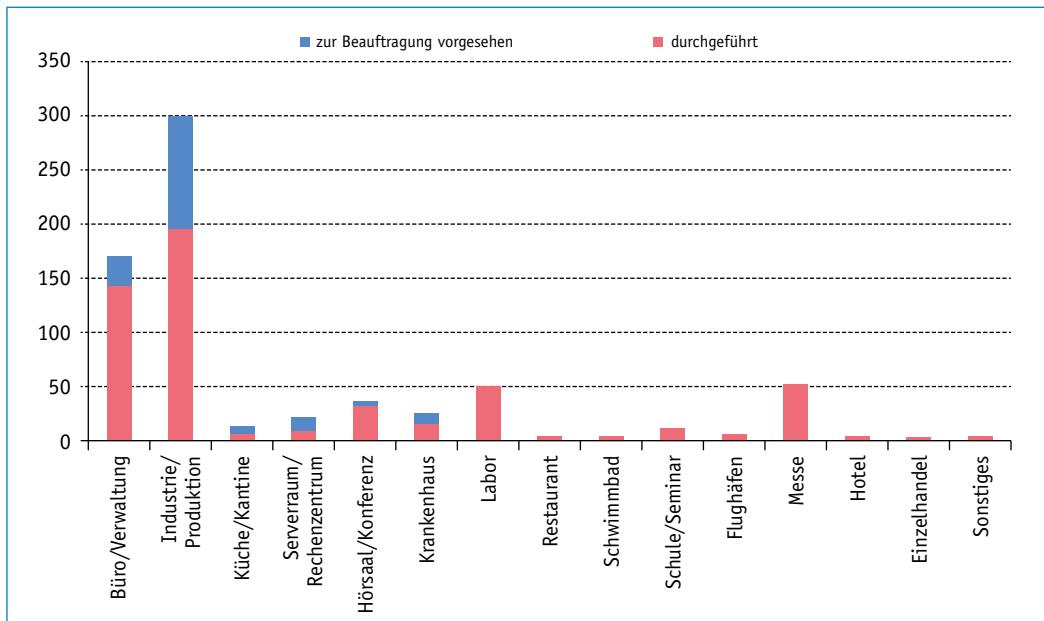


Abbildung 1: Verteilung der RLT-Anlagen bzgl. der Nutzung [Schiller (2014), S. 26]

Den zu inspizierenden Anlagen stehen die potenziellen Inspektoren gegenüber. Die Anzahl der möglichen Inspektoren kann anhand der Schulungsteilnehmer des Fachverbands Gebäude-Klima e.V. (FGK) festgestellt werden. Gemäß der aktuellen Absolventenliste sind 770 Personen zur Inspektion berechtigt.¹⁵ Weitere potenzielle Inspektoren, die nicht eine Schulung des FGK besucht haben, können als eine nur verschwindend geringe Zahl vernachlässigt werden. Es ist anzunehmen, dass von den geschulten Personen zurzeit nicht alle in der energetischen Inspektion aktiv sind. Dies kann durch den Autor bestätigt werden, da einige Personen auf der Absolventenliste persönlich bekannt sind.

In der Studie (Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche, 2014) wird die Zahl der tätigen Inspektoren mit 345 Personen geschätzt.

Die Anzahl der zu inspizierenden Anlagen in Bezug zu den tätigen Inspektoren ist aus unternehmerischer Sicht sehr gut und daher lukrativ. Jedoch ist die tatsächliche Nachfrage/Beauftragung auf Seiten der Anlagenbetreiber ernüchternd.

15 [http://www.downloads.fgk.de>Liste_Qualifizierte_Fachleute_12_EnEV.pdf](http://www.downloads.fgk.de/Liste_Qualifizierte_Fachleute_12_EnEV.pdf) [Stand: 14.04.2015]

Bis zum Jahr 2013 wurden schätzungsweise 4.300 Inspektionen vollzogen,¹⁶ was ab der Verkündigung der EnEV 2007 am 24.07.2007 ca. 860 Inspektionen pro Jahr sind. Hierbei wurde das Jahr 2007 nicht mit in die Berechnung einbezogen. Gründe hierfür sind, dass die Verordnung erst Mitte des Jahres 2007 bekannt gegeben wurde und im Allgemeinen mit Anlaufverzögerungen sowie nur allmählicher Bekanntmachung zu rechnen ist.

Die ca. 860 Inspektionen entsprechen einer Marktdurchdringung von ca. 1,4 – 2,3 %.¹⁶

In der CCI Zeitung wurden die durchgeföhrten Inspektionen für 2014 mit etwa 1.200 Stück angenommen.¹⁷ Somit hat sich die jährliche Inspektionsrate gegenüber dem Mittel der Vorjahre um 40 % erhöht, entspricht jedoch immer noch nur einer sehr geringen Marktdurchdringung.

Die Gründe für eine geringe Nachfrage liegen auf der Betreibersseite an:¹⁸

- fehlender Motivation der Mitarbeiter (22,7 %)
- verfügbare Mittel müssen in wichtigere Investitionen fließen (28,0 %)
- zu lange Amortisationszeiten bei investiven Maßnahmen (13,5 %)
- fehlendes Kapital für investive Maßnahmen (38,3 %)
- Informationssuchkosten sind zu hoch (9,3 %)
- Bedenken bzgl. Betriebsablauf und Produktionssicherheit (20,6 %)
- Zeitmangel, hohe Arbeitsbelastung (38,9 %)
- Zuständigkeit für Energiefragen sind nicht eindeutig geregelt (33,9 %)
- fehlende Kenntnisse über Hersteller energiesparender Technologien (46,9 %)
- mangelndes Wissen über Energieeinsparmöglichkeiten (10,8 %)

Auf der Seite des Inspekteurs sind die finanziellen Anreize auch nur gering, da in 2013 für die Inspektion einer durchschnittlichen Lüftungsanlage lediglich 2 Tagessätze zu je 500 € abgerechnet werden konnten.¹⁹ Aus Sicht des Verfassers ist dies im Verhältnis zur erforderlichen Qualifizierung und Aufgabenstellung nicht angemessen.

Laut Schiller (2005) liegt der Aufwand für eine systembezogene Inspektion für eine Anlage mit 10.000 m³/h bei 3 Manntagen. Eine Unterschreitung von einem Aufwand von zwei Manntage wurde hierbei nicht für möglich gehalten. Hieraus wurde auch in Anlehnung an Energieberaterleistung für mittlere Anlagen ein Honorar von 1.000 – 2.400 € als angemessen ermittelt.²⁰ Diese Einschätzung trifft nach Ansicht des

16 Schiller (2014), S. 31

17 cc dialog GmbH (2014)

18 http://www.rlt-geraete.de/file/Chancen_der_energetischen_Inspektion_von_Klimaanlagen.pdf
[Stand: 12.03.2015]

19 cc Dialog GmbH (2013)

20 Schiller (2005), S. 34

Autors auch heute noch zu, jedoch lässt sich diese Vergütung über den freien Wettbewerb kaum erreichen. Gleichfalls werden in der eben genannten Studie die Energiekosten für den Betrieb einer Anlage mit 10.000 m³/h bei 3.000 Betriebsstunden mit ca. 0,60 – 2,40 €/(m³/h) angegeben. Das entspricht bei 10 Jahren Betriebszeit (Prüfintervall) Gesamtenergiekosten von 60.000 € – 240.000 € (Mittel = 180.000 €). Hierzu stehen die Kosten für eine energetische Inspektion im Mittel mit 1.700 € zu den einsparbaren Energiekosten in Relation mit 0,7 – 2,3 %. Die im nachfolgenden Kapitel dargelegten Einsparpotenziale zeigen deutlich, dass die anfallenden Kosten der Inspektion selbst außerordentlich gering zu bewerten sind.

2.3 Bewertung des energetischen Einsparpotenzials durch Inspektionen in Deutschland

Der Endenergieverbrauch ist in Deutschland kontinuierlich rückläufig, jedoch in einem nicht besonders ausgeprägten Maße. Die Verteilung nach Verbraucher wird im Allgemeinen in vier Sektoren vorgenommen. Hierbei ist die Verbrauchsstruktur einigermaßen gleich verteilt auf Haushalte, Verkehr, Industrie und GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen).

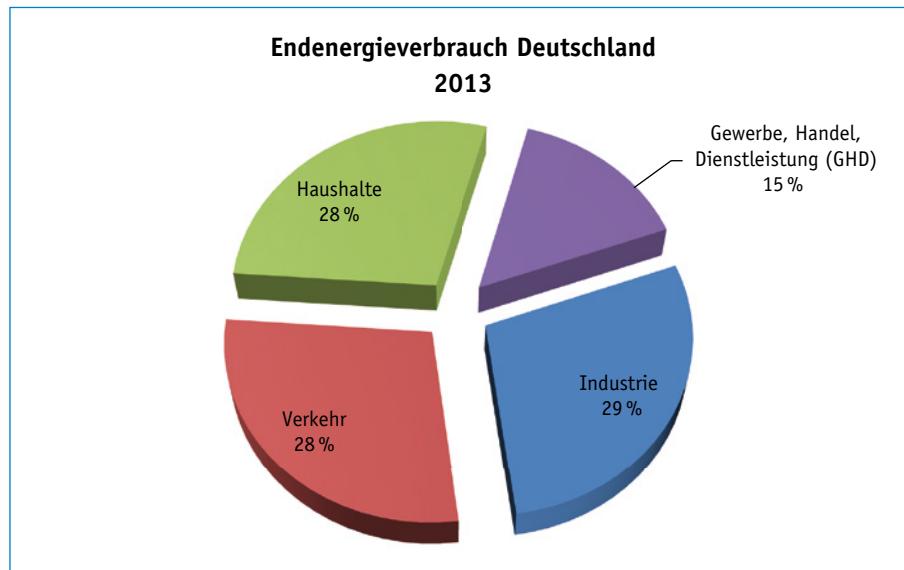


Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Deutschland 2013 [BMWi Energiedaten: Gesamtausgabe]²¹

21 <http://bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html> [Stand: 30.05.2015]

Bei genauerer Analyse der Daten kann der Anwendungsbereich detaillierter dargestellt werden. So kann in der Industrie der Verbrauch allein für die Klimakälte mit insgesamt 1 % beziffert werden. Die Aufwendung für die Luftförderung geht aus der Statistik nicht hervor.

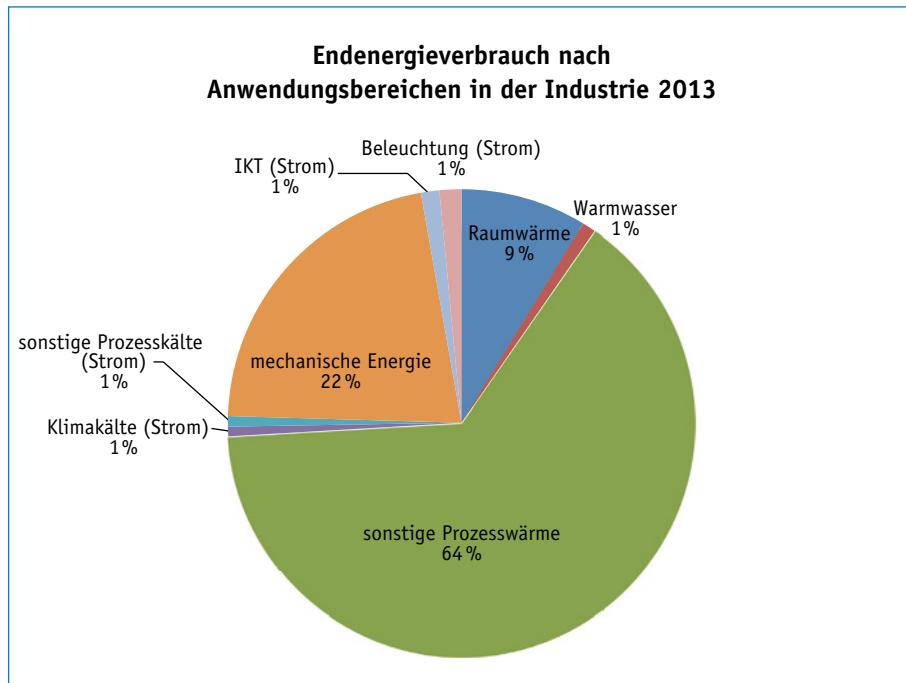


Abbildung 3: Endenergieverbrauch Industrie 2013 [BMWi Energiedaten: Gesamtausgabe]²²

²² <http://bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html> [Stand: 30.05.2015]

Im Bereich des GHD beträgt der anteilmäßige Verbrauch der Klimakälte 3 % des Gesamtverbrauchs.

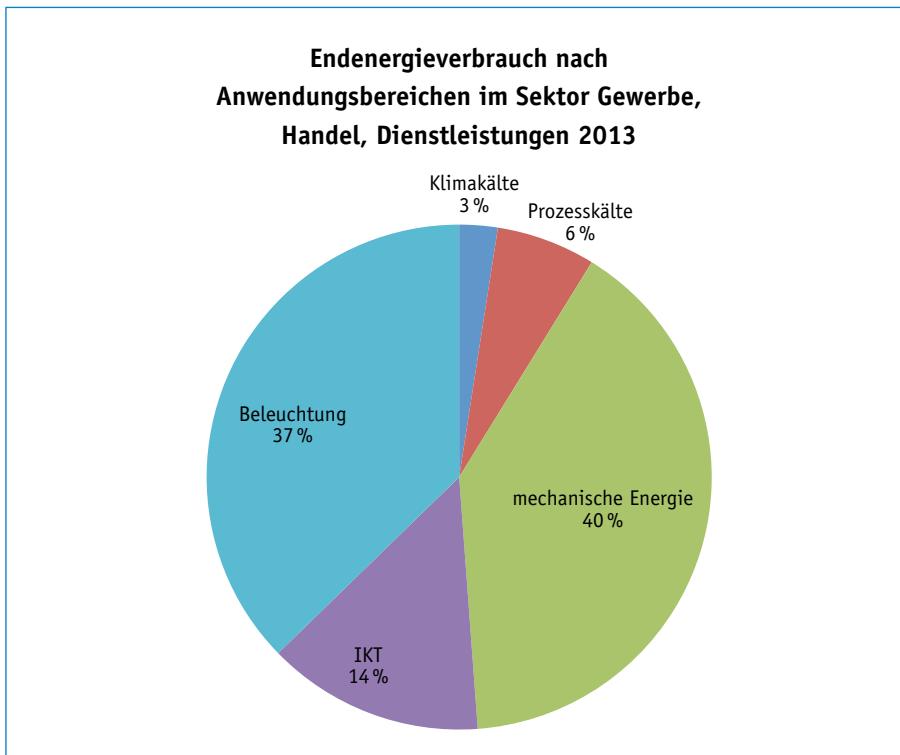


Abbildung 4: Endenergieverbrauch GHD 2013 [BMWi Energiedaten: Gesamtausgabe]²³

Im Bereich der privaten Haushalte spielt die Klimakälte z.Z. noch keine bemerkenswerte Rolle. Hier ist jedoch mit einer Verschiebung der Anteile durch rechtliche Forderungen und die fortschreitende Technologisierung zu rechnen. Insbesondere auch mit steigenden Komfortansprüchen und der kontrollierten Wohnraumlüftung ist mit einem Anstieg der Klimakälte zu rechnen. Jedoch ist aufgrund der geringen Leistungsdaten der zum Einsatz kommenden Geräte eine Anwendung der energetischen Inspektionen durch Ingenieure nicht zu erwarten.

²³ <http://bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html> [Stand: 30.05.2015]

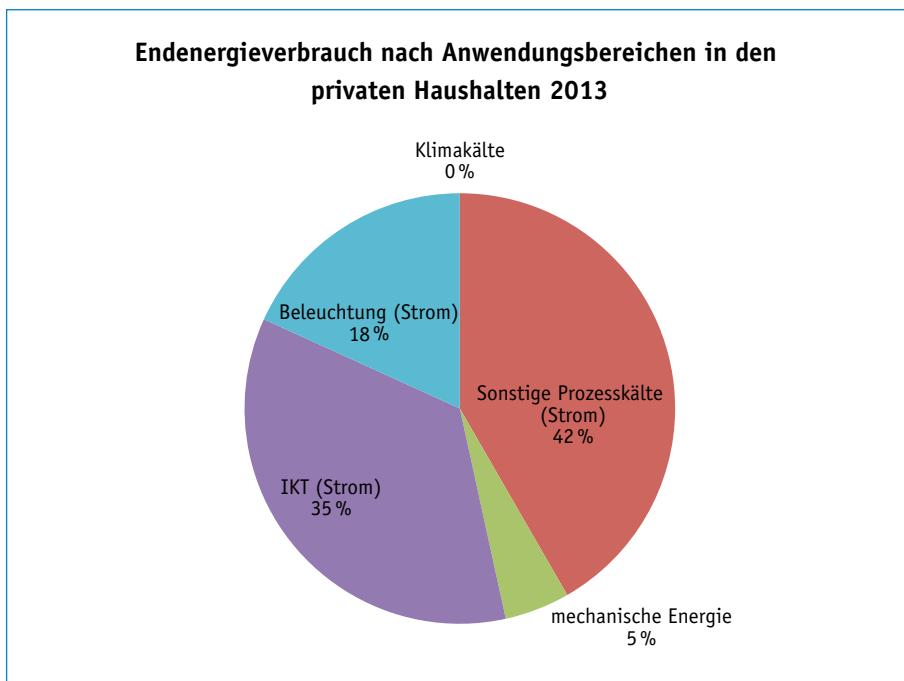


Abbildung 5: Endenergieverbrauch Privathaushalte 2013 [BMWi Energiedaten: Gesamtausgabe]

Das durch die energetischen Inspektionen aufdeckbare Potenzial wird in der Studie (Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche, 2014) mit ca. 11,9 bis 20 TWh Wärme und 7,5 bis 12,5 TWh elektrischer Energie hochgerechnet. Hierdurch lassen sich bis zu insgesamt 12,9 Mio.t CO₂ einsparen.

Die Einsparpotenziale liegen hierbei entweder in der Betriebsoptimierung oder im Austausch einzelner Komponenten oder bestenfalls in beiden.

24 <http://bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html> [Stand: 30.05.2015]

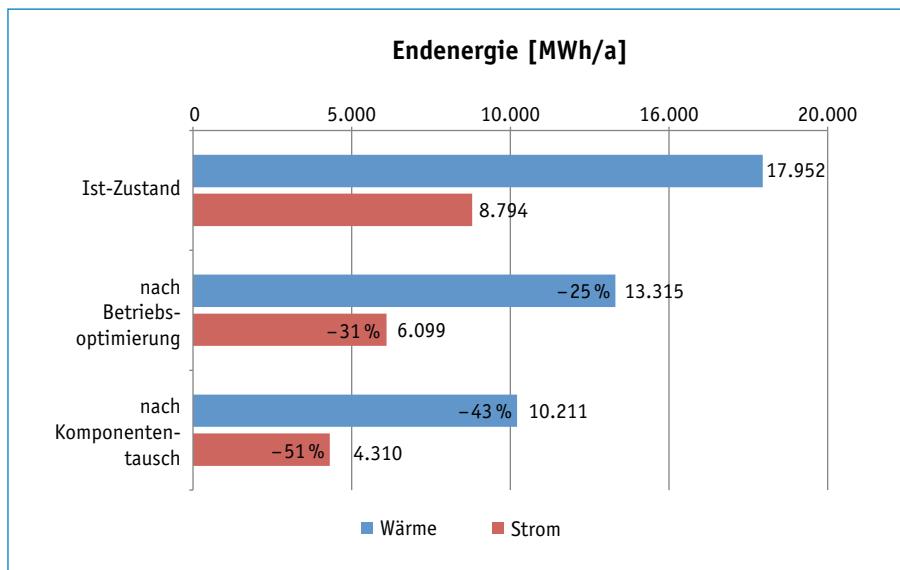


Abbildung 6: Einsparpotenziale aus den Ergebnissen der energetischen Inspektionen bei Lüftungsanlagen [Schiller (2014), S. 64]

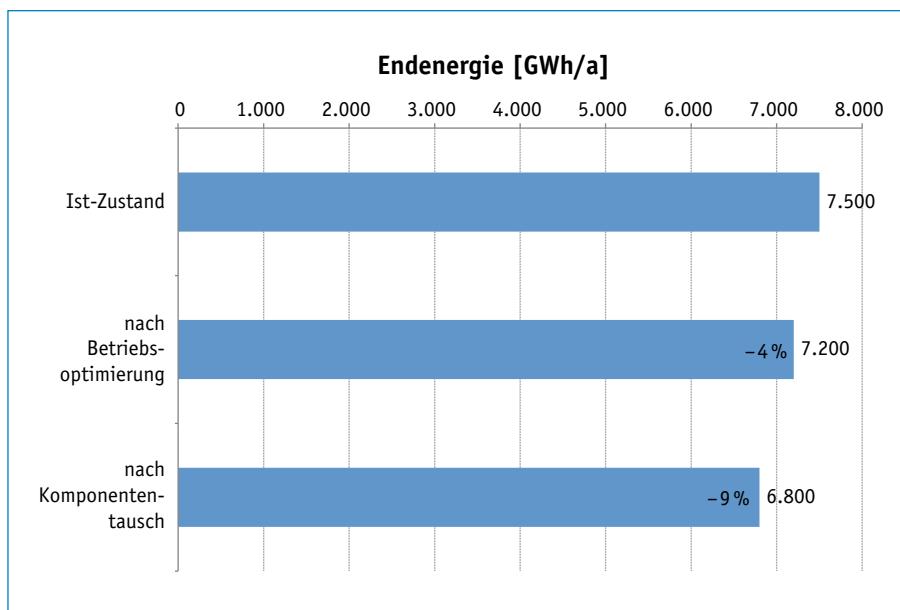


Abbildung 7: Einsparpotenziale bei Kältemaschinen [Schiller (2014), S. 72]

Bei den Kältemaschinen kann technisch bedingt kein den Lüftungsanlagen vergleichbar großes »relatives« Einsparpotenzial erschlossen werden, jedoch können hier Maßnahmen zur Energiereduzierung vorgenommen werden, die in »absoluten« Zahlen in Gigawatt einheiten gerechnet werden müssen. Mittels Hochrechnung sind hier bis zu 262 GWh elektrische Energieeinsparung ermöglicht.

3 Zusammenfassung

Die durch die EU verkündete EPBR-Richtlinie wurde mit der EnEV in nationales Recht umgesetzt. Hierin ist mit der energetischen Inspektion ein sinnvolles und pragmatisches Analysewerkzeug zur Offenlegung von Einsparpotenzialen im Bereich der Gebäudetechnik gefunden worden.

Die in diesem Buch zitierte Studie konnte eine Reduktion des Schadstoffausstoßes bei bisher inspizierten Klimaanlagen in einem bemerkenswerten Ausmaß anführen. So ist eine Reduktion von 12,9 Mio. t CO₂ allein bei Lüftungsanlagen mit Kühlfunktion zu erwarten. Dabei sind meist die Maßnahmen, die zu den größten Einsparungen führen, die kostengünstigsten oder sogar teilweise kostenneutral, so z.B. die Luftmengenreduktion. Die nicht von der EnEV per Definition erfassten Lüftungsanlagen bieten zudem weitere erhebliche Einsparpotenziale und sollten daher vom Gesetzgeber gleichfalls der energetischen Inspektion unterworfen werden.

Gleichzeitig lässt sich jedoch auch feststellen, dass trotz der Verpflichtung zur Durchführung von energetischen Inspektionen und der Androhung von Bußgeldern das Einsparpotenzial in der Praxis nicht genutzt wird. Gründe hierfür sind die mangelnde Kenntnis der gesetzlichen Vorgaben, persönliche Beweggründe der betroffenen Mitarbeiter und eine fehlende Prüfung der Kontrollorgane. So werden zurzeit nur ca. 1,4 – 2,3 % der vorgeschriebenen Inspektionen veranlasst. Darüber hinaus fehlt eine durchgehend angemessene Honorierung der Inspektion. Da die Durchführung eine besondere Qualifikation und Expertise erfordert, ist der mögliche Personenkreis beschränkt. Hierdurch bleibt befähigtes Personal der Thematik fern und Unternehmen zeigen kein Interesse daran, den Markt durch aktive Teilnahme zu beleben.

Um den Leistungsumfang der energetischen Inspektion darzustellen und um das effektive Erstellen von Inspektionsberichten mit sinnvollen Handlungsanweisungen zu ermöglichen, wurde dieses Handbuch verfasst. Hierdurch können interessierte Fachleute schnell Zugang zum Thema finden und durch qualitativ hochwertige Inspektionsberichte zur Hebung der Einsparpotenziale beim Gebäudeenergieverbrauch beitragen.

Im Wesentlichen besteht dieses Buch aus zwei Teilen. Im ersten Teil werden die formellen Anforderungen an den Inspektionsbericht selber beschrieben. Hierin wird auch dargestellt wie die Wirkungsgrade der primären Energieverbräuche ermittelt werden. Letztlich kann auf Grundlage der DIN EN SPEC 15240:2013-10 ein Verbrauchskennwert unter Standard-Betriebsbedingungen für die zu inspizierende Anlage berechnet und einem Referenzwert gegenübergestellt werden. Durch die ermittelten Kennwerte ist eine objektive Beurteilung der Effizienz der Anlage mittels Vergleich möglich.

Im zweiten Teil werden die energetischen »Stellschrauben« an Klima- und Kälteanlagen beschrieben, so z. B. der meist sinnvolle Einsatz von FUs oder auch die Verwendung von modernen Filterstoffen bei Luftfiltern. Hier wird auch auf die Einsatzgrenzen verschiedener Lüftungssysteme eingegangen. Hierdurch kann der Inspektor ohne Weiteres das zu inspizierende Lüftungssystem vergleichen und beurteilen.

Im Ergebnis kann bei der energetischen Bewertung der Lüftungsanlagen festgestellt werden, dass Einzelmaßnahmen in der Betriebsführung und ein Komponententausch zu energetischen Verbesserungen führen und diese auch wirtschaftlich durchgeführt werden können.

Hingegen können bei Kältemaschinen, im relativen Verhältnis, keine gleichwertigen Einsparungen durch Betriebsführung und Komponententausch (wenn möglich) erreicht werden. Hier ist bei entsprechendem Gebrauchsalter eine Totalerneuerung erforderlich und sinnvoll. Im Absoluten Maß ist jedoch die Effizienzsteigerung bei Kältemaschinen deutlich höher gegenüber Lüftungsanlagen.

Der als Anlage beigelegte Inspektionsbericht wurde mithilfe dieser Ausarbeitung erstellt und zeigt, dass dieses Handbuch in der Praxis funktional und zielführend ist.

4 Analyse

4.1 Anforderungen an eine energetische Inspektion

Die Anforderung an die energetische Inspektion wird in der aktuellen EnEV 2014 § 12 (2) in zwei wesentlichen Punkten zusammenfassend formuliert.

Die Inspektion umfasst:

- Die Prüfung der Komponenten, die den Wirkungsgrad der Anlage beeinflussen.
- Die Prüfung der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf des Gebäudes.

In der EnEV 2014 werden diese zwei Punkte noch genauer ausgeführt. Die Prüfung bezieht sich »insbesondere« auf:

1. Die Überprüfung und Bewertung der Einflüsse, die für die Auslegung der Anlage verantwortlich sind:
 - Veränderungen der Raumnutzung und -belegung
 - der Nutzungszeiten
 - der inneren Wärmequellen
 - der relevanten bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes
 - der vom Betreiber geforderten Sollwerte hinsichtlich
 - Luftmengen
 - Temperatur
 - Feuchte
 - Betriebszeit
 - Toleranzen
2. Die Feststellung der Effizienz der wesentlichen Komponenten.

Im Ergebnis der Prüfung ist ein Inspektionsbericht zu verfassen und dem Betreiber auszuhändigen. Hierzu heißt es:

»Die inspizierende Person hat einen Inspektionsbericht mit den Ergebnissen der Inspektion und Ratschlägen in Form von kurz gefassten fachlichen Hinweisen für Maßnahmen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage, für deren Austausch oder für Alternativlösungen zu erstellen.«²⁵

Die Durchführung der geforderten Prüfungen und der Umfang des hieraus abgeleiteten Inspektionsberichts werden nachfolgend im Detail ausgearbeitet.

25 EnEV 2014, § 12 (6)

4.1.1 Zu prüfende Anlagen bzw. Bauteile

In der Richtlinie 2010/31/EU wird in Artikel 2 der Begriff Klimaanlage nach dem Verständnis der Richtlinie definiert. Demnach ist eine Klimaanlage »*eine Kombination der Bauteile, die für eine Form der Raumluftbehandlung erforderlich sind, durch die die Temperatur geregelt wird oder gesenkt werden kann.*«²⁶

Aus der Formulierung »*Kombination der Bauteile*« tritt die umfassende Sichtweise der EU-Richtlinie hervor. Hierin sind sowohl die »*Bauteile*« zur Erzeugung der Kälteleistung als auch zur Verteilung und Übergabe eingeschlossen. Eine Unterscheidung der Art und Weise der Erzeugung wird nicht vorgenommen. Durch die EnEV wird der Begriff Klimaanlage selbst nicht definiert. Es wird auch keine Einschränkung bzw. Erweiterung des Begriffs der Klimaanlage gegenüber der Richtlinie 2010/31/EU vorgenommen. Somit kann und muss auch die Begriffsdefinition in der EU-Richtlinie ebenso im Sinne der EnEV angenommen werden, da sich die EnEV aus der EU-Richtlinie herleitet.

Es ist jedoch nicht jede Klimaanlage zu prüfen. So beschränkt die EU-Richtlinie 2010/31/EU in Artikel 15 und EnEV in § 12 (1) die zu prüfenden Anlagen gegenüber der Begriffsbestimmung auf Anlagen mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von > 12 kW. Klimaanlagen, die z. B. nur mit Heizfunktion ausgestattet sind, auch > 12 kW Heizlast, sind von den vorgeschriebenen Inspektionen ausgeschlossen.

Die zu prüfenden Anlagen sind auch nicht beschränkt auf eine Luftförderung, wie dies durch RLT-Geräte erfolgt. So sind im Verständnis und in der Definition der Richtlinie auch beispielsweise Induktionsgeräte und Split-Klimageräte eingeschlossen.

Eine Einschränkung auf Wohn- oder Nichtwohngebäude ist in der Verordnung nicht zu lesen und somit auf beide Nutzungsarten anzuwenden.

Der Begriff der Klimaanlage im Gesetzestext weicht vom allgemeinen technischen Verständnis in Deutschland ab. Gemäß der nunmehr ersetzen DIN EN 13799:2005-05²⁷ wurden RLT-Anlagen differenziert bezeichnet. So wurden nur RLT-Anlagen mit allen thermodynamischen Funktionen wie Lüften, Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten als Klimaanlagen definiert. Bei Einschränkung mindestens einer Funktion wurde die RLT-Anlage als Teilklimaanlage bzw. bei weiteren Einschränkungen nur als Lüftungsanlage bezeichnet. Im Sinne der EU-Richtlinie und folglich auch in der EnEV ist eine Klimaanlage eine Anlage, die die Raumluft durch eine Temperatursenkung beeinflusst.

²⁶ Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010, Artikel 2

²⁷ DIN EN 13779:2005-05

Da von einer *Raumluftbehandlung* gesprochen wird, ist aus Sicht des Verfassers eine *aktive* Temperierung gemeint. Hiervon sind *passive* Bauteile wie bspw. Kühlsegel und Bauteilaktivierung nicht betroffen. Dem entgegen zählt Trogisch (Trogisch A., 2011, S. 16) die passiven Kühlformen wie Betonkerntemperierung und Kühldeckensystem unter die zu prüfenden Bauteile hinzu. Ebenso zählt das Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. im Status-Report 14 die passiven Kühlformen zu den zu prüfenden Anlagen hinzu. Hier werden aufgezählt²⁸:

- Klima- und Teilklimaanlagen C2 bis C5 mit Nennkühlleistung > 12 kW
- Raumklimageräte und Raumkühlsysteme ohne Lüftungsfunktion ab Nennkühlleistung > 12 kW

Hieran schließt sich die DIN SPEC 15240:2012-12 an und zählt auf²⁹:

- Klimaanlagen zur Luftaufbereitung
- Split-, Multi-Split-, VRF-Anlagen
- Kühldecken
- Betonkernaktivierung
- Verdunstungskühlung
- freie Kühlung über Kühlтурm
- geothermische Kühlung
- Grund- und Oberflächenwasserkühlung

Da die zugrunde liegende Richtlinie 2010/31/EU das Gebäude als Ganzes vor Augen hat, sieht der Verfasser durchaus die Möglichkeit, die Interpretation des Begriffs Raumluftbehandlung auch auf passive Bauteile zu beziehen.

Im Status-Report 14 wird die Nennkühlleistung undifferenziert auf die insgesamt im Gebäude installierte Leistung bezogen (»Summe je Gebäude«). Diese umfangreiche Sicht wird auch durch Trogisch (Trogisch A., 2011, S. 16) und in der DIN SPEC 13779:2009-12, S. 9 getragen.

Die Interpretation der Nennkühlleistung für die Summe der installierten Leistung in einem Gebäude geht jedoch aus Sicht des Verfassers über die EnEV sowie die EU-Richtlinie hinaus und kann hieraus nicht begründet werden.

Hierzu hat die Fachkommission »Bautechnik« der Bauministerkonferenz unter der Auslegungsfrage XI-22 den Bezug der Kälteleistung definiert.

»Die Leistungsgrenze ist nicht auf das jeweilige Gebäude, sondern auf die jeweilige Anlage bezogen. Daraus folgt, dass

28 Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. (2007)

29 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 10

- einerseits im Falle der Ausstattung eines Gebäudes mit mehreren völlig voneinander unabhängigen Anlagen die Leistungsgrenze für die genannten Regelungen der Verordnung für jede Anlage einzeln zu bestimmen ist und
- andererseits aber für den Fall, dass solche Teilanlagen eine wesentliche Komponente (meistens die Kälteerzeugung) gemeinsam nutzen, diese im Sinne der vorstehenden europäischen Definition als eine zusammenhängende Anlage zu sehen sind.“³⁰

Somit ist festgestellt, dass Anlagen grundsätzlich einzeln zu betrachten sind. Zusammenhängende Anlagen hingegen erfordern eine gemeinsame Betrachtung.

Im Ergebnis sind die zu prüfenden Anlagen bzw. Bauteile:

- Kälteerzeuger > 12 kW (gleich welcher Art)
- Kälteverteilung
- RLT-Gerät bzw. Induktionsgerät o. ä.
- Luftverteilung und Übergabe

4.1.2 Gesetzlich geforderter Inhalt des Inspektionsberichtes

In der EnEV werden an den Inhalt des Inspektionsberichtes fachliche und formelle Anforderungen gestellt.

Die formellen Mindestforderungen sind:

1. Name
2. Anschrift
3. Berufsbezeichnung
4. Datum der Inspektion und das Ausstellungsdatum
5. Eigenhändige Unterschrift oder Nachbildung der Unterschrift
6. Zugeteilte Registriernummer eintragen (Wenn die Nummer noch nicht erteilt worden ist, ist hier »Registriernummer wurde beantragt am« einzutragen. Nach Erhalt der Nummer ist der Bericht vollständig auszuhändigen.)
7. Übergabe des Dokuments an den Betreiber

Die Registriernummer wird elektronisch vom Deutschen Institut für Bautechnik über einen personifizierten Account kostenpflichtig abgerufen.³¹

Die fachlichen Mindestforderungen an den Bericht sind:

³⁰ <http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Archiv/EnEV/EnEV2009/Auslegungen/Auslegungen/XI22BegriffsbestimmungKlimaanlagen.html> [Stand: 07.02.2015]

³¹ <https://www.dibt.de/de/Geschaeftsfelder/GF-EnEV-Registrierstelle.html> [Stand: 20.05.2015]

1. Ergebnisse der Inspektion
2. Ratschläge (kurz gefasste fachliche Hinweise) für
 - Maßnahmen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage
 - Austausch zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage
 - Alternativlösungen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage

Was mit Ratschläge/Empfehlungen für eine kosteneffiziente Verbesserung der Energieeffizienz gemeint ist, führt die Richtlinie 2010/31/EU in Artikel 16 aus:

»Die Empfehlungen können sich auf einen Vergleich zwischen der Energieeffizienz der kontrollierten Anlage und der Energieeffizienz der besten verfügbaren und realisierbaren Anlage und einer Anlage ähnlicher Bauart stützen, deren relevante Bestandteile die nach den geltenden Vorschriften geforderte Energieeffizienz aufweisen.«³²

Den Vorgaben der E DIN EN 16798-17:2015-01 entsprechend, sollte der Inspektionsbericht folgenden Inhalt haben:³³

- Verbesserungsvorschläge
- Bewertung des Wirkungsgrads der Anlage
- Bewertung der Anlagendimensionierung

Die Verbesserungsvorschläge haben sich zweckmäßig auf erhebliche Faktoren zu konzentrieren, so ist die tatsächliche Nutzung des Gebäudes in Augenschein zu nehmen, eine mögliche Reduzierung der Kühllast, die Verbesserung der Wartung, Aufdeckung von einzelnen Fehlfunktionen und gar der Austausch von ganzen Anlagen oder einzelnen Bauteilen. Hierbei soll sich der Bericht nicht auf die technische Beschreibung begrenzen, sondern auch die Energieverluste/-einsparung bemessen und Kostenersparnisse quantifizieren.³⁴

Darüber hinaus sind folgende Hinweise und Anmerkungen für den Nutzer anzugeben:

- Die Dokumentation ist ab der Vorinspektion in einem Ordner aufzubewahren und zu pflegen, damit diese für die folgende Inspektion verfügbar sind.³⁵
- Wenn erforderlich sind Ratschläge für die Reinigung der Lüftungsanlage und eine gute Luftqualität sicherzustellen.³⁶

32 Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010, Art. 16

33 E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 11

34 E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 25

35 E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 15

36 E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 17

- Bei Anlage mit variablem Luftvolumenstrom ist bei Nichtwohngebäuden auf die Forderungen der DIN EN 12599 und bei Wohngebäuden auf die DIN EN 14134 hinzuweisen.³⁷
- Sind Verbrauchsmessgeräte vorhanden, wird jedoch der Verbrauch nicht aufgezeichnet und ist eine regelmäßige Aufzeichnung der Zählerstände zu empfehlen.³⁸

4.1.3 Abgrenzung des Umfangs der energetischen Inspektion

Aus dem in § 12 (2) beschriebenen Umfang ist zu erkennen, dass der Ist-Stand der Anlage und deren Komponenten, das Gebäude und sogar teilweise die inneren Betriebsprozesse dokumentiert und hinsichtlich der energetischen Aufwendung zur Kühlung bewertet werden müssen.

Der FGK Status-Report 5 zur energetischen Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlagen unterscheidet hier begrifflich eine komponentenbezogene oder auch produktbezogene und eine systembezogene Inspektion.

»Die produktbezogene Inspektion umfasst die energetische Effizienz der eingesetzten Geräte und Komponenten. Die systembezogene Inspektion umfasst die energetische Effizienz des Gesamtsystems unter dem Aspekt der Dimensionierung und der Systemauswahl im Verhältnis zu Kühl-, Wärmebedarf und Nutzung.«³⁹

Jedoch konzentriert sich der FGK Status-Report seiner Zielsetzung entsprechend bei diesen zwei Begrifflichkeiten nur auf die Anlagentechnik. Zum vollständigen Umfang sind gem. Gesetzesvorgabe auch die Gebäude- und Nutzungsparameter aufzunehmen, sodass die Anlagentechnik den Gebäude- und Nutzungsparametern gegenübergestellt und beurteilt werden kann.

Der Ist-Stand ist hinsichtlich des Optimierungspotenzials zu untersuchen und einem Soll-Stand gegenüberzustellen. Die Anforderung ist hierbei eine Kombination aus praktisch-technischer Messung, wenn keine verwendbaren Messprotokolle vorliegen, und konzeptioneller Planungsaufgabe.

Eine abschließende Leistungsabgrenzung wird im Gesetzestext für die Inspektion nicht vorgenommen. Nur durch das »insbesondere« wird die Mindestanforderung an die Prüfung gestellt. Im Sinne der Verhältnismäßigkeit von Nutzen/Aufwand und der Unterschiedlichkeit der vorhandenen Anlagentechniken ist der Anspruch aus Sicht des Verfassers so auch sinnvoll.

37 E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 17

38 E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 25

39 Fachinstitut Gebäude-Klima (2009), S. 10

Der Leistungsumfang wird somit normativ mit einer Mindestanforderung beschrieben. Eine darüber hinausgehende Prüfung ist auf Grundlage der EnEV 2014 nicht verpflichtend und kann im Ermessen des Prüfers ausgeweitet bzw. mit dem Betreiber umfangreicher vereinbart werden.

Die E DIN EN 16798-17:2015-01 beschreibt den Umfang der Inspektion aus der Idee heraus wie folgt:

»Ziel ist nicht die Durchführung einer vollständigen Prüfung der Klima- oder Lüftungsanlage, sondern eine ordnungsgemäße Bewertung der Funktionsfähigkeit und der Hauptauswirkungen auf den Energieverbrauch und die sich daraus ergebende Festlegung von Verbesserungsvorschlägen für die Anlage oder von Alternativlösungen.«⁴⁰

Gleichzeitig teilt die zurzeit noch im Entwurf stehende E DIN EN 16798-17:2015-01 den Umfang in drei Stufen ab, wobei die 1. Stufe zur Erfüllung der gesetzlichen Forderungen ausdrücklich ohne Messungen ausreicht. Hierbei ist eine Zusammenstellung und Bewertung von Dokumenten mit einer anschließenden Vor-Ort-Besichtigung ausreichend.

Aus der Praxis heraus ist jedoch zu erwarten, dass die zweite Stufe mit Funktionalitätstests in den meisten Fällen zum Zuge kommt, da Dokumentationen vielfach unvollständig oder veraltet sind. Für besondere Messungen, wie Langzeitmessungen u.Ä., ist eine dritte Stufe definiert, die jedoch nur in Ausnahmefällen zu erwarten ist.

Im Ergebnis umfasst die energetische Inspektion zum Erreichen der Mindestanforderungen:

1. Feststellung und Sichtung von
 - RLT-Anlage, Verteilnetz und Übergabe
 - Kälteanlage, Verteilnetz und Übergabe
 - Grundriss- sowie Schnittzeichnungen des belüfteten Bereichs
 - Nutzung des belüfteten Bereichs
2. Prüfung von
 - Anlagendokumentation
 - Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf
3. Berechnung
 - Kühllast des belüfteten Bereichs (Abschätzung)
 - Wirkungsgrad/Effizienz des Ventilators bzw. RLT-Anlage
 - Wirkungsgrad/Effizienz der Kälteanlage
4. Berichtserstellung zu den Punkten 1. bis 3.
5. Ratschläge zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage

40 E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 6

4.2 Durchführung der energetischen Inspektion

Zur Art und Weise der Durchführung der energetischen Inspektion ist baurechtlich keine verbindliche Vorschrift eingeführt. Als Richtlinie und Arbeitshilfe finden folgende Dokumente Anwendung:

- DIN EN 15240:2007-08 Lüftung von Gebäuden-Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Energetische Inspektion von Klimaanlagen – Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlagen
- DIN SPEC 15240:2013-10 Lüftung von Gebäuden-Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Energetische Inspektion von Klimaanlagen
wobei die DIN SPEC 15240:2013-10 aufbaut auf
 - DIN EN 15239:2007-08 Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen
 - DIN EN 15240:2007-08 Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlagen
 - DIN EN 15243:2007-10 Lüftung von Gebäuden – Berechnung der Raumtemperaturen, der Last und Energie von Gebäuden mit Klimaanlagen
- E DIN EN 16798-17:2015-01 Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 17: Lüftung von Gebäuden-Module M4-11, M5-11, M6-11, M7-11 – Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen. Siehe hierzu auch den unten folgenden Kommentar.
- Richtlinien des Fachinstituts Gebäude-Klima e. V.
 - FGK Status-Report 6: Energetische Inspektion von Kälteanlagen zur Klimaterstützung
 - FGK Status-Report 5: Energetische Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlagen
- Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA)
 - VDMA 24197-1:2012-07 Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen, Teil 1: Klima- und lüftungstechnische Geräte und Anlagen
 - VDMA 24197-3:2012-07 Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen, Teil 3: Kältetechnische Geräte und Anlagen zu Kühl- und Heizzwecken

Durch die DIN EN 15240:2007-08 werden kurzgefasste Leitlinien, Methoden und verschiedene Umfänge zur Inspektion von Klima- und Lüftungsanlagen angegeben. Diese können ausdrücklich von den Mitgliedsstaaten im vorgegebenen harmonisierten Rahmen angepasst werden.⁴¹ Diese Anpassung wurde in Deutschland in Anspruch genommen und hieraus die DIN SPEC 15240:2013-10 entwickelt.

⁴¹ DIN EN 15240:2007-08, S. 4

Aufgrund der sinnvollen und effektiven Strukturierung werden nachfolgend im Wesentlichen anhand der DIN SPEC 15240:2013-10 die einzelnen Inspektionspunkte aufgezählt und ausgeführt. Hilfreich ist die Tabelle 1 in der DIN SPEC 15240:2013-10, da hier eine Leistungsabgrenzung zwischen *Neben* Leistungen und *Besonderen* Leistungen bei Vertragsabschluss möglich ist.

In 2014/2015 erfolgte eine Überarbeitung zahlreicher, die Lüftungstechnik betreffender Normen. Gleichzeitig wurden diese Normen in der DIN EN 16798 mit mehreren Teilen zusammengeführt. So erfolgte während der Erstellung des Handbuchs ein Zusammenschluss der DIN EN 15239:2007-08 und der DIN EN 15240:2007-08 in der im Entwurf vorliegenden Version E DIN EN 16798-17:2015-01.

Wesentliche Änderungen und Neuerungen in der E DIN EN 16798-17:2015-01 sind:⁴²

- Redaktionelle Änderungen sowie Formatierungen
- Beschreibung einer Vorinspektion im Vorfeld des Ortstermins
- Erläuterung der Ergebnisse jeder Inspektionsphase
- Einführung von drei Inspektionsstufen (Maßnahmengrad)
- Detailierung der Inspektion von Luftfiltern
- Erläuterungen zum im Bericht anzugebenden Verbesserungsvorschlägen
- Erweiterte Beschreibung der im Bericht darzustellenden Wirtschaftlichkeit
- Die informativen Anhänge sind entfallen und werden der DIN EN 16798-17 zugeschlagen

Da dem Entwurf bereits vorhergehende Normen zugrunde liegen und nun Ergebnisse aus Forschungsvorhaben sowie Lehren aus der praktischen Anwendung berücksichtigt worden sind,⁴² ist zu erwarten, dass der Entwurf ohne wesentliche Änderungen und Ergänzungen übernommen wird. Aus diesen Gründen wurde die E DIN EN 16798-17:2015-01 in dieser Ausarbeitung voll berücksichtigt.

Die oben bereits erwähnte DIN SPEC 15240:2013-10 wird zukünftig als informativer Teil in die DIN EN 16798-17 eingegliedert. Zum Zeitpunkt der Ausarbeitung liegt dieser Teil jedoch nur als Arbeitsdokument FprCEN/TR 16789-18:2014 in englischer Sprache vor. Da dieser Normteil noch nicht einmal als Entwurf vorliegt und der Inhalt nicht wesentlich von der DIN SPEC 15240:2013-10 abweicht, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht auf die FprCEN/TR 16789-18:2014 Bezug genommen. Stattdessen wurde die DIN SPEC 15240:2013-10 verwendet.

Hieraus ergeben sich die nun nachfolgend beschriebenen Arbeitsschritte und Arbeitsinhalte. Beginnend mit einer Vorinspektion, einer Begehung und einmündend in einen Inspektionsbericht.

42 E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 3

4.2.1 Vorinspektion

Zur Grundlagenermittlung der zu inspizierenden Anlage ist die vorhandene Dokumentation durch den Betreiber möglichst vollständig und detailliert vorzulegen. Zur Vorbereitung ist u.a. die Anlegung des Stammdatenblattes gem. VDMA 24197-1:2012-07 sinnvoll. Ebenfalls sollte der Betreiber der Anlage die Dokumente zur Checkliste gem. DIN EN 15240:2007-08 Anhang D dem Prüfer zur Verfügung stellen. Die vorbereitenden Arbeiten münden in einem Bericht zur Vorinspektion. Der Bericht zur Vorinspektion sollte folgende Informationen beinhalten:

- »Bestimmung der fehlenden oder veralteten Dokumente ...;
- Hinweis für den Gebäudemanager zu Fragstellungen, die bei der Entwicklung eines Plans zur Vervollständigung der Dokumentation besprochen werden müssen;
- beim Zusammenstellen der fehlenden Informationen während der Inspektion vor Ort zu berücksichtigende Schwerpunktbereiche;
- bei der Inspektion zu berücksichtigende Schwerpunktbereiche, bei denen die Ausführung von den bewährten Verfahrensweisen augenscheinlich so stark abweicht, dass deren Leistung beeinträchtigt sein könnte.«⁴³

4.2.2 Gebäude- bzw. Zonenparameter

Je nach Größe des Gebäudes und der Anlagentechnik kann eine Zonierung erforderlich sein. Bei der Zonierung muss die Datenerhebung analog zum Gebäude erfolgen. Zu dem Gebäude sind die

- Flächen
- Bautechnik
- Nutzungsparameter sowie
- Kühllasten

aufzunehmen. Zur Dokumentation der Punkte 1. bis 3. ist die Checkliste C2 gem. DIN SPEC 15240:2013-10 hilfreich.

4.2.2.1 Flächen

Da die Bewertung der Luftwechselzahlen und der Kühllasten meist über spezifische Kennzahlen erfolgt, ist die zu betrachtende (konditionierte) Fläche von großer Bedeutung und muss in jedem Fall ermittelt werden. Darüber hinaus ist der Nutzungszweck aufzunehmen. Zur Dokumentation ist die Checkliste C2 gem. DIN SPEC 15240:2013-10 hilfreich.

⁴³ E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 15

4.2.2.2 Bautechnik

Für die Bewertung der Kühllast sind die Aufnahme der opaken Flächen und der Glasflächen erforderlich, außerdem ist die Installation und die Nutzung des Sonnenschutzes zu prüfen sowie die Himmelsrichtung des Standortes festzustellen. Zur Dokumentation ist die Checkliste C2 gem. DIN SPEC 15240:2013-10 hilfreich.

4.2.2.3 Nutzungsparameter und innere Lasten

Die Art und Weise der Raumnutzung und die inneren Lasten sind festzustellen und dem zugehörigen Lüftungs- und Klimagesystem gegenüberzustellen und zu bewerten. Hierbei sind auch Betriebsprozesse und Maschinen in Augenschein zu nehmen, um festzustellen, ob evtl. lokale Absaugungen sinnvoll sind. So sollten z.B. Schweißgase in Fertigungsstätten lokal abgesaugt werden, um nicht die gesamte Raumluft der Fertigungsstätte zu belasten (vgl. VDI/VDS 6005:2004-08 Lüftungstechnik beim Schweißen und bei den verwandten Verfahren).

Da Personen innere Lasten darstellen, sind diese wie die Anlagentechnik aufzunehmen. Zur Dokumentation ist die Checkliste C2 gem. DIN SPEC 15240:2013-10 hilfreich.

4.2.2.4 Kühllasten

Die spezifische Kühllast ist durch den Nutzer anzugeben. Eine ausführliche Kühllastberechnung nach VDI 2078:1996-06 wird als Standardumfang der Inspektion in der DIN SPEC 15240:2013-10, S. 15 abgelehnt. Dies ist auch aus Sicht des Autors sinnvoll, da die Verhältnismäßigkeit zum Zweck der Sache mit einer detaillierten Kühllastberechnung nicht gegeben ist.

In der E DIN EN 16798-17:2015-01 werden beim Fehlen verlässlicher Daten zur Kühllast die Möglichkeiten zur Ermittlung über Benchmark, ungefähre Schätzverfahren sowie detaillierte Lastberechnungen nach DIN EN 15255:2013-01 freigestellt.⁴⁴

Kennzahlen aus Benchmarks sind für typische Gebäudenutzungen in der DIN SPEC 15240:2013-10 Tabelle 2 aufgeführt. Eingeschränkt wird dieser Benchmark, wenn besondere bauliche und nutzungsbedingte Randbedingungen vorliegen, wie z.B. Ganzglasfassaden oder ungewöhnlich hohe Prozessabwärme.

Eine überschlägige Kühllastberechnung ist zur Bewertung der Dimensionierung der Kälteanlagen sicherlich oft sinnvoll. Hier sollte die Möglichkeit des Abschätzverfahrens nach der VDI 2078:1996-06 genutzt werden, da das Ergebnis als hinreichend

44 E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 22

genau angesehen werden kann. Als weitere angemessene Vereinfachung werden im Anhang D der DIN SPEC 15240:2013-10 Anhaltswerte angegeben, die zur Berechnung mit dem Abschätzverfahren verwendet werden können. So kann z. B. bei unbekanntem Schichtaufbau der Wände ein typischer U-Wert des Gebäudebaujahrs angenommen werden.

Um eine Einschätzung zur Dimensionierung der Anlagentechnik zu erhalten, wird in der DIN SPEC 15240:2013-10, S. 15 die Gesamtkühllast aus der Summe der spezifischen Kühllast der Nutzfläche und der Kühlleistung der Luftaufbereitung ermittelt. Somit wird die äußere Kühllast vollständig ausgelassen. Die hierdurch eingeschränkte Aussagekraft der erforderlichen Kühllast ist bei der Bewertung zu beachten.

Eine weitere Hilfsmöglichkeit zur Einschätzung der Kühllast bietet die DIN SPEC 15240:2013-10 in Tabelle 3. Hier erfolgt in einer Hilfsmatrix eine Einteilung in die Kategorien *niedrig*, *mittel* und *hoch* mithilfe von vier Indikatoren, die anhand einer Vor-Ort-Begehung bewertet werden.

Die im Rahmen der energetischen Inspektion zu ermittelnde Gesamtkühllast setzt sich letztlich zusammen aus:

$$\dot{Q}_{c,Ges,i} = \left[\sum_1^n (\dot{q}_{c,Zone,n} \times A_{Zone,n}) + \sum_1^j \dot{Q}_{c,RLT,j} \right] \times f_c \quad (1)$$

$\dot{Q}_{c,Ges,i}$	Gesamtkühllast des Kälteversorgungsbereiches i	[W]
$\dot{q}_{c,Zone,n}$	spez. Kühllast der Zone n (ohne Luftaufbereitung)	[W/m ²]
$A_{Zone,n}$	gekühlte Nutzfläche der Zone n	[m ²]
$\dot{Q}_{c,RLT,j}$	Kühlleistung zur Luftaufbereitung der angeschlossenen RLT-Kühlregister j	[W]
f_c	Endenergiefaktor Kälte	

Der *Endenergiefaktor Kälte* kann der DIN V 18599-7:2011-12 bzw. DIN SPEC 15240:2013-10 Tabelle 12 entnommen werden. Dieser ist abhängig von der Systemtemperatur und der Kälteerzeugung.

Die Kühlleistung der Luftaufbereitung wird mit dem gemessenen Luftvolumenstrom berechnet durch:

$$\dot{Q}_{c,RLT,j} = \dot{V}_{L,ODA,j} \times \rho_L \times c_{p,L} \times (\vartheta_{AU} - \vartheta_R) + \dot{Q}_{c,Entf,j} \quad (2)$$

$\dot{V}_{AU,max\ L,ODA,j}$	Außenluftvolumenstrom des RLT-Gerätes j	[m ³ /h]
$\vartheta_{AU,max}$	maximale Außenlufttemperatur am Gebäudestandort	[°C]
ϑ_R	Raumtemperatursollwert (ggf. Mittelwert der Zonen)	[°C]
$\dot{Q}_{c,Entf,j}$	Entfeuchtungsleistung des RLT-Gerätes j (nur bei geregelter Entfeuchtung)	[W]

ρ_L	Dichte Luft	[kg/m ³]
$c_{p,l}$	spez. Wärmekapazität Luft	[J/(kg/K)]

Die Entfeuchtungsleistung des RLT-Gerätes kann, bei geregelter Entfeuchtung (latente Kälteleistung), berechnet werden durch:

$$\dot{Q}_{c,Entf,j} = \dot{V}_{L,ODA,j} \times \rho_L \times r_0 \times (x_{AU} - x_R) \quad (3)$$

r_0	Kondensationsenthalpie	[Wh/kgW]
ρ_L	Dichte Luft	[kg/m ³]
x_{AU}	max. Außenluftwassergehalt am Gebäudestandort	[kgW/kgL]
x_R	Zuluftwassergehalt der Zone n	[kgW/kgL]

Die aus der Formel (1) berechnete Gebäudekühllast kann nun der tatsächlich installierten Kälteleistung gegenübergestellt und bewertet werden. Hierfür können, entsprechend der auftretenden Differenz, nach DIN SPEC 15240:2013-10 drei Klassen unterschieden werden, aus denen sich ein Handlungsbedarf beschreiben lässt. So ist bei einem rechnerisch zu klein installierten Kälteerzeuger in der Klasse K1 ein Handlungsbedarf für eine weitere Untersuchung nur empfohlen. Jedoch ist eine energetische Verbesserung durch Anpassung der Dimensionierung nicht zu erwarten. Bei einer Abweichung von ca. $\pm 20\%$ gegenüber den ermittelten Werten ist in der Klasse K2 kein Handlungsbedarf erforderlich. Letztlich ist der Handlungsbedarf in der Klasse K3 bei deutlicher Überschreitung dringend empfohlen, da energetische Verbesserungen aus der neuen Dimensionierung der Kälteerzeugung zu erwarten sind.

4.2.3 Klima- und Behaglichkeitsparameter

Die Klima- und Behaglichkeitsparameter bestehen aus lüftungstechnischer Sicht aus:

- Außenluftvolumenstrom
- Raumtemperatur
- Raumluftfeuchte

Diese sind jeweils den aufgenommenen Ist-Parametern und den Soll-Parametern gegenüberzustellen. Zur Aufnahme der Ist-Parameter vor Ort kann die Checkliste C.5 aus der DIN SPEC 15240:2013-10 verwendet werden.

Die Soll-Parameter sind den zugrundeliegenden Planungswerten zu entnehmen. Sind diese nicht vorhanden, können Literatur- und Erfahrungswerte sowie Angaben aus der DIN EN 15251:2012-12, DIN 1946-2:1994-01 (zurückgezogen), FGK Statusreport 17, DIN EN ISO 7730:2006-05 sowie der DIN EN 13779:2007-09 entnommen werden. Zu den Soll-Parametern sind zudem die Toleranzen zu definieren, da auch hier ein erhebliches energetisches Einsparpotenzial verborgen liegt. Siehe hierzu Ausführung

in Kap. 4.3.5.8. Die variable Volumenstromregelung sollte immer erwogen werden. Dies sollte anhand der eben genannten Quellen sowie in Absprache mit dem Nutzer erfolgen.

4.2.4 Betriebszeiten und Regelung

Die eingestellten Betriebszeiten und Betriebsmodi⁴⁵ der vorhandenen Regelungstechnik sind aufzunehmen und den tatsächlich erforderlichen Betriebszeiten gem. Checkliste C2 der DIN SPEC 15240:2013-10 gegenüberzustellen und zu bewerten.

Für die Effizienz relevante Regelungen, Sensoren und Anzeigen sind zu identifizieren und zu bewerten. Die hieraus resultierenden Empfehlungen zur Verbesserungen sind entsprechend für die Lage, Funktion, Einstellungen und Betriebszeiten nach DIN EN 15232 anzugeben.⁴⁶ Das Automationsschema kann bei den meisten Anlagen mit den beispielhaften Automationsschemen der VDI 3525:2007-01 im Bedarfsfalle vergleichsweise gegenübergestellt und diskutiert werden.

Sofern Trends aufgenommen werden, ist es sinnvoll diese zu analysieren. Hierdurch können etwaige Schwingungen bzw. übermäßige Trägheit festgestellt werden. Beide Verhaltensweisen sind energetisch ungünstig.

Die Regelorgane sind an der Anlagentechnik in Augenschein zu nehmen und die Soll-Werte anhand der vor Ort angezeigten Werte abzugleichen. Hierzu kann das ausführliche Prüfprotokoll der VDMA 24197-1:2012-07 verwendet werden.

4.2.5 Inspektion RLT-Gerät

Nach den vorangegangenen Punkten ist nun auch das RLT-Gerät selbst zu inspizieren. Zur vollständigen technischen und optischen Prüfung kann hilfsweise das Protokoll der VDMA 24197-1:2012-07 verwendet werden.

Da durch die EnEV die Feststellung der Effizienz gefordert wird und in der Richtlinie 2010/31/EU in Artikel 16 ein Vergleich zwischen der Energieeffizienz der inspizierten Anlage und der Energieeffizienz der besten verfügbaren und realisierbaren Anlage und einer Anlage ähnlicher Bauart angedacht ist, ist die Ermittlung der tatsächlichen Effizienz unbedingt erforderlich.

⁴⁵ z. B. Normalbetrieb, Nachtkühlbetrieb, Zyklisches Schalten, Gleitendes Schalten, Spülbetrieb, Stützbetrieb, Energierückgewinnung, Gleitende Sollwerte, etc.

⁴⁶ E DIN EN 16798-17:2015-01, S. 24

Hierzu muss festgestellt werden:

- der Luftvolumenstrom je RLT-Gerät
- die statische Druckerhöhung je Ventilator
- die Wirkleistung je Ventilator

Diese meist praktisch ermittelten Daten werden anschließend mit Faktoren belegt, die die technischen Eigenarten der jeweiligen RLT-Anlage darstellen. Hierdurch kann ein spezifischer Energiekennwert (E_{RLT}) ermittelt werden. Siehe hierzu die Berechnung in Kap. 4.2.5.1. Dieser spezifische Energiekennwert entspricht dem Primärenergiebedarf unter Standardrandbedingungen, was mit dem allgemeinen spez. Gebäudeenergiekennwert gemäß Energieausweis vergleichbar ist.

Neben der eben beschriebenen Bewertung der gesamten RLT-Anlage, ist es sinnvoll – und wird so auch in der DIN SPEC 15240:2013-10 beschrieben – die Effizienz des Ventilators selbst festzustellen und zu bewerten, da es sich um den zentralsten Verbraucher handelt. Dies erfolgt mit dem Effizienzkennwert $q_{V,SUP}$ und $q_{V,ETA}$.

Luftvolumenstrom

Der Luftvolumenstrom sollte gem. DIN EN 12599:2013-01 vorzugsweise innerhalb des Luftbehandlungsgerätes oder des Ventilatorgehäuses durch die integrierten Messanordnungen bestimmt werden. Ohne Weiteres kann der Luftvolumenstrom auch über andere anerkannte Messverfahren wie z.B. über die Luftgeschwindigkeit und den entsprechenden Strömungsquerschnitt als »Netzmessung« ermittelt werden.⁴⁷

Statische Druckerhöhung

Der Differenzdruck kann gleichfalls nach DIN EN 12599:2013-01 mit allen z.Z. verfügbaren Verfahren und Messgeräten (Flüssigkeitsmanometer, Druckwaagen- und Kolbenmanometer, Digitale Messinstrumente) ermittelt werden.⁴⁸

Wirkleistung

Die Wirkleistung kann ebenso gem. den Angaben in der DIN EN 12599:2013-01 ermittelt werden. Hier sind drei Möglichkeiten aufgezeigt:⁴⁹

- direkte Messung von Spannung und die Stromaufnahme der Motoren hinter der letzten Sicherung für jede Phase
- unmittelbar mit einem Leistungsmessgerät (Wattmeter)
- indirekt aus der ermittelten geleisteten elektrischen Arbeit (kWh-Zähler) durch Ablesung des Messgerätes am Anfang und am Ende der Messung

47 DIN EN 12599:2013-01, S. 14

48 DIN EN 12599:2013-01, S. 57–58

49 DIN EN 12599:2013-01, S. 52

4.2.5.1 Effizienzkennwert E_{RLT}

Der spezifische Energiekennwert E_{RLT} berechnet sich aus:

$$E_{RLT} = q_H \times f_H \times f_{p,H} + \frac{q_c \times f_c \times f_{p,S}}{EER} + (q_{V,SUP} + q_{V,ETA}) \times \frac{f_{p,S}}{f_{MK}} + \\ q_{St} \times f_{St} \times f_{p,St} + (q_{WRG} + q_{EER}) \times f_{p,S} \quad (4)$$

E_{RLT}	Energiekennwert RLT-Anlage	[Wh/(m ³ /h · a)]
q_H	spez. Wärmebedarf für die Außenluftaufbereitung	[Wh/(m ³ /h · a)]
	Dieser wird dem Anhang A der DIN V 18599-3:2011-12 entnommen.	
f_H	Endenergiefaktor Wärme, siehe Tabelle 11 und Tabelle 12 in DIN SPEC 15240:2013-10	
q_c	spez. Kältebedarf für die Außenluftaufbereitung	[Wh/(m ³ /h · a)]
	Dieser wird aus dem Anhang A der DIN V 18599-3:2011-12 entnommen.	
f_c	Endenergiefaktor Kälte, siehe Tabelle 11 in DIN SPEC 15240:2013-10	
EER	Nennkälteleistungszahl (Energy Efficiency Ratio) siehe Tabelle 12 in DIN SPEC 15240:2013-10	[kW/kW]
q_{St}	spez. Nutzenergiebedarf zur Dampfbefeuchtung	[Wh/(m ³ /h · a)]
	Dieser wird aus dem Anhang A der DIN V 18599-3:2011-12 entnommen.	
f_{St}	Endenergie Dampfbefeuchtung, siehe Tabelle 11 in DIN SPEC 15240:2013-10	
$f_{p,s}$	Primärenergiefaktor Strom 2,4	
$f_{p,H}$	Primärenergiefaktor Wärme, siehe Tabelle 11 in DIN SPEC 15240:2013-10	
$f_{p,St}$	Primärenergiefaktor Dampf, siehe Tabelle 11 in DIN SPEC 15240:2013-10	
f_{MK}	Anteil Außenluft im Jahresmittel, siehe Bild 4 in DIN SPEC 15240:2013-10	
$q_{V,SUP}$	spez. Elektroenergiebedarf Zuluftförderung siehe Erläuterung unten	[Wh/(m ³ /h · a)]
$q_{V,ETA}$	spez. Elektroenergiebedarf Abluftförderung Berechnung erfolgt analog wie bei der Zuluftförderung	[Wh/(m ³ /h · a)]
q_{WRG}	spez. Hilfsenergiebedarf der WRG	[Wh/(m ³ /h · a)]
	siehe Erläuterung unten	
q_{BEF}	Energiebedarf für die Befeuchtung	[Wh/(m ³ /h · a)]
	siehe Erläuterung unten	

Spezifischer Wärmebedarf für die Außenluftaufbereitung q_h

Der spezifische Wärmebedarf für die Außenluftaufbereitung wird aus typischen und standardisierten RLT-Anlagen gewonnen. Diese werden in der DIN V 18599-3:2011-12 definiert. Hierbei handelt es sich um Angaben zur Grundbelüftung und nicht um Zusatzfunktionen zur Abdeckung besonderer Raumheizlasten oder Prozesse. Der Energiebedarf beruht auf Simulationsrechnungen, die als Referenzklima die gesamte Bundesrepublik als eine Zone zugrunde legen.

Zur Feststellung des spezifischen Wärmebedarfs muss der Anlagenaufbau festgestellt und aus den vorgeschlagenen Aufbauvarianten ausgewählt werden. Ist die tatsächliche Anlagenvariante nicht in normierter Form vorhanden, kann die nächstmögliche, ungünstigere Anlagenvariante gewählt oder im Stundenschrittverfahren berechnet werden.⁵⁰ Bei abweichenden Rahmenbedingungen (Zuluft 12 °C, 12 h bei 365 d Betriebszeit) sind Korrekturen vorzunehmen. Die Korrekturen werden in der DIN V 18599-3:2011-12 ausführlich beschrieben.

Bei der Auswahl muss beachtet werden, dass bei Wärmerückgewinnungssystemen mit Feuchterückgewinn die Rückfeuchtezahl der Rückwärmzahl gleichzusetzen ist und dass bei RLT-Anlagen mit ausschließlicher Heizfunktion der Nutzenergiebedarf für die Luftaufbereitung den Kennwerten gem. der Klassifizierung »keine Feuchteanforderung« zu entnehmen ist.⁵¹

Spez. Elektroenergiebedarf Zuluftförderung $q_{V,SUP}$

Der spez. Elektroenergiebedarf wird für jeden einzelnen Zuluft- $q_{V,SUP}$ und Abluftventilator $q_{V,ETA}$ beim Nennvolumenstrom bzw. bei VVS-Anlagen 100% ermittelt und berechnet sich aus Formel (5) und (6). Hierbei gilt für die Zuluft und Abluft die gleiche Berechnungsweise.⁵²

$$q_{V,SUP} = \frac{P_{SFP,SUP} \times 4.380 h}{3.600} \quad (5)$$

$q_{V,SUP}$	Elektroenergiebedarf Zuluftförderung	[Wh/(m³/h)]
$P_{SFP,SUP}$	spez. Leistungsaufnahme Zuluftventilator	[W/(m³/h)]

$$P_{SFP,SUP} = \frac{P_{el,wirk,SUP}}{\dot{V}_{Nenn,SUP}} \quad (6)$$

$P_{el,wirk,SUP}$	elektrische Wirkleistung Zuluftförderung	[W]
$\dot{V}_{Nenn,SUP}$	Nennvolumenstrom Zuluft	[m³/h]

50 DIN V 18599-3:2011-12, S. 20

51 DIN V 18599-3:2011-12, S. 30–31

52 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 30–31

Für die Messwerte Volumenstrom, Druckdifferenz und Leistungsaufnahme können vorhandene Messprotokolle (Alter ≤ 3 Jahre) verwendet werden.

Spezifischer Hilfsenergiebedarf der WRG q_{WRG}

Der spez. Hilfsenergiebedarf für die WRG wird mithilfe der DIN V 18599-7:2011-12 ermittelt. Hierbei handelt es sich um die Pumpenleistung bei KVS-Systemen, Drehantrieben bei Rotationswärmetauscher sowie Wärmepumpen.

Pumpenleistung bei KVS-Systemen

Die Berechnung⁵³ der elektrischen Leistung für eine Pumpe q_{WRG} erfolgt gem. den Angaben auf dem Typenschild mit:

$$q_{WRG} = \frac{P_{el,av,KVS} \times t_{WRG}}{\dot{V}_{SUP,Nenn}} \quad (7)$$

q_{WRG}	spez. Hilfsenergiebedarf der WRG	[Wh/(m ³ /h · a)]
$P_{el,av,KVS}$	mittlere elektrische Leistung der Pumpe im KV-System	[W]
t_{WRG}	Betriebszeit des WRG-Systems nach DIN V 18599-3:2011-12	[h]
$\dot{V}_{SUP,Nenn}$	Nennluftvolumenstrom Zuluft	[m ³ /h]

Wenn Angaben fehlen, kann der Energiebedarf $W_{hr,f,aux}$ bzw. q_{WRG} der Pumpe im KVS-System gem. Kurzverfahren⁵⁴ alternativ berechnet werden mit:

$$W_{hr,f,aux} = \frac{P_{el,av,KVS} \times t_{WRG}}{1.000} \quad (8)$$

$W_{hr,f,aux}$ jährlicher Hilfsenergiebedarf für die WRG
Die Bezeichnung $W_{hr,f,aux}$ erfolgt in der DIN V 18599:2011-12 und ist der Bezeichnung q_{WRG} in der DIN SPEC 15240:2013-10 adäquat.

t_{WRG} Betriebszeit des WRG-Systems nach DIN V 18599-3:2011-12 [h]

$$P_{el,av,KVS} = \dot{V}_{SUP,Nenn} \times 0,03 \frac{W}{\frac{m^3}{h}}; \text{ungeregelte Pumpen} \quad (9)$$

$$P_{el,av,KVS} = \dot{V}_{SUP,Nenn} \times 0,015 \frac{W}{\frac{m^3}{h}}; \text{drehzahlgeregelte Pumpen} \quad (10)$$

$\dot{V}_{SUP,Nenn}$ mittlere elektrische Leistung der Pumpe im KV-System
Nennluftvolumenstrom Zuluft [m³/h]

53 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 32

54 DIN V 18599-7:2011-12, S. 48

Drehantrieb Rotationswärmetauscher

Die Berechnung⁵⁵ der elektrischen Leistung für den Drehantrieb des Rotationswärmetauscher $W_{hr,f,aux,a}$ bzw. q_{WRG} erfolgt gem. den Angaben auf dem Typenschild mit:

$$W_{hr,f,aux,a} = \frac{P_{el,av,rot} \times t_{WRG}}{1.000} \quad (11)$$

$W_{hr,f,aux,a}$ jährlicher Hilfsenergiebedarf für die WRG [kWh]

Die Bezeichnung $W_{hr,f,aux,a}$ erfolgt in der DIN V 18599:2011-12 und ist der Bezeichnung q_{WRG} in der DIN SPEC 15240:2013-10 adäquat.

t_{WRG} Betriebszeit des WRG-Systems nach DIN V 18599-3:2011-12 [h]

$P_{el,av,rot}$ mittlere el. Leistung des Antriebs [W], siehe Tabelle 20 in DIN V 18599-3:2011-12

Wärmepumpen

Da die Kennwerte für Wärmepumpen nicht mit dem vereinfachten Verfahren berechnet werden können, sind diese nach DIN V 18599-3:2011-11 zu berechnen.⁵⁶

Energiebedarf für die Befeuchtung q_{BEF}

Der Energiebedarf für die Befeuchtung q_{BEF} wird differenziert in Dampfbefeuchtung q_{Dampf} und Wasserbefeuchtung q_{Bef}

Dampfbefeuchtung

$$q_{Dampf} = q_{St} \times f_{St} \times f_{p,St} \quad (12)$$

q_{Dampf} Energiekennwert Dampfbefeuchtung [$\text{Wh}/(\text{m}^3/\text{h})$]

q_{St} Nutzenergie Dampf [$\text{Wh}/(\text{m}^3/\text{h})$]
siehe Anhang A in DIN V 18599-3:2011-12

f_{St} Endenergiefaktor nach Erzeugungsart, siehe Tabelle 9 in DIN SPEC 15240:2013-10

$f_{p,St}$ Primärenergiefaktor nach Erzeugungsart, siehe Tabelle 9 in DIN SPEC 15240:2013-10

⁵⁵ DIN V 18599-7:2011-12, S. 49

⁵⁶ DIN V 18599-7:2011-12, S. 50

Wasserbefeuhtung

$$q_{Bef} = P_{el,mh} \times t_{VB} \times f_{ev} \times 4.380 h \quad (13)$$

q_{Bef}	Energiekennwert Wasserbefeuhtung	[Wh/(m ³ /h)]
$P_{el,mh}$	spez. Leistungsaufnahme der Befeuchterpumpe	[Wh/(m ³ /h)]
	siehe Tabelle 21 in DIN V 18599-7:2011-12	
t_{VB}	rel. Betriebszeit der Befeuchtung, siehe Anhang B der DIN V 18599-7:2011-12	
f_{ev}	Teillastfaktor für die Regelung der Befeuchtung, siehe Tabelle 21 in DIN V 18599-7:2011-12	

Für die Berechnung des Effizienzkennwertes stellt das Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. ein Excel-Berechnungstool zur Verfügung. Hierdurch kann mit den hinterlegten Zahlenwerten die Berechnung übersichtlich und zügig erfolgen.

Berechnung des Energiekennwertes von RLT-Anlagen

FGK Status-Report Nr. 5.1 Version 3.0 BETA



Eingabewerte

Auswahlfelder

Angaben zur RLT-Anlage:		1	Bearbeiter: Löwen			
			Datum: 04.04.2015			
Nennluftvolumenstrom:		11.000 m ³ /h	P SFP Zuluft 2.291 W/m³/s			
El. Leistung Zuluftventilator		7.000 kW				
Abluftvolumenstrom		10.000 m ³ /h	P SFP Abluft 2.520 W/m³/s			
El. Leistung Abluftventilator		7.000 kW				
Wärmerückgewinnung	Wärmerückgewinnung		Luftförderung:			
Rückwärmzahl		45 %	$\Delta_{pstat,Zuluft}$ 1000 Pa			
Nebenantrieb WRG		Platte	$\Delta_{pstat,Abluft}$ 1000 Pa			
Heizmedium		60				
Kühlung		Ja				
Kühlmedium		6/12				
Befeuchtung	ohne Befeuchtung		Systemwirkungsgrad Ventilator			
Befeuchtertyp	ohne Befeuchtung		$\eta_{fas,Zuluft}$ 44 %			
Befeucherenergie (Dampf)		kein	$\eta_{fas,Abluft}$ 40 %			
Befeucherregelung (Wasser)		kein				
Energiebedarf für Nennluftvolumenstrom:		Energie:	Bedarf Wh/m ³ /h Prim Wh/m ³ /h			
Wärme:		33.570 kWh	Wärme 3.052 4.364			
Kälte:		25.029 kWh	Kälte 2.275 2.065			
Dampf:		0 kWh	Dampf 0 0			
Strom für Ventilatoren + Neben:		61.320 kWh	Ventil+Neb. 5.575 15.051			
			Leckluftvolumenstrom c leak			
		ohne	1,00			
Energiekennwert Typ	ERLT-C3					
Energiekennwert E_{RLT}	21,5 kWh/m³/h Jahr					
Bestand	27,6					
EnEV 2007	17,3					
EnEV 2009	11,9					
21,5						
EnEV 2009						
EnEV 2007						
Bestand						
0,0						
10,0						
20,0						
30,0						
40,0						

Tabelle 1: Excel-Tool zur Berechnung des Energiekennwertes von RLT-Anlagen [Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. (2009)]

4.2.6 Dichtheit des Luftleitungsnetzes

Die Dichtheit des Luftleitungsnetzes hat unmittelbar Einfluss auf den Energiekennwert der Lüftungsanlagen. Daher sollte auch im Rahmen der Vor-Ort-Begehung das Kanalnetz im einsehbaren Bereich beurteilt werden.

Merkmale eines undichten Kanalnetzes sind:

- Strömungsgeräusche
- Schmutzfahnen
- Luftzug
- mechanische Beschädigungen
- flatternde Gegenstände wie Abhängungen oder Spinnenweben u. Ä.

$$E_{RLT,leak} = E_{RLT} \times c_{leak} \quad (14)$$

$E_{RLT,leak}$ Energiekennwert der RLT-Anlage mit Leckageverlust
 c_{leak} Leckagefaktor

Die Leckluftrate kann den Abnahmeunterlagen entnommen werden, sofern ein Dichtheitstest durchgeführt worden ist. Sind keine Angaben vorhanden, ist der Standardwert anzusetzen. Die Standardwerte für die Leckagefaktoren sind der DIN EN 15242:2007-09 entnommen und als Tabelle 13 in der DIN SPEC 15240:2013-10 aufgezählt.

4.2.7 SFP-Wert

Ein Bewertungskriterium hinsichtlich der Effizienz von Ventilatoren ist der SFP-Wert.⁵⁷ Dieser Wert wird gem. DIN EN 13799:2007-09 definiert als der Quotient aus elektrischer Leistungsaufnahme des Ventilatormotors und dem Nennluftvolumenstrom durch den Ventilator. Die Messung des Nennluftvolumenstroms muss bei sauberen Filtern (Mittelwert min. und max. Wert⁵⁸) und geschlossenen Bypass-Leitungen erfolgen.⁵⁹

57 SFP= spezifc fan power

58 DIN EN 13799:2007-09, S. 65

59 DIN EN 13799, 2007-09, S. 18

$$P_{SFP} = \frac{P}{q_v} = \frac{\Delta_p}{\eta_{tot}} \quad (15)$$

P_{SFP}	spez. Ventilatorleistung	$[W \cdot m^{-3} \cdot s]$
P	elektrische Leistungsaufnahme des Ventilatormotors	$[W]$
q_v	Nennluftvolumenstrom des Ventilator	$[m^3/s]$
Δ_p	Gesamtdruckerhöhung des Ventilators	$[Pa]$
h_{tot}	Gesamtwirkungsgrad von Ventilator, Motor und Antrieb in eingebautem Zustand	

Es erfolgt in Tabelle 9 der DIN EN 13799:2007-09 eine Klassifizierung in sieben Kategorien von SFP 1 bis SFP 7. So erfolgt die Zuordnung der besten Kategorie SFP 1 bei $< 500 W \cdot m^{-3} \cdot s$ und der letzten Kategorie SFP 7 bei $> 4500 W \cdot m^{-3} \cdot s$.

Im Anhang D.7 der DIN EN 13799:2007-09 sind übliche spezifische Ventilatorleistungen nach Anwendungsfällen zur Orientierung aufgeführt. Hieran kann der festgestellte Messwert im ersten Schritt beurteilt werden. Um jedoch die Vergleichbarkeit von Ventilatoren herzustellen, ist nur der Standardfall anzuwenden. Sind Zusatzausstattungen in der RLT-Anlage erforderlich und vorhanden, müssen Abschläge hinzugerechnet werden.

Eine definitive Vorgabe zur Verwendung der Kategorie SFP 4 für Lüftungsanlagen mit $\leq 4.000 m^3/h$ sowie Kälteleistung $\leq 12 kW$ wird durch die EnEV 2014 § 15 (1) vorgegeben. Dies gilt für den Neubau sowie für die Sanierung. Sind mehrere Ventilatoren zu berücksichtigen, ist der gewichtete Mittelwert zu bilden. Gas- und HEPA-Filter sowie Wärmerückführungsbauteile der Klassen H2 oder H1 [DIN EN 13053: 2007-11] führen zu Zuschlägen bei der Klasse SFP 4.

In der DIN SPEC 15240:2013-10 wird für den Nennluftvolumenstrom der hundertprozentige Auslegungszuluft-Volumenstrom zugrunde gelegt. Dabei muss die Zuluft und die Abluft jeweils separat berechnet und beurteilt werden.⁶⁰ Die Messgrößen können aus Unterlagen, wenn diese nicht älter als drei Jahre sind, entnommen werden. Die Bezeichnung der Indizes erfolgt in der DIN SPEC 15240:2013-10 gegenüber der DIN EN 13799:2007-09 abweichend.

$$q_{V,SUP} = \frac{P_{SFP,SUP} \times 4.380h}{3.600} \quad (16)$$

$q_{V,SUP}$	Elektroenergiebedarf Zuluftförderung	$[Wh / (m^3/h)]$
$P_{SFP,SUP}$	spez. Leistungsaufnahme Zuluftventilator	$[W / (m^3/h)]$

60 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 31

$$q_{SFP,SUP} = \frac{P_{el,wirk,SUP}}{\dot{V}_{Nenn,SUP}} \quad (17)$$

$P_{el,wirk,SUP}$ elektrische Wirkleistung Zuluftförderung [W]
 $\dot{V}_{Nenn,SUP}$ Nennvolumenluftstrom Zuluft [m³/h]

Die Berechnung der Abluft erfolgt mit der Formel (16) und (17), jedoch sind die Indizes anzupassen und werden so zur Formel (18) und (19).

$$q_{V,ETA} = \frac{P_{SFP,ETA} \times 4.380 h}{3.600} \quad (18)$$

$q_{V,ETA}$ Elektroenergiebedarf Abluftförderung [Wh / (m³/h)]
 $P_{SFP,ETA}$ spez. Leistungsaufnahme Abluftventilator [W / (m³/h)]

$$P_{SFP,ETA} = \frac{P_{el,wirk,ETA}}{\dot{V}_{Nenn,ETA}} \quad (19)$$

$P_{el,wirk,ETA}$ elektrische Wirkleistung Abluftförderung [W]
 $\dot{V}_{Nenn,ETA}$ Nennvolumenluftstrom Abluft [m³/h]

4.2.8 Systemwirkungsgrad des Ventilators

Die Ventilatorqualität wird mit dem Systemwirkungsgrad des Ventilators (Ventilator-systemwirkungsgrad) bestimmt. Die Bewertung erfolgt für die Zuluft und Abluft separat. Wie in Kapitel 4.2.7 bereits ausgeführt, sind auch hier zusätzliche Druckverluste bei der Berechnung zu berücksichtigen.

$$\eta_{SUP} = \frac{\dot{V}_{Nenn,SUP} \times \Delta p_{SUP}}{P_{el,wirk,SUP}} \quad (20)$$

η_{SUP} Systemwirkungsgrad der Zuluft [-]
 Δp_{SUP} statische Druckerhöhung des Zuluftventilators [Pa]

$$\eta_{ETA} = \frac{\dot{V}_{Nenn,ETA} \times \Delta p_{ETA}}{P_{el,wirk,ETA}} \quad (21)$$

η_{ETA} Systemwirkungsgrad der Abluft [-]
 Δp_{ETA} statische Druckerhöhung des Abluftventilators [Pa]

Typische Wirkungsgrade sind von der Leistung des Antriebs, der Antriebsart und dem Einsatz von Frequenzumformer abhängig und übersichtlich im Anhang D.1 der DIN EN 13779:2007-09 zusammengetragen. Der Wirkungsgrad der gesamten Ventilatoreinheit beginnt als >niedrig< mit 50 % und ist mit 60 % als >hoch< zu sehen. Wobei

Ventilatoren mit einer Motornennleistung >10 kW auch einen Wirkungsgrad von 70 % erreichen können.⁶¹

4.2.9 Wärmerückgewinnung

Eine Bestimmung der Rückwärmzahl im laufenden Betrieb ist so nicht sinnvoll möglich, da der Wirkungsgrad des Wärmetauschers vom Volumenstrom und der Außen-temperatur abhängig ist. Der Volumenstrom könnte zwar auf Nennvolumen geführt werden, jedoch ist die Außentemperatur nicht regelbar. Die nachfolgende Grafik zeigt hierzu den Wirkungsgradverlauf an einem Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher bei unterschiedlichen Außentemperaturen.

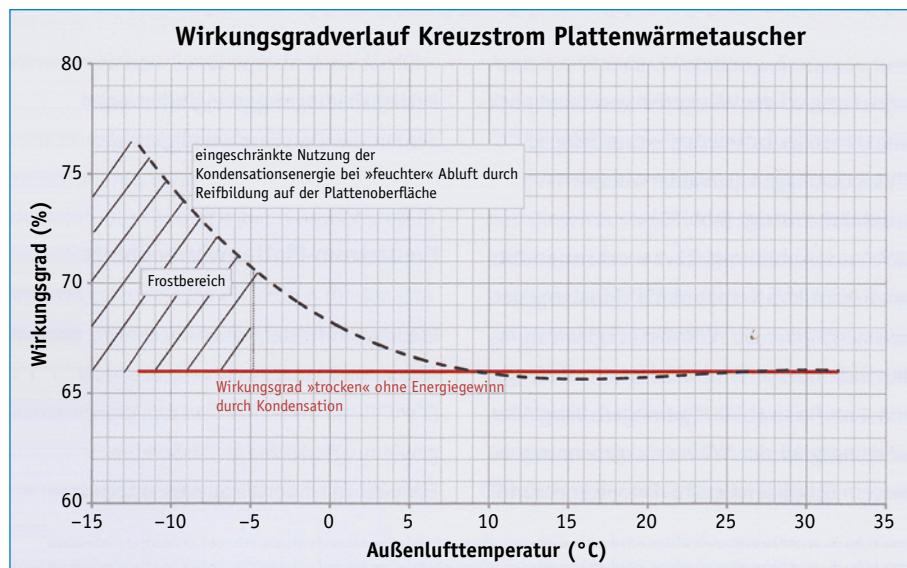


Abbildung 8: Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Außentemperatur [Kober (2009), S. 78]

Darüber hinaus wird in der DIN SPEC 15240:2013-10 festgestellt, dass der Messaufwand für die Feststellung der Rückwärmzahl mit einem unangemessen hohen Aufwand verbunden ist. Die Rückwärmzahl (ohne Kondensation) ist daher aus den Bestandsunterlagen oder, wenn diese nicht vorhanden sind, den Standardwerten der Tabelle 8 in DIN V 18599-7:2011-12 zu entnehmen. Die DIN V 18599-7:2011-12 gibt zudem detaillierte Hilfestellung, um den Temperaturänderungsgrad und somit die Rückwärmzahl empirisch zu bestimmen.

61 Fachinstitut Gebäude Klima (2009), S. 18

Abschätzung der Rückwärmezahl bei Plattenwärmetauschern⁶²

Die Abschätzung kann hier anhand der Konstruktionsmerkmale erfolgen.

Prämissen ist hierbei, dass die Anströmgeschwindigkeit, bezogen auf den Netto-Querschnitt des Plattenwärmetauschers 2 m/s bis 4 m/s beträgt. Ebenfalls ist der Feuchteänderungsgrad mit 0 anzunehmen. So kann gem. dem Verhältnis Kantenmaß zu Plattenabstand nach Tabelle F.1 der DIN V 18599-7:2011-12 auf den Temperaturänderungsgrad geschlossen werden.

Abschätzung der Rückwärmezahl bei Rotationswärmetauschern⁶³

Der Temperaturänderungsgrad beim Rotationswärmetauscher hängt u.a. von der Anströmgeschwindigkeit der Luft ab und kann aus dem Diagramm F.2 der DIN V 18599-7:2011-12 herausgelesen werden.

Als Prämissen gilt hier:

- Für die Ermittlung der Anströmgeschwindigkeit wird der Netto-Rotorquerschnitt (Halbkreis senkrecht zur Luftrichtung) in der Zuluft verwendet.
- Lamellenteilung <2 mm
- Feuchteänderungsgrad $\eta_x = 0$

In gleicher Weise kann die Ermittlung des Temperaturänderungsgrades bei Rotationswärmetauschern mit Sorptionsmaterialien aus dem Diagramm F.3 der DIN V 18599-7:2011-12 erfolgen. Hier ist a) der Tauschgrad nicht ganz so hoch wie bei einem Rotationswärmetauscher ohne Sorptionsmaterial und b) ist die Übertrager-eigenschaft nicht ganz so linear.

Die Prämissen sind hier wie oben genannt jedoch mit Feuchteänderungsgrad $\eta_x = 0$

Abschätzung der Rückwärmezahl bei Kreislaufverbundsystemen⁶⁴

Bei KV-Systemen werden die Bautiefe sowie die Strömungsgeschwindigkeit der Luft zur Abschätzung des Temperaturänderungsgrads herangezogen und aus dem Diagramm F.4 der DIN V 18599-7:2011-12 entnommen. Die Bautiefe ist hierbei die Länge der Lamellen in Strömungsrichtung. Ist der Wärmeüberträger geteilt, sind die Strecken zu addieren. Die Strömungsgeschwindigkeit wird aus dem Nettoquerschnitt des Wärmeüberträgers (Bereich der Lamellen senkrecht zum Luftstrom) und dem Nennvolumenstrom ermittelt.

⁶² DIN V 18599-7:2011-12, S. 122

⁶³ DIN V 18599-7:2011-12, S. 123-124

⁶⁴ DIN V 18599-7:2011-12, S. 125

4.2.10 Wärmedämmung

Durch die DIN SPEC 15240:2013-10 wird nur eine Sichtprüfung der Wärmedämmung am RLT-Gerät und dem Luftverteilsystem empfohlen, da die Dämmung nur eine geringe Bedeutung für die Energieeffizienz hat. Hierbei sind nur offensichtliche Mängel zu dokumentieren.⁶⁵

Für die Dämmung der RLT-Geräte werden in Tabelle 14 der DIN SPEC 15240:2013-10 Empfehlungen gegeben, die zur Beurteilung herangezogen werden können.

Bei den Luftleitungen werden gleichfalls nur technische Empfehlungen gegeben und auf die angemessene Beachtung der Betriebstemperaturen verwiesen. Normative Vorgaben gibt es für den Nichtwohnbereich in Deutschland nicht. Eine Orientierung kann die schweizerische Norm SIA 382/1 geben. Hier ist anhand der Luftart, Lage des Kanals und Temperaturdifferenz die Dämmdicke von 0 mm bis 100 mm vorgeben. Eine Vermeidung von Taupunktunterschreitungen wird aus hygienischer Sicht in der VDI 6022:2011-06 gefordert.

4.2.11 Kälteerzeuger und Rückkühler

Aufgrund des großen Messaufwands wird in der DIN SPEC 15240:2013-10 von Messungen am Kälteerzeuger und Rückkühler abgesehen. Für die Feststellung der nachfolgend genannten Effizienzkennwerte sind die vorhandenen Unterlagen des Betreibers heranzuziehen. Voraussetzung hierfür ist eine regelmäßige und fachgerechte Wartung der Anlage.⁶⁶ Die Anlagendaten können in die Checkliste der VDMA 24186-3:2002-09 aufgenommen werden. Im Untersuchungsbericht sollten letztlich Verbesserungspotenziale hinsichtlich der Betriebsweise, Regelung und Ausstattung gegeben werden. Bei der Ermittlung der Nennkälteleistung sind die spezifischen Eigenschaften der Kälteerzeugung zu berücksichtigen. Die nachfolgenden Berechnungen entsprechen der DIN SPEC 15240:2013-10 und sind nach der Erzeugerart differenziert.

4.2.11.1 Kompressionskältemaschine, VRF-Systeme

$$Q_{C,outg} = EER \times P_{C,elektr} \quad (22)$$

$Q_{C,outg}$	Nennkälteleistung Kompressionskältemaschiene	[kW]
EER	Nennkälteleistungszahl, EnergyEfficiencyRatio	[kW/kW]
$P_{C,elektr}$	Nennantriebsleistung elektrisch	[kW]

⁶⁵ DIN SPEC 15240:2013-10, S. 36–37

⁶⁶ DIN SPEC 15240:2013-10, S. 37

4.2.11.2 Absorptionskältemaschine

$$Q_{C,outg} = \xi \times Q_{C,therm} \quad (23)$$

$Q_{C,outg}$	Nennkälteleistung Absorptionskältemaschiene	[kW]
ξ	Nennwärmeverhältnis	[kW/kW]
$Q_{C,therm}$	Nennheizwärmeleistung	[kW]

Da keine Produktnorm für die Ermittlung der energetischen Kennzahl vorhanden ist, können Herstellerangaben verwendet werden.⁶⁷

4.2.11.3 Grundwassernutzungsanlage

$$Q_{C,outg} = m_{GW} \times c_{p,GW} \times (\vartheta_{Einl} - \vartheta_{Entn}) \quad (24)$$

$Q_{C,outg}$	Nennkälteleistung Grundwassernutzungsanlage	[kW]
m_{GW}	max. Grundwassermassenstrom	[kg/s]
$c_{p,GW}$	spez. Wärmekapazität Grundwasser	[kJ/kg · K]
ϑ_{Einl}	max. Grundwasser-Einleittemperatur	[°C]
ϑ_{Entn}	min. Grundwasser-Entnahmetemperatur	[°C]

Da keine Produktnorm für die Ermittlung der energetischen Kennzahl vorhanden ist, können Herstellerangaben verwendet werden.⁶⁸

4.2.11.4 DEC-Anlagen, adiabate luftbasierte Systeme

Die adiabate- und sorptionsgestützte Kühlung wird im englischsprachigen Raum als **DEC Desiccant and Evaporative Cooling** (= trocknende und verdunstende Kühlung) bezeichnet.

$$Q_{C,outg} = V_{SUP,Nenn} \times p_L \times c_{p,L} \times (\vartheta_R - \vartheta_{ZU}) \quad (25)$$

$Q_{C,outg}$	Nennkälteleistung DEC-Anlage	[kW]
$V_{SUP,Nenn}$	gemessener Zuluftvolumenstrom	[m³/s]
p_L	Dichte der Luft	[kg/m³]
$c_{p,L}$	spez. Wärmekapazität Luft	[kJ/kg · K]
ϑ_R	Raumtemperatur	[°C]
ϑ_{ZU}	min. Zulufttemperatur	[°C]

67 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 38

68 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 38

Da keine Produktnorm für die Ermittlung der energetischen Kennzahl vorhanden ist, können Herstellerangaben verwendet werden.⁶⁹

4.2.11.5 Freie Kühlung mit Rückkühlwerken

$$Q_{C,outg} = m_{KW} \times c_{p,KW} \times (\vartheta_{RL,KW} - \vartheta_{VL,KW}) \quad (26)$$

$Q_{C,outg}$	Nennkälteleistung Kühlung	[kW]
m_{KW}	max. Kaltwasserstrom	[kg/s]
$C_{p,KW}$	spez. Wärmekapazität Wasser	[kJ/(kg · K)]
$\vartheta_{RL,KW}$	max. Kaltwasserrücklauftemperatur	[°C]
$\vartheta_{VL,KW}$	min. Kaltwasservorlauftemperatur	[°C]

Da keine Produktnorm für die Ermittlung der energetischen Kennzahl vorhanden ist, können auch hier Herstellerangaben verwendet werden.⁷⁰

4.2.12 Kalt- und Kühlwasserverteilung

Im Rahmen der energetischen Inspektion sind die Leistungsdaten der Pumpen vom Typenschild bzw. aus Schemen aufzunehmen. Hierbei sind die redundanten Pumpen sowie Pumpen für die Prozesskühlung u.a. nicht zu berücksichtigen. Das heißt, es werden nur Pumpen aufgenommen, die der Gebäudekonditionierung zugeordnet sind. Ebenfalls ist die Betriebsweise zu dokumentieren.

Die Aufnahme sowie die hydraulische Berechnung des Kaltwassernetzes ist eine besondere Leistung und nicht Inhalt einer gewöhnlichen Inspektion. Bei Kälteleistungen von > 250 kW empfiehlt die DIN SPEC 15240:2013-10 immer eine Inspektion der Wasserkreisläufe,⁷¹ da hier nennenswerte Einsparpotenziale vorliegen können. Bei besonderer Vereinbarung kann die Berechnung der Wasserkreisläufe nach DIN EN 15243:2007-10 oder DIN V 18599-7:2011-12 erfolgen.

Neben der Aufnahme der Pumpenleistungen ist das Kaltwassernetz hinsichtlich der erfolgten Wärme- bzw. Kältedämmung in Augenschein zu nehmen. Als Minimum können die Dämmstärken gem. EnEV zugrunde gelegt werden. Hierin werden für Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen eine Mindestdicke der Dämmschicht von 6 mm, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m · K), vorgeschrieben.⁷² Mit den aufgenommenen Pumpenleistungsdaten kann anschließend der spez. Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung berechnet werden.

69 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 38

70 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 38

71 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 39

72 EnEV 2014, Anhang 5, Tabelle 1

4.2.12.1 Spezifischer Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung

Der spez. Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung ist für jede Anlage separat zu ermitteln.⁷³

$$q_{\text{Verteilung}} = \frac{Q_{Z,\text{aux},d,a}}{\dot{Q}_{C,\text{outg}} \times t_{d,m}} \quad (27)$$

$q_{\text{Verteilung}}$	spez. Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung	[W/kW]
$Q_{Z,\text{aux},d,a}$	Summe Hilfsenergiebedarf Pumpen im Kälteverteilnetz	[kWh/a]
$\dot{Q}_{C,\text{outg}}$	Nennkältteleistung der Kältemaschine	[kW]
$t_{d,m}$	mittlere jährliche Betriebszeit des Kälteverteilnetzes	[h/a]

Die mittlere jährliche Betriebszeit des Kälteverteilnetzes ist differenziert nach bedarfsgesteuert, intermittierend und saisonal der Tabelle D.3 der DIN V 18599-7:2011-12 zu entnehmen. Für ein Bürogebäude ist in der DIN V 18599-7:2011-12 Tabelle D.4 und FGK Status-Report 6 eine Tabelle als Benchmark zur Abschätzung des Energiebedarfs der Kaltwasserverteilung vorhanden. Die EnEV gibt in Anlage 2 Tabelle 1 eine spezifische elektrische Leistung der Verteilung (Sekundärkreis) mit $P_{d,\text{spez}}=30 \text{ W}_{\text{el}}/\text{kW}_{\text{Kälte}}$ für Neubauten an. Der Primärkreis wird mit $P_{d,\text{spez}}=20 \text{ W}_{\text{el}}/\text{kW}_{\text{Kälte}}$ für Neubauten begrenzt.

4.2.13 Effizienzkennwerte für das Kälteerzeugungssystem

Der für die Beurteilung des Kälteerzeugungssystems wesentliche Kennwert wird als E_{KK} bezeichnet und stellt das Verhältnis von Nutzen zum Aufwand dar. Der Aufwand umfasst die Summe der Verdichter und Rückkühler. Jede Kälteanlage ist separat zu bewerten.⁷⁴

$$E_{KK} = \frac{EER \times PLV_{KK,av}}{1 + q_{R,\text{elektr}} \times PLV_{KK,av} \times f_{KK,R,av} (1 + EER) + EER \times PLV_{KK,av} \times q_{\text{Verteil}}} \quad (28)$$

E_{KK}	Effizienzkennwert der Kälteerzeugung
EER	Nennkältteleistungszahl, siehe Ausführung unten
$PLV_{KK,av}$	gewichteter mittlerer Teillastfaktor nach Tabellen in Anhang A der DIN V 18599-7:2012-7
$q_{R,\text{elektr}}$	spez. Elektroenergiebedarf Rückkühler, siehe Tabelle 35 in DIN V 18599-7:2011-12
$f_{KK,R,av}$	gewichteter mittlerer Nutzungsfaktor Rückkühlung, siehe Anhang A der DIN V 18599-7:2012-7
q_{Verteil}	spez. Elektroenergiebedarf Kälteverteilung, siehe Kap. 4.2.12.1

73 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 40

74 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 42

Nennkälteleistungszahl EER

Die Nennkälteleistungszahl EER stellt das Verhältnis aus Nennkälteleistung (Nutzen) und elektrischer Antriebsleistung (Aufwand) unter Auslegungsbedingungen dar.⁷⁵

$$EER = \frac{\dot{Q}_{C,outg}}{P_{C,elektr}} \quad (29)$$

EER	Nennkälteleistungszahl	
$\dot{Q}_{C,outg}$	Nennkälteleistung der Kompressionskältemaschine	[kW]
$P_{C,elektr}$	elektrische Nennantriebsleistung	[kW]

Die Nennkälteleistung kann für die energetische Inspektion auf zwei Arten ermittelt werden.⁷⁶

1. Herstellerangaben

Ist durch den Hersteller der Produktkennwert nach DIN EN 14511 ermittelt worden, kann dieser verwendet werden.

2. Standardwerte nach DIN V 18599-7:2011-12

Sind keine Produktkennwerte durch den Hersteller angegeben, kann anhand des Baujahrs, des Kältemittels, der Rückkühlart und des Funktionsprinzips der Kältemaschine die Nennkälteleistungszahl ermittelt werden. Hierzu werden in der DIN V 18599-7:2011-12 Angaben gemacht.

Für die Berechnung des Effizienzkennwerts für das Kälteerzeugungssystem wird durch das Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. ein Excel-Tool bereitgestellt. Mit Hilfe des Tools können die Standardparameter direkt entnommen werden. Die Berechnung erfolgt mit der hinterlegten Formel. Abschließend wird der Kennwert mit dem Referenzwerten anschaulich dargestellt.

75 DIN V 18599-7:2011-12, S. 54

76 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 40–41

Berechnung des Energiekennwertes Klimakälteerzeugung
FGK Status-Report Nr. 6.1 Version 1.0



Eingabewerte

Auswahlfelder

Angaben zum Klimakälteerzeuger:		Bearbeiter: Löwen
		Datum: 04.04.2015
Typ des Klimakälteerzeugers (nach DIN V 18599-7)		
Rückkühlung:	Luftgekühlt	Bekannter EER:
Verdichter:	Kolben / Scroll	
Kältemittel:	R134a	
Kaltwasseraustritt:	6°C oder DX	
Kühlwassereintritt:	40°C oder Luftgek.	EER nach DIN V 18599-7: 2,8
Verdichterregelung:	(A) Kolben-/Scrollverdichter mit Zweipunktregelung taktend mit Pufferspeicher (EIN/AUS-Betrieb)	(A)
Rückkühler:	Geschlossener Verdunstungsrückkühler Axial	$q_{R,\text{elektrisch}}$: 0,033
Art der Rückkühlung:	Luftgekühlte Geräte	Produktwert:
Nutzungsarten:		
Nutzung 1:	Besprechung, Sitzung, Seminar Tabelle A2	50 % Raumkühlung mit Toleranz ohne WRG PLV: 1,317 f_R : 0,000
Nutzung 2:	Einzelbüro Tabelle A2	0 % Raumkühlung mit Toleranz ohne WRG PLV: 1,317 f_R : 0,000
Nutzung 3:	Schalterhalle Tabelle A2	50 % RLT mit Toleranz mit WRG PLV: 1,348 f_R : 0,000
Energiekennzahl EKK	3,73	
Referenzkennzahl	5,87	
 3,73		

Tabelle 2: Screenshot des Excel-Berechnungstools für die Kälteerzeugung
[Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. (2004)]

4.2.14 Endgeräte

Die Sichtprüfung erfolgt über das zentrale Gerät, das Verteilnetz bis zum Endgerät. Hier sind nachfolgende Punkte aufzunehmen:⁷⁷

- Regelmäßige Wartungen
- Funktionsprüfungen sowie Regelung als Stichproben
- Im Verdachtsfall ist die Effizienz der Ventilatoren der Rückkühler festzustellen
- Bei VVS-Anlagen ist die Prinzip Funktion der Volumenstromreger stichprobenweise zu prüfen
- Der Einsatz der bedarfsgerechten Lüftung ist zu prüfen

4.2.15 Beurteilung Klimakonzept

Das zur Anwendung gebrachte Klimakonzept ist für die Art und Weise der Nutzung zu bewerten. Hierbei sind, wenn erforderlich, dem Betreiber Verbesserungsvorschläge für Sofortmaßnahmen und die konzeptionelle mittel- und langfristige Nutzung zu unterbreiten. Die baulichen Gegebenheiten sind zu berücksichtigen, da diese u.U. das Klimakonzept beschränken.⁷⁷

Durch die DIN SPEC 15240:2013-10 werden folgenden Schritte zur Beurteilung des Klimakonzeptes vorgeschlagen:⁷⁸

- Zuerst soll der notwendige Außenluftvolumenstromes (Soll-Klima) je m² konditionierte Fläche festgelegt werden. Hierbei sind die stofflichen von den thermischen Lasten zu unterscheiden.
- Daher soll auch die tatsächliche Raumkühllast abschätzt werden.
- Zusammenfassend ist dem Betreiber eine kurz gefasste Bewertung und Empfehlung darzulegen.

4.2.16 Beurteilung Energiekonzept

Abschließend muss das vorhandene Energiekonzept bewertet werden. Diese Beurteilung ist jedoch deutlich von einer Energieberatung wie sie z.B. in der VDI 3922 beschrieben ist zu unterscheiden. Im Rahmen der energetischen Inspektion ist lediglich einzugehen auf:⁷⁹

- die Anpassung der Systemtemperaturen
- eine mögliche Verwendung von regenerativen Energien
- eine mögliche Einbindung von KWK-Anlagen oder Fernwärme

77 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 43

78 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 43

79 DIN SPEC 15240:2013-10, S. 44

4.3 Einsparpotenziale

Da dem Betreiber, gem. den gesetzlichen Vorgaben, im Inspektionsbericht nur Ratsschläge zu Eigenschaften der Anlage unterbreitet werden sollen, wird auf eine detaillierte Beschreibung der Verbesserungsmöglichkeiten an der Gebäudesubstanz oder der Anbauten verzichtet. Ungeachtet dessen kann durchaus im Inspektionsbericht auf derlei Maßnahmen ergänzend hingewiesen werden. So kann der solare Eintrag in das Gebäude z.B. durch einen Sonnenschutz, Austausch der Glasscheiben oder Bewuchs vermindert werden. Auch kann durch energiesparende Beleuchtung, Präsenzsteuerung sowie energieeffiziente Betriebsmittel die innere Kühllast gesenkt werden. Wie bereits erwähnt, entsprechen die Ausführungen hierzu nicht dem eigentlichen Zweck des Berichts und sollten daher nur am Rand, der Vollständigkeit halber, erwähnt werden.

4.3.1 Einsparpotenziale Ventile

4.3.1.1 Ventilautorität

Bei der Dimensionierung der Förderpumpe wird der erforderliche Druckverlust im Wesentlichen durch den Rohreibungsverlust, die Einbaukomponenten und die festgelegte Ventilautorität bestimmt. Eine zu hoch angesetzte Ventilautorität kann zu einem energetischen Mehrverbrauch führen. In diesem Falle kann die Ventilautorität ohne Leistungs- und Komforteinbußen heruntergesetzt werden. Was hierbei zu beachten ist, wird nachfolgend dargestellt.

Bei der Auswahl des Ventils und dessen Ventilkennlinie muss der Wärmeübertrager mit dem dazugehörigen Auslegungskennwert berücksichtigt werden, damit ein stabiles Regelverhalten erreicht wird. Dies trägt zur kosteneffizienten Betriebsführung bei.

Die Ventilautorität av errechnet sich als Verhältniszahl aus dem Differenzdruck Δp_{v100} der Regelarmatur zum Gesamtdifferenzdruck Δp_{ges} bei Nenndurchfluss.⁸⁰

$$a_v = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{ges}} = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v100} + \Delta p_{var}} \quad (30)$$

Zur Vermeidung von Schwingungen im Regelkreis und zur Gewährleistung einer ausreichend schnellen und genauen Wärme- bzw. Kälteübertragung ist die Ventilkennlinie auf den Wärmeübertrager abzustimmen. Da dieser Zusammenhang aus persönlicher Erfahrung in der Praxis oft nicht bekannt ist bzw. beachtet wird, wird er hier kurz ausgeführt.

⁸⁰ VDMA 24199, 2005-05, S. 5

Grundsätzlich können die Durchflusskennlinien der Regelventile in lineare und gleichprozentige unterteilt werden. Darüber hinaus gibt es noch spezifizierte Ventile, die jedoch in der Gebäudetechnikhydraulik keine Rolle spielen. Der Verlauf der Kurve hängt von der Ventilautorität und dem Stellverhältnis ab.⁸¹ Die Grafik 5 in VDI 3525:2007-01 stellt die charakteristischen Betriebskennlinien dar.

Die Wärmeübertragung am Wärmetauscher ist je nach Durchfluss nicht linear und wird in Bild 2 der VDI 3525:2007-01 als normierte Kennlinie dargestellt. Diese ist gültig für Erhitzer sowie Kühler und weist eine Ähnlichkeit mit der Betriebskennlinie des linearen Ventils auf.

Da der Auslegungsparameter a des Wärmetauschers meist unbekannt ist, wird hier die Berechnung eines konstanten Massenstromes (Beimischschaltung) angegeben.⁸²

$$a = \frac{\vartheta_{WPE} - \vartheta_{Wa,N}}{\vartheta_{WPE} - \vartheta_{La,N}} \quad (31)$$

a Auslegungsparameter des Wärmeübertragers

ϑ_{WPE} Wassereintrittstemperatur Primärkreis

$\vartheta_{Wa,N}$ Nenn-Wasseraustrittstemperatur (Rücklauftemperatur)

$\vartheta_{La,N}$ Nenn-Luftaustrittstemperatur

Im Falle von Drosselschaltungen ist der Auslegungsparameter mit einem Formfaktor $f_a = 0,70$ bis 1,0 zu multiplizieren.⁸³

Nun kann die Wärmeübertragerkennlinie mit der Kennlinie des Stellventils überlagert werden. Dies erfolgt mit Bild 6 der VDI 3525:2007-01. Hierdurch lässt sich ein weitestgehend lineares Regelverhalten herbeiführen.

Eine einheitliche Kenngröße für die Ventilautorität kann aus der Literatur nicht gegeben werden, da diese hydraulisch von mehreren Faktoren abhängig ist. Es ist jedoch eine allgemeine Tendenz bei den Zahlenwerten festzustellen.

- Laut [Pehnt, 2010 S. 246] wird als Kompromiss die Ventilautoritäten zwischen 0,3 und 0,7 als bewährt angesehen.
- Im [VDI Bericht Nr. 1549, 2000 S. 11] heißt es, dass »... schon immer für die Auswahl des hydraulisch ungünstigst gelegenen Ventils als Dimensionierungskriterium die Ventilautorität gewählt (wurde), für die dann aus regelungstechnischen Gründen ein Mindestwert von 0,3 bis 0,5 gefordert wird.«

81 VDI 3525:2007-01, S. 7

82 VDI 3525:2007-01, S. 6

83 VDI 3525:2007-01, S. 9

- Durch den Hersteller Belimo (Ari-Armatur) wird in einer Planungsbroschüre als Projektierungshinweis für die Ventilautorität ein angestrebter Wert von >0,5 angegeben.⁸⁴
- Durch [Roos, 2002 S. 73] wird eine Mindestautorität im Bereich von 0,3 bis 0,5 angegeben.

Wie oben beschrieben erfolgt die Auswahl der Ventilautorität in Abhängigkeit von der Eigenschaft des Wärmeübertragers und der Ventilkennlinie. So würde eine lineare Ventilkennlinie selbst bei einer Ventilautorität von 1 nicht zum zufriedenstellenden Regelverhalten führen. Jedoch ist bei einer gleichprozentigen Ventilkennlinie bereits mit einer geringeren Ventilautorität ein zufriedenstellendes Regelverhalten zu erwarten.

4.3.2 Einsparpotenziale Systemtemperaturen

Sofern sich die Betriebstemperaturen umstellen lassen, sind höhere Systemtemperaturen energetisch von Vorteil. Hierdurch wird die Endenergie z.B. bei Umstellung von 6/12 °C auf 14/18 °C um rund 13% gesenkt. Gleichfalls wird der EER-Wert um 0,6 (+17%) verbessert. Zuschlagsfaktoren zur jeweiligen Kältenutzung sind in der Tabelle 12 der DIN SPEC 15240:2013-10 aufgeführt.

4.3.3 Einsparpotenziale Hydraulik

4.3.3.1 Hydraulischer Abgleich

»Der hydraulische Abgleich wird von allen fachlich Beteiligten in der Theorie gefordert und in der Praxis nach Möglichkeit umgangen.«⁸⁵

Für die Planung von Klimaanlagen oder die Auslegung von Pumpen ist reichhaltig Literatur vorhanden. Jedoch ist die Literatur bezüglich der Hydraulik in der TGA spärlich bzw. sie begrenzt sich auf die Heizungstechnik oder behandelt die Hydraulik lediglich als Randthema. So wird im VDI Bericht Nr. 1549⁸⁶ eine schwache Resonanz auf die VDI-Richtlinie 2073:2014-05 »Hydraulik in Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung« beklagt. Das kann nach Aussage des Verfassers des VDI-Berichts und der Erfahrung des Autors der vorliegenden Arbeit im Wesentlichen auf mangelndes Interesse und, hieraus resultierend, fehlendes Fachwissen zurückgeführt werden. Das

84 Belimo Broschüre (2014), S. 4

85 VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (2000), S. 29

86 VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (2000)

energetische Einsparpotenzial steht jedoch in keinem Verhältnis zum Desinteresse der beteiligten Personen.

Im Rahmen dieser Arbeit sei nur auf einen erforderlichen hydraulischen Abgleich hingewiesen, den es vor Ort zu prüfen/durchzuführen gilt. Das mögliche Einsparpotenzial kann mit etwa 5 % des Gesamtenergiebedarfs zur Kälteerzeugung angesetzt werden. Siehe hierzu Kap. 4.3.6 Einsparpotenziale Kälteanlage.

4.3.4 Einsparpotenziale Pumpe

Aus energetischer Sicht sind bei Pumpen folgende Maßnahmen zur Energieeinsparung in Betracht zu ziehen:⁸⁷

- Ersetzen von überdimensionierten Pumpen durch kleinere Pumpen
- Korrektur von überdimensionierten Pumpen durch Anpassung der Laufräder
- Einsatz von Mehrfachpumpen
- Verwendung von Antrieben mit veränderlicher Drehzahl
- Verwendung von energieeffizienten Antrieben
- Verwendung von Hocheffizienzmotoren
- Verringerung von Reibungsverlusten (der Pumpe und/oder der Rohrleitungen)
- Veränderung der Positionierung von Armaturen
- Veränderungen im Zulauf der Pumpe
- Wirkungsgrad und Pumpenleistung durch Wartungsmaßnahmen erhöhen

Nachfolgend werden einige der o.g. Maßnahmen näher ausgeführt.

4.3.4.1 Pumpendimensionierung

Die Umrüstung von Pumpen auf Drehzahlregelung führt nicht in jedem Fall zur Energieeinsparung. Ursache hierfür ist der Wirkungsgradverlauf der Pumpe in Form einer Parabel. So wird im unteren Volumenstrombereich der Wirkungsgradverlauf von einer überproportionalen Rückströmung beeinflusst. Im oberen Volumenstrombereich wird der Wirkungsgradverlauf durch eine überproportionale Reibung bedingt.⁸⁸ Der optimale Wirkungsgrad bei der Auslegung wird bei mengenvariablen Kreisläufen mit 2/3 der Fördermenge erreicht.⁸⁹ Diesen Sachverhalt weist auch die nachfolgende Leistungskennlinie einer typischen mittleren Kaltwasserpumpe in der Klimatechnik auf.

87 E VDMA 24262:2009-12, S. 14

88 Pehnt (2010), S. 242

89 Pehnt (2010), S.242

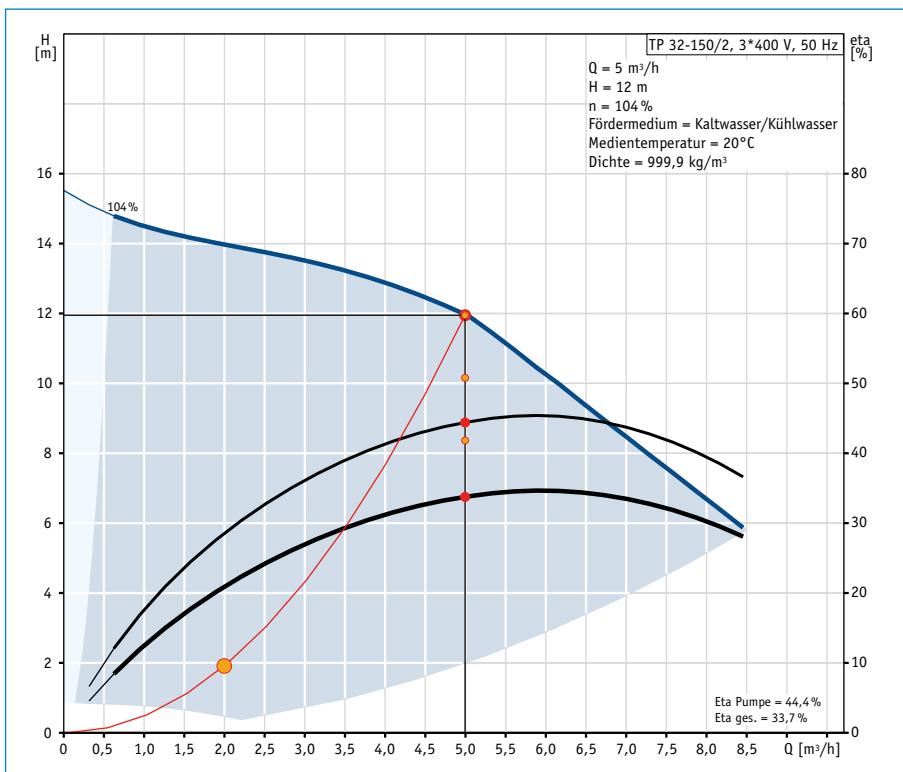


Abbildung 9: Eine durch das Herstellerprogramm (Fa. Grundfos) erzeugte Leistungskennlinie einer Inline-Pumpe TP 32-150/2

Durch Kunz wird im VDI Bericht Nr. 1549, S. 59 für die Wahl der vom Differenzdruck gesteuerten Heizungspumpe der rechte hintere Pumpenkennlinienbereich angegeben. Hierdurch wird bei variablem Betrieb der höchste Wirkungsgrad erreicht. Jedoch darf nicht zu weit nach rechts gegangen werden, da der Wirkungsgrad hier wieder abnimmt. Laut den Herstellerunterlagen von Fa. KSB⁹⁰, die hier als Beispiel dienen sollen, wird der rechte Arbeitsbereich empfohlen, da Pumpenkennlinien die im Bereich linken-mittleren Bereich flach sind, geringe Differenzdrücke nicht ausregeln können und meist im rechten Bereich stärker abfallen. Hierbei muss jedoch ein schlechterer Wirkungsgrad für eine gute Regelung hingenommen werden. Alternativ wird:

90 KSB AG-Broschüre (2013), S. 31

- von vornherein eine Pumpe mit steiler Kennlinie verwendet,
- der Messpunkt in die Anlage verlegt,
- zur Differenzdruckmessung eine zusätzliche Führungsgröße (z. B. Förderstrom, Außentemperatur, etc.) aufgeschaltet.

4.3.4.2 Pumpenantrieb

In der TGA sind üblich Asynchronmotoren mit Käfigläufer und permanenterregte Synchrongmotoren (EC-Motoren) im Einsatz. Bei den in der TGA verwendeten EC-Motoren mit 0,5–6,0 kW ist der Rotor (Läufer, Polrad) aus dauer magnetischem Material hergestellt. Die Steuerung (elektronische Kommutierung) ist meist direkt am Antrieb angebracht. Mittels einer Steuer- und Antriebsspannung kann der EC-Motor vergleichbar mit einer Frequenzsteuerung betrieben werden.

Gemäß der Verordnung (EG) Nr. 640/2009⁹¹ der Kommission vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren sind bei Neuanlagen die Wirkungsgrade der Antriebe detailliert festgelegt. Die Anforderungen werden stufenweise über mehrere Jahre verschärft.

Ab 16. Juni 2011 Alle Motoren müssen mindestens das Effizienzniveau IE2 erreichen.

Ab 1. Januar 2015 a) Motoren mit einer Nennausgangsleistung von 7,5–375 kW müssen entweder mindestens das Effizienzniveau IE3 erreichen oder
b) dem Effizienzniveau IE2 entsprechen und mit einer Drehzahlregelung ausgestattet sein.

Ab 1. Januar 2017 a) Alle Motoren mit einer Nennausgangsleistung von 0,75–375 kW müssen entweder mindestens das Effizienzniveau IE3 erreichen oder
b) dem Effizienzniveau IE2 entsprechen und mit einer Drehzahlregelung ausgestattet sein.

Die Wirkungsgrade für IE2 und IE3 werden im Anhang der Verordnung tabellarisch definiert und sind nach der DIN EN 60034 zu ermitteln.

91 Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009

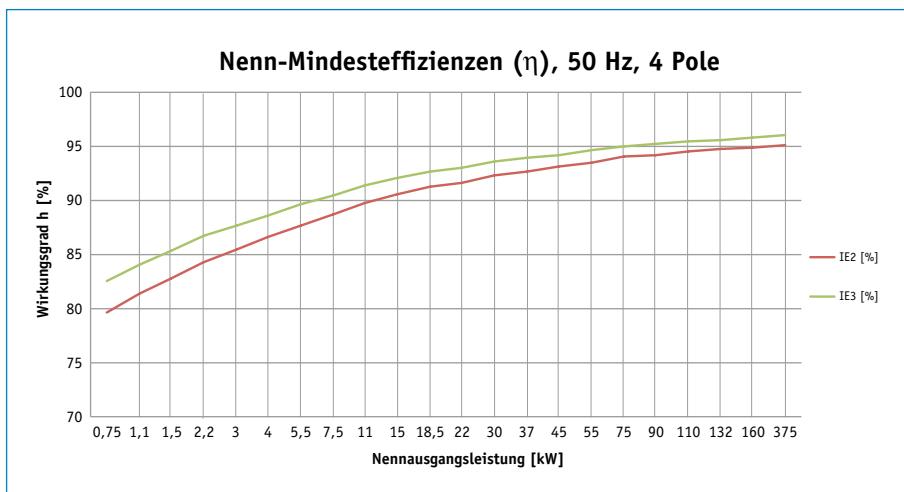


Abbildung 10: Darstellung der Klassen IE2 und IE3 [gemäß der Verordnung (EG) Nr. 640/2009 Anhang 1]

Die Differenz der zwei Klassen beginnt im unteren Leistungsbereich mit ca. 3 % und endet ab der Nennleistung von 45 kW mit ca. 1 %.

Nach DIN EN 60034-30:12-2014⁹² werden insgesamt fünf Klassen unterschieden. Der >untere Standard< mit keiner Kennzeichnung und der >super Premium< Standard mit IE4.

Die Wirkungsgrade werden gem. DIN EN 60034-30:12-2014 unter Laborbedingungen ermittelt, unter Praxisbedingungen ist jedoch nach [Kober, 2009] ein Abschlag von 1 – 1,5 % in Abzug zu bringen. Weiterhin findet eine Wirkungsgradverschlechterung durch den Einsatz von FUs statt. Siehe hierzu Ausführung in Kap. 4.3.5.7 Ventilatortsteuerung.

Zuletzt ist der Änderung des Wirkungsgrades in Teillast Rechnung zu tragen. So ist im nachfolgenden Beispiel eines 11 kW Antriebes ab einer Belastung unterhalb von 30 % ein starker Abfall des Wirkungsgrades festzustellen.

92 DIN EN 60034-30-1:2014-12

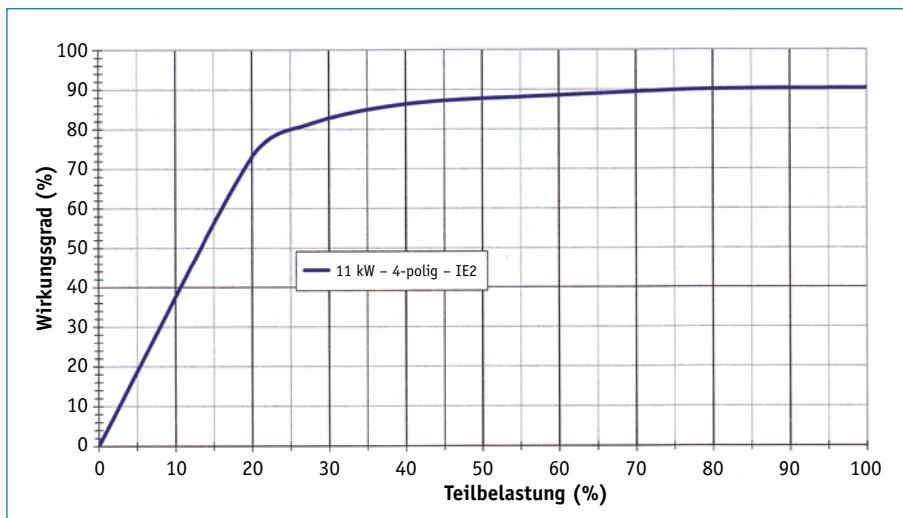


Abbildung 11: Wirkungsgradverlauf eines 11 kW Antriebes bei Teillast [Kober (2009), S. 108]

Selbstverständlich sind die höherwertigen bzw. effizienteren Antriebe in der Investition teurer. Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müssen die höheren Investitionskosten jedoch in Relation zu den Betriebs- und Entsorgungskosten gesehen werden. So wird bei einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung des Antriebs deutlich, dass der wesentliche Kostenfaktor die elektrischen Verbrauchskosten sind.

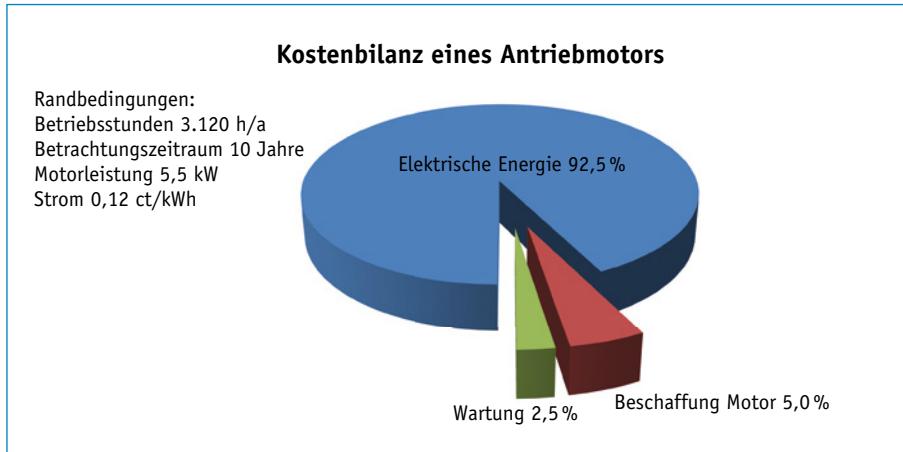


Abbildung 12: Darstellung der Anschaffungs- und Betriebskosten eines Antriebs bei 10 Jahren Lebensdauer [Kober (2009), S. 103]

4.3.4.3 Pumpenregelung

Gründe für die Verwendung von leistungsgeregelten Pumpen sind die Optimierung der Hydraulik, die Vermeidung von Strömungsgeräuschen aufgrund eines hohen Differenzdrucks und die Kosteneinsparung durch geringere Durchflüsse und somit Anlagenwiderstände.

Zur Regelung von Pumpen gibt es zahlreiche Möglichkeiten. Hierzu sind aufzuzählen:

1. Drehzahlverstellung
2. Parallelbetrieb
3. Serienbetrieb
4. Bypass
5. Drosselung
6. Abdrehen von Laufrädern
7. Hinterfeilen von Laufradschaufeln
8. Vordrall
9. Schaufelverstellung

Da es sich bei den Regelungsarten 2.–9. gegenüber 1. um sehr ineffiziente Maßnahmen der Regelung handelt und diese, bis auf 2.–3. nicht mehr zeitgemäß sind, wird nachfolgend nur die energetisch verbesserte Betriebsweise durch die Drehzahlverstellung näher untersucht. Unter der Drehzahlverstellung wird weiterhin die Regelung des Differenzdrucks verstanden, da diese in TGA-Anwendungen am häufigsten Anwendung findet.

Bei der Differenzdruckregelung werden zwei Regelarten unterschieden:

- Konstantdruckregelung
- Proportionaldruckregelung

Für die Differenzdruckregelung ergibt sich eine Einsatzgrenze bei der Einspritzschaltung für Primärpumpen, Ein-Rohrheizungen und Erzeuger, die einen konstanten Volumenstrom erfordern. Zumindest bei den Primärpumpen kann die Regelung über die RL-Temperatur erfolgen.

Bei Vergleich der Konstant- gegenüber der Proportionaldruckregelung ergibt sich ein energetischer Vorteil für die Proportionaldruckregelung, da hier beim geringen Volumenstrom die Förderhöhe gegenüber der Konstantdruckregelung noch weiter verringert wird. Die Grenze der Verringerung bei der Förderhöhe hat sich aus Gründen einer drohenden hydraulischen Unterversorgung in der Praxis mit $\frac{1}{2}$ H bewährt. Dem steht die stabilere Betriebsweise bei der Konstantdruckregelung gegenüber.⁹³ Die Regel-

⁹³ VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (2000), S. 55

güte des eingestellten Soll-Werts liegt in einem Toleranzbereich von $\pm 2\%$ bis 10% und ist abhängig von Motorgröße, Fabrikat und Regelverfahren.

Bei der Wahl ist ferner die Ventilautorität in Erwägung zu ziehen, denn es wird, sofern eine hohe Ventilautorität gefordert ist, die Konstantdruckregelung – und bei geringer Ventilautorität die Proportionaldruckregelung – empfohlen.⁹⁴

Messort

Als Messstelle zur Ermittlung des Differenzdrucks kommen verschiedene Stellen im Rohrleitungsverlauf in Betracht. Wobei in der Praxis nur Lösung 1 oder 3 angewendet wird.

Lösung 1: an der Förderpumpe selber

Lösung 2: am Verteiler

Lösung 3: am letzten Abgang bzw. Schlechtpunkt der Anlage

Bei Lösung 1 läuft die Pumpe konstant bei Voll- und Teillast auf den eingestellten Sollwert (= maximaler Differenzdruck), der die Rohrleitungsverluste bis zum letzten Verbraucher sowie dessen Druckverlust bei Volllast des gesamten Systems beinhaltet.

Demgegenüber beinhaltet der einzustellende Sollwert bei Lösung 3 nur den erforderlichen Differenzdruck des letzten Verbrauchers und das zudem nur in Teillast. Das heißt, bei Volllast regelt die Pumpe soweit »hoch« bis der eingestellte Sollwert (= minimaler Differenzdruck) erreicht ist und bei Teillast regelt sie soweit »runter« bis auch hier der eingestellte Sollwert (= minimaler Differenzdruck) erreicht ist. Diese energetisch sinnvolle Regelung führt jedoch bei hydraulisch abgeglichenen Wassernetzen in Gebäuden u.U. zur Überversorgung der an der Pumpe liegenden Verbraucher. Das ist jedoch abhängig von der Druckverlustverteilung und von den zum hydraulischen Abgleich verwendeten Einbauteilen.

Letztlich hat sich die Geberanordnung entsprechend der 1. Lösung als robust und praxistauglich herauskristallisiert. Lösung 3 findet nur Verwendung, wenn bis zum ersten Verbrauer ein großer Druckverlust (lange Rohrleitung) auftritt, so z.B. bei langer Versorgungsleitung von Kesselhaus bis zum beheizten Gebäude.⁹⁵

4.3.5 Einsparpotenziale Lüftungsanlage

Aus der Analyse zahlreicher energetischer Inspektionen (2007 – 2013) wurde in einer Studie die am häufigsten empfohlenen Einsparpotenziale zusammengetragen.

⁹⁴ VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (2000), S. 69

⁹⁵ VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (2000), S. 67

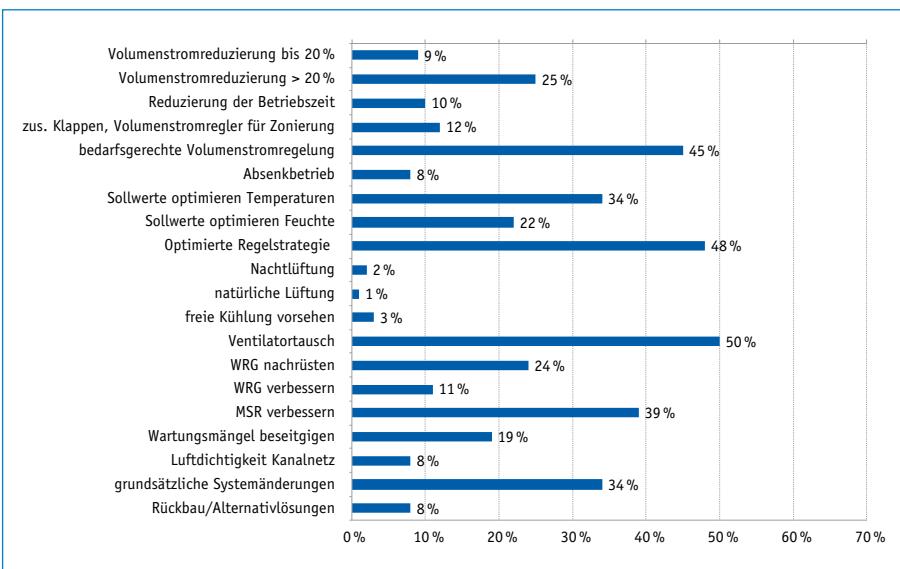


Abbildung 13: Häufigste Sanierungsempfehlungen [Schiller (2014), S. 48]

Demnach ist die bedarfsgerechte Lüftung eine der häufigsten Empfehlungen, u.a. resultiert hieraus ein Ventilatortausch und eine optimalere Regelstrategie mit verbesserter MSR. Ein nicht geringer Teil sieht auch eine grundätzliche Systemänderung als erforderlich. Jedoch sind die Sanierungsempfehlungen im Lichte des durchschnittlich hohen Anlagenalters von rund 25 Jahren zu bewerten.

Darüber hinaus wird in der Studie eine Bewertung der Maßnahmen bzgl. des erreichbaren Einsparpotenzials vorgenommen.

Nr.		Einsparpotenziale		Bemerkung
		Wärme	Strom	
1	Volumenstromreduzierung bis 20 %	10 %	15 %	
2	Volumenstromreduzierung > 20 %	25 %	30 %	
3	Reduzierung der Betriebszeit	8 %	8 %	
4	zus. Klappen, Volumenstromregler für Zonierung	0 %	0 %	siehe bedarfsgerechte Volumenstromregelung
5	bedarfsgerechte Volumenstromregelung	20 %	25 %	
6	Absenkbetrieb	15 %	20 %	
7	Sollwerte optimieren Temperaturen	5 %	2 %	
8	Sollwerte optimieren Feuchte	5 %	0 %	
9	Optimierte Regelstrategie	10 %	10 %	
10	Nachtlüftung	0 %	3 %	
11	natürliche Lüftung	0 %	10 %	
12	freie Kühlung vorsehen	0 %	10 %	
13	Ventilatortausch	0 %	X %	individuelle Berechnung mit Systemwirkungsgrad neu = 60 %
14	WRG nachrüsten	70 %	-6 %	
15	WRG verbessern	30 %	-3 %	
16	MSR verbessern	0 %	0 %	siehe optimierte Regelungsstrategie
17	Wartungsmängel beseitigen	3 %	3 %	
18	Luftdichtigkeit Kanalnetz	5 %	5 %	
19	grundsätzliche Systemänderungen	30 %	40 %	
20	Rückbau/Alternativlösungen	30 %	40 %	

Tabelle 3: Faktoren zur Einschätzung der Potenziale zu einzelnen Maßnahmen
[Schiller (2014), S. 62]

Demnach liegt es auf der Hand, dass eine optimale Wärmerückgewinnung das größte Einsparpotenzial birgt. Dem folgt die bedarfsgerechte Lüftung ggf. mit einer Volumenstromreduzierung.

Zur Gruppe der Verbesserungsvorschläge können die Beseitigung von Störungen gezählt werden. Hier wird in einem Bericht von Schiller festgestellt, dass Störungen an Anlagenkomponenten wie Ventilen, Klappen oder Fühlern zu spät oder gar nicht vom Bedienpersonal festgestellt werden. Das kann zu gegenläufigem Heizen oder Kühlen, zum Ausfall der Volumenstromabsenkung, zu hohen Ventilatordrücken, zu hohen Luftfeuchten oder gar zum Ausfall der Wärmerückgewinnung führen.⁹⁶

Nachfolgend werden diese Punkte sowie teilweise detailliertere Verbesserungsvorschläge ausgeführt.

4.3.5.1 Raumluftströmung, Belüftungsart

Im Rahmen der energetischen Inspektion ist das Lüftungskonzept gem. der aktuellen Nutzung zu überdenken. So kann aufgrund von Umnutzungen die Raumluftströmung mit dem vorhandenen Lüftungskonzept unzureichend sein und muss angepasst werden. Jedoch sind auch die aktuelle Anordnung der Auslässe im Raum in Augenschein zu nehmen und evtl. Kurzschlüsse o. ä. aufzuzeigen. Auch sind die installierten Auslässe der zugesagten Funktion gegenüberzustellen und zu prüfen. Störquellen für eine effektive Raumdurchströmung sind anzumerken.

Nachfolgend werden hilfsweise die gängigsten Lüftungskonzepte mit ihren wesentlichen Merkmalen zur Entscheidungsfindung aufgelistet.

Nr.	Charakteristische Eigenschaft	Einsatzwerte
1	Lufteintrittsgeschwindigkeit am Durchlass	<5 m/s
2	Luftwechsel im Raum	<12 h ⁻¹
3	Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone	<0,25 m/s
4	Turbulenzgrad in der Aufenthaltszone	30 bis 80 %
5	Zulufttemperatur	<12 K unter Raumtemp.
6	Maximal abführbare Kühllast	bis 100 W/m ²

Tabelle 4: Charakteristische Eigenschaften der Mischlüftung [Prof. Dr.-Ing. Boiting, FH Münster]

Die Lufteinbringung im Heizfall spielt bei der Mischlüftung eine wichtige Rolle. So stellt sich auf Grund des Dichteunterschieds der warmen und kalten Luft in hohen Räumen ab 3,5 m eine Temperaturschichtung ein, wenn keine geeignete Luftfüh-

96 Schiller (2005), S. 15

rung durch die Ausblasrichtung der Auslässe vorgenommen wird. Daher müssen bei Mischluftsystemen in hohen Räumen die Luftauslässe am besten mit elektrischen Verstellvorrichtungen versehen werden, um die Luftrichtung der Temperaturentsprechend zu führen.⁹⁷

Die maximal abführbare Kühllast mit 100 W/m^2 ist bei gleichzeitiger Einhaltung der Behaglichkeit mit der Mischluft möglich. Aus technischer Sicht ist ohne Behaglichkeitsanforderung auch eine höhere Lastabführung möglich.

Nr.	Charakteristische Eigenschaft	Einsatzwerte
1	Lufteintrittsgeschwindigkeit	<0,3 m/s
2	Luftwechsel im Raum	<5 h ⁻¹
3	Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone	<0,2 m/s
4	Turbulenzgrad in der Aufenthaltszone	5 %
5	Zulufttemperatur	<6 K unter Raumtemp.
6	Maximal abführbare Kühllast	bis 40 W/m ²

Tabelle 5: Charakteristische Eigenschaften der Quelllüftung [Prof. Dr.-Ing. Boiting, FH Münster]

Die Funktion der Quelllüftung wird im Heizfall stark eingeschränkt, da die warme Luft direkt nach dem Auslass aufgrund der niedrigen Geschwindigkeit aufsteigt. Im Heizfall ist es daher erforderlich, die Heizlast über einen wassergeführten Wärmeträger in den Raum einzubringen.

Impulslüftung

Bei der sogenannten Impulslüftung wird die Zuluft stoßweise in den Raum eingebracht. Die Abluftabsaugung erfolgt wahlweise über Abluftstränge oder eine zentral liegende Abluftöffnung.

Bei größeren Räumen ist eine weitere Spezialisierung der Impulslüftung erforderlich. Hierbei werden min. zwei Zuluftstränge mit der Abluft abwechselnd durch Umschaltklappen geschaltet. Alternativ findet die Regelung mit variablem Volumenstromregler an den Auslässen statt.

Letztlich wird durch die Impulslüftung nachweislich nur die Durchströmung des Raumes verbessert, das jedoch wesentlich.⁹⁸ Die bessere Durchströmung führt im Allge-

97 Kober (2009), S. 147

98 Kaup (2011), S. 6

meinen zu einer verminderten Luftmenge. Gleichzeitig werden geringere Strömungsgeschwindigkeitsverteilungen erreicht, was zur Komfortverbesserung führt.

Da es sich durchaus um eine umstrittene Belüftungsart handelt, seien hier die wesentlichen Vor- und Nachteile aufgezeigt.

Vorteile:⁹⁹

- gleichmäßig niedrige Strömungsgeschwindigkeit an nahezu jeder Stelle im Raum (Wegfall unangenehmer Zugerscheinungen; Vermeidung von Fallkälte, Steigwärme, Temperatur- und Schadstoffinseln)
- minimalste Temperaturschichtungen auch bei hohen Räumen mit der Folge geringer Transmissionswärmeverluste
- Einhaltung der Temperatur- und Feuchtesollwerte bei häufigem Lastwechsel im Raum
- bedarfsabhängige Steuerung der Außenluft über Luftqualitätsfühler
- Nachrüstung von Bestandsanlagen (1- und 2-Kanalsysteme) bei durchschnittlich zwei Jahren Amortisationszeit
- große Flexibilität in der räumlichen Anordnung der Zu- und Abluftöffnungen sowie Reduzierung der Anzahl der Zu- und Abluftöffnungen und dadurch mehr Freiheit in der architektonischen Gestaltung
- Reduzierung der Gebäudeherstellkosten im Bereich HKL bei hoher Betriebssicherheit und reduziertem Wartungsaufwand aufgrund geringerer Anlagendimensionierung bei gleichem Sollwertprofil
- Ersatz adaptiver Komponenten (statische Heizung, Kühldecken und Betonkernaktivierung) durch entsprechend dimensionierte Klima- und Lüftungsanlagen (bis zwei- bis vierfacher Luftwechsel pro Stunde)
- Einsparungen von 30 % – 70 % der HKL-Energieverbrauchskosten
- Im Teillastbetrieb wird gegenüber der stationären Belüftung eine bessere Durchströmung erreicht, da eine Stoßlüftung erfolgt (höherer Impuls).

Nachteile:

Die genannten Vorteile der Impulslüftung werden durch die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen im Rahmen eines Experimentes sowie einer Strömungssimulation teilweise bestätigt. Das Experiment hat jedoch auch gezeigt, dass bei Einbringung hoher thermischer Lasten keine wesentliche Strömungsreduzierung erfolgt. Daher wird hier der Vorteil auf niedrige thermische Lasten beschränkt. Eine abschließende Beurteilung des thermischen Komforts konnte durch die RWTH nicht vorgenommen werden.¹⁰⁰

99 Kaup (2011), S. 6 ff.

100 Kandzia/Schmidt/Müller (2010)

Ein weiterer erheblicher Nachteil zeigt sich bei Bestandsanlagen, bei denen die vorher berechnete Luftmenge auch weiterhin eingebracht werden muss. Die Dauer der Einbringung wird nun auf min. fünf Impulse/h reduziert. Das heißt, es wird hierdurch eine höhere Luftgeschwindigkeit in den Luftleitungen erreicht. Damit steigen die Druckverluste und mit diesen die elektrische Leistung des Antriebes in der 3. Potenz.

Als Nachteil ist noch zu nennen, dass wenige wissenschaftliche Untersuchungen zur Impulslüftung vorliegen. In vielen Fachbüchern ist die Impulslüftung nicht erwähnt und darüber hinaus ist sie unter Fachleuten umstritten. Zudem ist der Bieterkreis für die zugehörige Regelungstechnik sehr eingeschränkt.

Aktive Kühlsysteme in Kombination mit RLT

Für die Ausbringung von thermischen Lasten kann die kombinierte Verwendung von aktiven Kühlsystemen und der Lüftungsanlage sinnvoll sein. Die Grafik 5 in DIN SPEC 15240:2013-10 gibt hierzu eine Auswahlhilfe bei Betrachtung der energetischen Aspekte für Bürobereiche. Demnach kann mit einem Nur-Luft-System mit einem flächenbezogenen Luftvolumenstrom von $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ eine flächenbezogene maximale Kühlleistung von 90 W/m^2 erreicht werden. Mit einem Luft-Wasser-System kann eine flächenbezogene maximale Kühlleistung von 80 W/m^2 bei einem flächenbezogenen Luftvolumenstrom von $10 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ erreicht werden. Mit einem Kühldeckensystem kann eine flächenbezogene maximale Kühlleistung von 100 W/m^2 bei einem flächenbezogener Luftvolumenstrom von $10 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ erreicht werden.

Neben dem energetischen Einfluss sind auch die Kapital- und Betriebskosten im Vergleich mit einzubeziehen. So können die unten folgenden Kostenkennwerte für den Vergleich genutzt werden. Hierbei gilt als Prämisse, dass es sich um ein Nichtwohngebäude nach Baustandard EnEV 2007 handelt. Es werden ca. 3.500 Betriebsstunden zugrunde gelegt. Der Luftwechsel beträgt das 3–5-fache. Die angenommene Raumhöhe beträgt 2,75 m. Die Kühl- und Heizleistung beträgt ca. 50–150 kW.

Energieart	Raumluftechnische (RLT)-Anlagen						
	Nur-Luft-Anlage z. B. mit VVS		Luft-Wasser-Anlage z. B. mit Kühldecke		Luft-Kältemittel-Anlage VFR-Multisplitanlage		
						Elektro-VRF	Gas-VRF
	Qa	Ke	Qa	Ke	Qa	Ke	Ke
Wärme (Transmission)	40	2,3	Zwischenwerte entsprechend Nur- Luft-Anlage	Ke	36	2,6	1,9
Wärme (Lüftung)	40	2,3			36	2,6	1,9
Kälte	60	4,8			54	2,6	2,3
Hilfsenergie (ELT)	35	8,4			28	6,7	6,7
Normaltarif	175	17,8	156	15,9	154	14,5	12,8
WP-Sondertarif						12,6	

Qa [kWh/m²a] Energieverbrauch; Ke [€/m²a] Energiekosten

Tabelle 6: Kostenvergleich verschiedener Konditionierungssysteme [Trogisch (2015), S. 359]

Energie-Richtpreis (Verbrauch + Fixkosten, oh. MwSt.) für Wärme:

- Erdgas/HK 0,057 €/kWh
- Erdgas WP 0,04 €/kWh

Energie-Richtpreis (Verbrauch + Fixkosten, oh. MwSt.) für Kälte:

- Strom/KWS 0,08 €/kWh
- Erdgas/WP 0,043 €/kWh
- Strom Normaltarif 0,24 €/kWh
- WP-Sondertarif 0,20 €/kWh

4.3.5.2 Filtertechnik

Aus energetischer Sicht sind bei der verwendeten Filtertechnik folgende Einflussgrößen in Augenschein zu nehmen:

1. Durchschnittsgeschwindigkeit der Luftströmung je Filterkasten

Bei einer Standard-Filtertasche (592 × 592 mm) werden hier max. ca. 2.700 m³/h empfohlen.¹⁰¹ Jedoch weichen die Herstellerempfehlungen teilweise deutlich von

101 Kober (2009), S. 64

dieser Zahl nach oben ab. Daher muss die konkrete Filtertasche mit den Herstellerangaben zu Rate gezogen werden.

2. Anfangs- und Enddruckverlust

Aus hygienischer Sicht ist die 1. Filterstufe nach VDI 6022-1:2011-06 min. einmal im Jahr zu wechseln, wenn keine Hygienekontrolle erfolgt. Ein häufigeres Wechseln kann jedoch aus energetischer Sicht wirtschaftlich sein. So hat sich in der Praxis bis zur Filterstufe F7 ein Enddruckverlust von 200 Pa und für die Filterstufen F7 bis F9 ein Enddruckverlust von 300 Pa etabliert.¹⁰¹

Die Lebenszykluskosten können nach der von der Eurovent Association herausgegebenen Empfehlung¹⁰² berechnet werden. Hier werden die Entsorgungskosten mit 1,50 € je Filter angenommen. Der Einkaufspreis eines F7 (Δp_{Mittel} 175 Pa, 2.700 m²/h) Filter kann abweichend mit rund 30,- € kalkuliert werden. Die Stromkosten sind bei durchschnittlichen Konditionen mit 0,10 €/kWh und 3.640 Betriebsstunden festzustellen. Die Dauer des Filtertausches kann mit 10 Min. je Filter bei 60 €/h als auskömmlich gesehen werden. Die treibenden Lebenszykluskosten sind in Abbildung 14 zu erkennen. Hier stechen die Energiekosten deutlich hervor.

Aus der Abbildung 14 sind die Energiekosten mit anteilig rund 70 % herauszuleSEN. Der Anteil der Energiekosten kann sich mit der Varianz der Einkaufskonditionen deutlich nach unten und oben bewegen. Jedoch wird sich im Allgemeinen das dargestellte Verhältnis antreffen lassen. Daher sollte aus wirtschaftlichen Gründen den Vorgaben der DIN EN 13053:2012-02 gefolgt werden und der Austausch der Filterklasse G1 bis G4 bei einer Enddruckdifferenz von 150 Pa, die Filter F5 bis F7 bei 200 Pa und F8 bis F9 bei 300 Pa vorgenommen werden.¹⁰³

Es sind auch Taschenfilter mit besonderer Bauart erhältlich, die durchgehend eine niedrige Druckdifferenz und durch ein höheres Staubspeichervermögen eine besonders lange Standzeit gegenüber Standard-Taschenfilter (Kunstfaserflies) aufweisen. Durch eine Vorfilterschicht und eine Feinfilterschicht in gewellter Nähweise wird die Filterleistung verbessert und so werden die o. g. Vorteile erreicht. Die Mehrkosten betragen ca. 50 % gegenüber dem Standardfilter, was sich jedoch durch die niedrigere Druckdifferenz und die längere Standzeit meist amortisiert (siehe Abbildung 15).

Der niedrigere Druckverlust kann auch erreicht werden, indem einfach mehr Taschen in den Rahmen gesetzt werden und so die Filterfläche vergrößert wird. So wird beim Typ Hi-Flo M7 50+ vom Fa. Camfil die Taschenzahl gegenüber dem Standard um zwei Taschen erhöht.

3. Staubspeichervermögen

102 Recommendation concerning calculation of life cycle cost, 09-2005

103 DIN EN 13053:2012-02, S. 41

4. Filterbauart

Von den Standard-Filtertaschen kann aufgrund besonderer Bausituation abweichen und Paneelfilter oder Kurztaschenfilter verwendet werden, diese haben zwar die gleiche Funktionalität wie Standard-Filtertaschen, jedoch haben letztere i. d. R. einen höheren Energieverbrauch.

5. Filterstufen

Da die Filterstufen unterschiedliche Abscheidungsgrade und Druckverluste haben, ist die eingesetzte Filterstufe grundsätzlich zu überdenken. So kann der versorgte Bereich in der Nutzung verändert worden sein und erfordert u.U. nicht mehr die originalen Filterstufen. Ebenfalls entfällt die 2. Filterstufe (sofern keine andere Norm dies vorschreibt), wenn der Riemenantrieb durch einen direkten Antrieb getauscht wird. Siehe hierzu VDI 6022-1:2011-07.

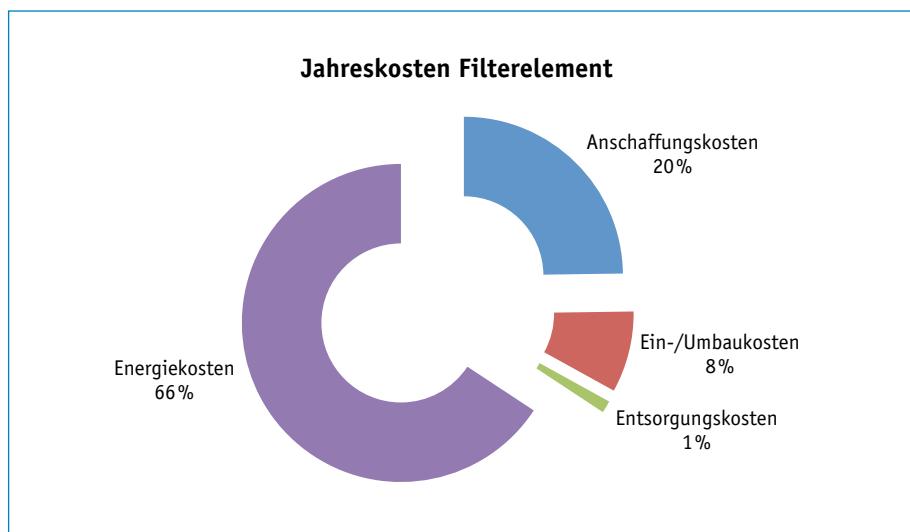


Abbildung 14: Kosten eines F7 Filters bei einer jährlichen Standzeit



Abbildung 15: Schnitt durch die Filtermatte mit erkennbarer Wellenform
[Trox Produktbroschüre Filterelemente (2015), S. 2]

4.3.5.3 Anlagenbetrieb, Anlagenpflege

Auf den regelmäßigen Austausch der Riemen ist zu achten, da verschlissene Riemen den Wirkungsgrad um 5–10% verringern können. Ein Verschleiß ist u.a. auch an einer erhöhten Lautstärke erkennbar.¹⁰⁴

4.3.5.4 Bedarfsgerechte Lüftung

Da versorgte Lüftungsbereiche oftmals keine kontinuierliche stoffliche und thermische Belastung haben, ist es sinnvoll den Einsatz einer bedarfsgerechten Lüftung in Erwägung zu ziehen. Das Einsparpotenzial bei einer bedarfsgerechten Lüftung wird durch Pehnt bei VVS mit bis zu 70% angegeben.¹⁰⁵

Die Einsparpotenziale ergeben sich

- durch einen verringerten Druckverlust, da der Volumenstrom reduziert werden kann.
- durch die verringerte Förderleistung ist auch eine geringere elektrische Förderleistung des Ventilators erforderlich.
- durch den verringerten Volumenstrom steigt die Wärmetauscherleistung. Dieser Sachverhalt wird in der nachfolgenden Grafik dargestellt.

¹⁰⁴ http://www.ztk.at/dl/Energieeffizienz_Ventilatorsystem_klima_aktiv.pdf [Stand: 16.02.2015], S. 9

¹⁰⁵ Pehnt (2010), S. 250

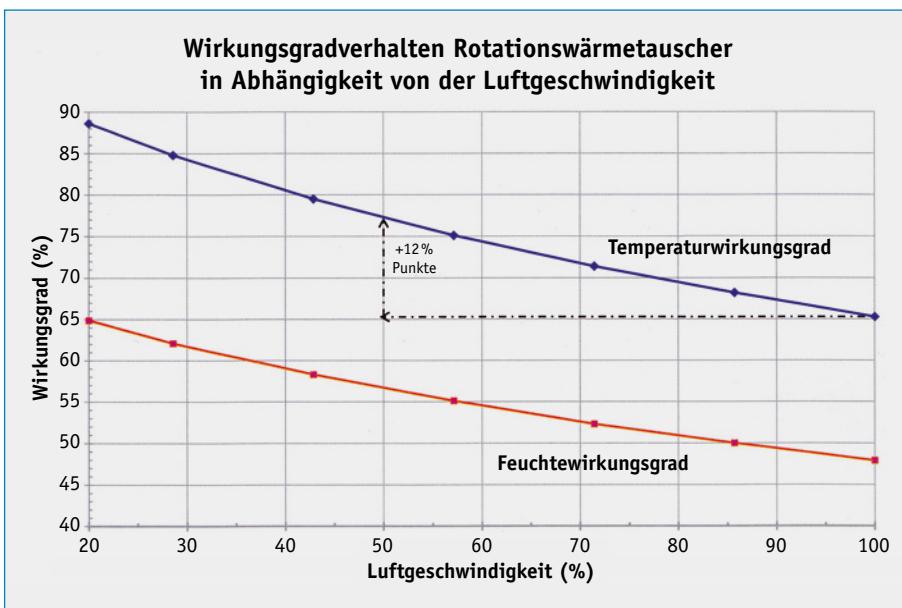


Abbildung 16: Wirkungsgradverlauf eines Rotationswärmetauschers bei reduziertem Luftvolumenstrom [Kober (2009), S. 77]

Die reduzierte Luftmenge darf jedoch nicht zur Verschlechterung der Raumluftqualität bzw. Behaglichkeit führen. Dies könnte durch einen unzureichenden Luftwechsel bzw. eine unzureichende Raumdurchströmung erfolgen. Die Erhaltung der Luftqualität sollte daher mittels Sensoren überwacht werden.¹⁰⁶ Diese Mehrkosten für die MSR-Technik sind der Reduktion bei den Antriebskosten entgegenzuhalten.

Eine weitere Einsatzgrenze bildet die Mindestdrehzahl des Antriebs, da diese zur Eigenkühlung nicht unterschritten werden darf. Die Mindestdrehzahl kann als erste Orientierung mit rund 50 % der Betriebsumdrehung angenommen werden. Die tatsächliche Mindestdrehzahl ist jedoch dringend im Einzelfall beim Hersteller abzufragen.

4.3.5.5 Ventilatorbauform

In diesem Abschnitt werden die Ventilatorbauarten sowie Anwendungsgebiete mit den wesentlichen Vor- und Nachteilen kurz dargestellt, um eine Beurteilung des effektiven Einsatzes der Ventilatorbauform vornehmen und u.U. alternative Bauvarianten vorschlagen zu können.

106 Rietschel/Fitzner (2008)

Bauart	Vorteile	Nachteile
Freilaufendes Rad	keine Antriebsverluste	im Frequenzbereich von 250 Hz erhöhter Schallpegel
	gut reinigbar	Anpassung an Betriebspunkt erfordert einen FU bzw. EC-Antrieb
	kurze Baulänge	hohe statische Druckerhöhung i. d. R. nicht erreichbar
	Ventilatorwirkungsgrade zw. 65 % und 75 %	Ventilatorwirkungsgrade geringer gegenüber Gehäuseventilator
	Einstufige Filterung zulässig, da kein Riemenantrieb	
Gehäuseventilator	gegenüber freilaufenden Ventilatoren höherer Wirkungsgrad (bis ca. 78 %)	meist ist ein verlustbehafteter Riemenantrieb erforderlich
	im Frequenzbereich von 250 Hz geringer Schallpegel	Reinigung ist nur schlecht möglich
	leichtere Betriebspunktanpassung durch Änderung der Übersetzung	die Baulänge ist gegenüber den Freiläufern größer
	geeignet für hohe statische Druck-erhöhung	eine den Antrieb nachgeschaltete Filterstufe ist wegen dem Abrieb erforderlich (nicht bei Flach-riemen)
	kann mit und ohne FU betrieben werden	
	kann auch direkt angetrieben werden	

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Anwendungsvorteile unterschiedlicher Ventilatorbauformen

4.3.5.6 Ventilatoreinheit

Der Gesamtwirkungsgrad des Systems setzt sich nach DIN EN 13799:2007-09 zusammen aus:¹⁰⁷

$$\eta_{tot} = \eta_{Vent} \times \eta_{Mot} \times \eta_{Antr} \times \eta_{FU} \quad (32)$$

107 DIN EN 13779:2007-09, S. 25

Dieser wird in der Literatur auch erweitert zu^{108 109}:

$$\eta_{tot} = \eta_{Vent} \times \eta_{Mot} \times \eta_{Antr} \times \eta_{Einbau} \times \eta_{FU} \quad (33)$$

η_{Vent} Ventilator (Schaufelrad)

η_{Mo} Antriebsmotor

η_{Antr} Antriebsart

η_{Einbau} Einbausituation in der RLT-Anlage

η_{FU} Wenn vorhanden, ist noch der Wirkungsgrad des Frequenzumrichters bzw. Regelsystems hinzuzuzählen

Gesamtwirkungsgrad des Systems η_{tot}

Der typische Wert liegt bei 0,55–0,65, bezogen auf die statische Druckerhöhung.¹¹⁰ Hierbei hat jede Anlage ihren optimalen Betriebspunkt und fällt davor und dahinter stetig ab. In der DIN EN 13799:2007-09 wird der Wirkungsgrad mit 50/55/60 niedrig/normal/hoch angegeben.¹¹¹

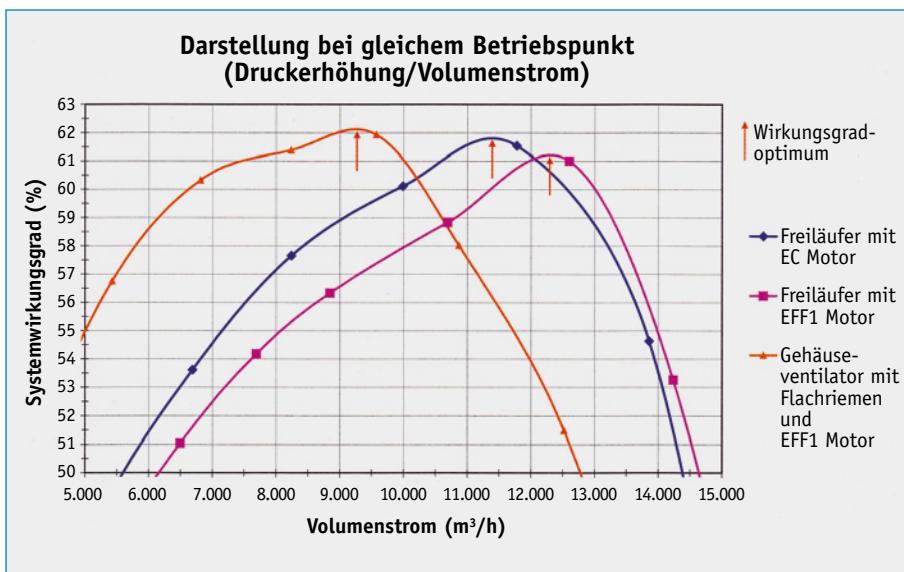


Abbildung 17: Systemwirkungsgradkurven diverser Ventilatoreinheiten [Kober (2009), S. 105]

108 Pehnt (2010), S. 250

109 Kober (2009), S. 96

110 Kober (2009), S. 100

111 DIN EN 13779:2007-09, S. 68

Ventilator η_{Vent}

Radialventilatoren mit vorwärtsgekrümmten Schaufeln können mit 0,60–0,73, Radialventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln können mit ca. 0,88 angenommen werden.¹¹²

Antriebsmotor η_{Mo}

Ein typischer Wert aktueller Bauformen ist 0,85–0,94.

Der Wirkungsgrad ist von der Nennleistung des Antriebs abhängig. Für nähere Ausführungen zu Antriebsmotoren siehe 4.3.4.2 Pumpenantrieb.

Antriebsart η_{Antr}

Bei der Antriebsart stehen der Lüftungstechnik drei Bauformen zur Verfügung.

- **Direktantrieb**

Das Konstruktionsmerkmal eines direkt angetriebenen Ventilators ist, dass der Antrieb direkt mit dem Laufrad verbunden ist. Vorteilhaft ist, dass hierdurch Reibungsverluste vermieden werden. Der Wirkungsgrad kann daher praktisch mit 100 % angesetzt werden.

Die Umrüstmöglichkeit von riemengetriebenen Gehäuseventilator auf direkt angetriebenen Gehäuseventilator ist eingeschränkt, da beim Gehäuseventilator der Antrieb seitlich angebracht wird und die Gerätekammer hierzu auf Grund der Bau-länge meist nicht ausreichend groß ist. Eine Lösung hierfür ist, dass der Antrieb außerhalb der Gerätekammer angebracht wird. Weiterhin ist zu vermeiden, dass die Antriebseinheit beidseitig nicht zu sehr beschränkt wird, da hierdurch die Zugänglichkeit zum Antrieb erschwert und die Ansaugung behindert wird. Letzteres führt zudem zu erheblichen Wirkungsgradverlusten.

- **Keilriemenantrieb**

Das Konstruktionsmerkmal eines Keilriemenantriebs sind die Keilriemen, die den Antrieb und das Laufrad durch Keilriemenscheiben verbinden. Durch Variation der Scheibendurchmesser kann die Übersetzung und somit die Drehzahl angepasst werden. Der Wirkungsgrad ist abhängig von der Motorgröße. Jedoch ist in jedem Fall ein Flachriemengetriebener Antrieb bzgl. des Wirkungsgrades vorteilhafter gegenüber einem Keilriemenantrieb (siehe Abbildung 18).

- **Flachriemen**

Das Konstruktionsmerkmal eines Flachriemenantriebs ist identisch mit dem Keilriemenantrieb. Der Flachriemen ist jedoch fünfmal langlebiger als der Keilriemen, zudem kann eine zweite Filterstufe entfallen. Die Flachriemenkonstruktion erfordert aber auch eine erhöhte Montagesorgfalt gegenüber dem Keilriemenantrieb.

¹¹² Baumgarth/Hörner/Reeker (2003), S. 275

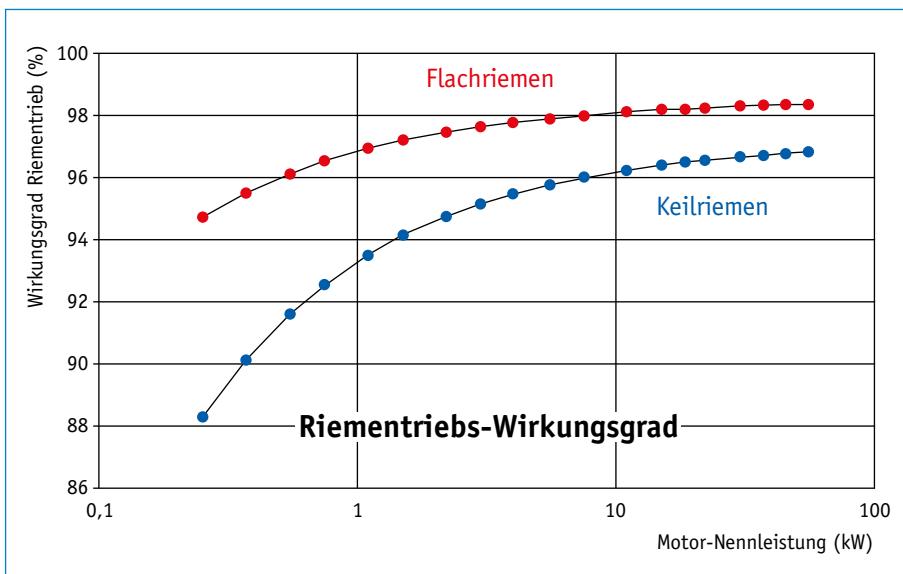


Abbildung 18: Gegenüberstellung Riemenwirkungsgrad in Abhängigkeit der Motorleistung [Kober (2009), S. 101]

Einbausituation in der RLT-Anlage η_{Einbau}

Der Abstand zwischen Ansaugöffnung und Gerätewand sollte mindestens den halben Laufraddurchmesser betragen. Bei Nichtbeachtung kann der Wirkungsgradverlust bis zu 50 % betragen.¹¹³

Darstellung	$L = \text{Abstand zw.}\newline\text{Einsaugquerschnitt}\newline\text{und Wand}$	ξ_{syst}
	$0,75 \times D$	0,25
	$0,5 \times D$	0,4
	$0,4 \times D$	0,6
	$0,3 \times D$	0,8
	$0,2 \times D$	1,2

Tabelle 8: Einbaufaktoren bei Einbau in Kasten [Wagner (2007), S. 149]

113 Pehnt (2010), S. 250

Bei freistehenden Ventilatoren sind aus strömungstechnischer Sicht ausreichende An- und Ausströmstrecken zu berücksichtigen, da bei Nichtbeachtung hohe Wirkungsgradverluste verursacht werden können.

Der Anlagen-Einbaufaktor kann berechnet werden mit:¹¹⁴

$$\Delta p_{syst} = \xi_{syst} \times p_{dN} \quad (34)$$

Δp_{syst}	Einbaudruckverlust	[Pa]
ξ_{syst}	Einbaufaktor (Druckverlust-Beiwert)	
p_{dN}	Dynamischer Druck im saug- bzw. druckseitigen Anschluss-Strömungsquerschnitt des Ventilators	[Pa]

$$p_{dN} = \frac{\rho}{2} \times v^2 \quad (35)$$

ρ	Dichte der Luft	[kg/m ³]
v	Luftgeschwindigkeit am Strömungsquerschnitt des Ventilators, der sich aus der Division des Volumenstroms und der kreisrunden Fläche ergibt.	[m/s]

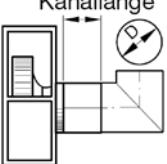
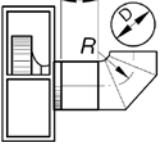
Bezeichnung	R/D bzw. R/H	Kanallänge		
		0	2D ¹¹⁵	5D ¹¹⁵
Einfaches 90°-Kniestück				
	-	3,0	2,0	1,0
90°-Kniestück mit 3 Segmenten				
	0,5	2,5	1,6	0,8
	0,75	1,6	1,0	0,5
	1,0	1,2	0,7	0,35
	2,0	1,0	0,6	0,35
	3,0	0,8	0,5	0,3

Tabelle 9: Widerstandsbeiwert bei verschiedenen Einbausituationen
[Wagner (2007), S. 147 – 148]

114 Wagner (2007), S. 147

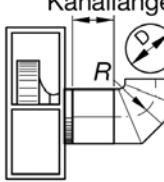
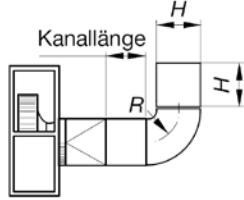
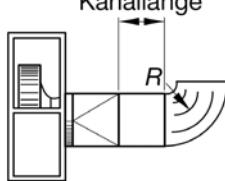
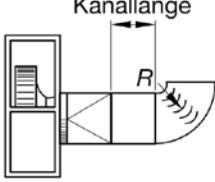
Bezeichnung	R/D bzw. R/H	Kanallänge		
		0	2D ¹¹⁵	5D ¹¹⁵
90°-Kniestück mit 4 Segmenten				
	0,5	1,8	1,0	0,6
	0,75	1,4	0,8	0,4
	1,0	1,2	0,7	0,35
	2,0	1,0	0,6	0,35
	3,0	0,7	0,4	0,25
Übergangsstück und 90°-Krümmer mit Rechteckquerschnitt ohne Leitbleche				
	0,5	2,5	1,6	0,8
	0,75	2,0	1,2	0,7
	1,0	1,2	0,7	0,35
	2,0	0,8	0,5	0,3
Übergangsstück und 90°-Krümmer mit Rechteckquerschnitt und 3 langen Leitblechen				
	0,5	0,8	0,5	0,3
	1,0	0,6	0,35	0,2
	2,0	0,3	0,25	0,15
Übergangsstück und 90°-Krümmer mit Rechteckquerschnitt und mehreren kurzen Leitblechen				
	0,5	0,8	0,5	0,3
	1,0	0,6	0,35	0,2
	2,0	0,3	0,25	0,15

Tabelle 9: (Fortsetzung) Widerstandsbeiwert bei verschiedenen Einbausituationen
[Wagner (2007), S. 147 – 148]

115 D berechnet sich beim Rechteckkanal mit $D = \frac{2 \times H}{\sqrt{\pi}}$

Bei engen Platzverhältnissen bietet sich die Verwendung von Saugtaschen an.

Darstellung	Typ	A	B	C	ζ_{syst}
	1	$2,0 \times D$	$0,7 \times D$	$0,35 \times D$	0,4
	1	$1,4 \times D$	$1,0 \times D$	$0,5 \times D$	0,4
	2	$2,0 \times D$	$0,7 \times D$	$0,35 \times D$	0,9
	2	$1,4 \times D$	$1,0 \times D$	$0,5 \times D$	0,9

Tabelle 10: Widerstandsbeiwerte bei Verwendung von Saugtaschen [Wagner (2007), S. 148]

Weiterhin sind auch die druckseitigen Einbauverluste zu beachten und nach Möglichkeit gering zu halten. Hierzu ist die wirksame Kanallänge (L_E) maßgebend. Diese wird für Austrittsgeschwindigkeiten bis 12 m/s mit $2,5 \times$ Nennquerschnitt-Durchmesser definiert. Bei höheren Austrittsgeschwindigkeiten ist je 5 m/s ein Durchmesser hinzuzuzählen. Kanäle sind auf den gleichwertigen hydraulischen Durchmesser umzurechnen.¹¹⁶

Bei Kanalanschlussmaßen, die vom Aufbau eines Prüfstandes abweichen, muss bereits ein Einbaufaktor berücksichtigt werden. Hierbei ist die Fläche A_N die Kanalfläche am Prüfstand.

Darstellung	A_E/A_N	L_E			
		12 %	25 %	50 %	100 %
	0,4	1,0	0,4	0,2	-
	0,5	1,0	0,4	0,2	-
	0,6	0,7	0,35	0,15	-
	0,7	0,4	0,15	-	-
	0,8	0,25	0,1	-	-
	0,9	0,15	-	-	-
	1,0	-	-	-	-

Tabelle 11: Einbaufaktoren ζ_{syst} druckseitig vom Ventilator [Walter (2007), S. 149/150]

116 Wagner (2007), S. 149

Darstellung	A_E / A_N	Kniestück-Position	L_E				
			0 %	12 %	25 %	50 %	100 %
 Position D Position C Position B Position A Eintritt	0,4	A	3,0	2,5	1,8	0,8	Kein Einbaufaktor
	0,4	B	4,5	3,8	2,5	1,2	
	0,4	C	5,5	4,5	3,0	1,6	
	0,4	D	5,5	4,5	3,0	1,6	
	0,5	A	2,0	1,6	1,2	0,6	
	0,5	B	2,8	2,3	1,8	0,8	
	0,5	C	3,8	2,8	2,3	1,0	
	0,5	D	3,8	2,8	2,3	1,0	
	0,6	A	1,6	1,4	1,0	0,4	
	0,6	B	2,0	1,6	1,2	0,6	
	0,6	C	2,8	2,3	1,8	0,8	
	0,6	D	2,5	2,0	1,4	0,7	
	0,7	A	0,7	0,6	0,4	0,2	
	0,7	B	1,0	0,8	0,6	0,3	
	0,7	C	1,4	1,2	0,8	0,35	
	0,7	D	1,2	1,0	0,7	0,35	
	0,8	A	0,8	0,7	0,5	0,25	
	0,8	B	1,2	1,0	0,7	0,35	
	0,8	C	1,6	1,4	1,0	0,4	
	0,8	D	1,4	1,2	0,8	0,35	
	0,9	A	0,7	0,6	0,4	0,2	
	0,9	B	1,0	0,8	0,6	0,3	
	0,9	C	1,2	1,0	0,7	0,35	
	0,9	D	1,0	0,8	0,6	0,3	
	1,0	A	1,0	0,8	0,6	0,3	
	1,0	B	0,7	0,6	0,4	0,2	
	1,0	C	1,0	0,8	0,6	0,3	
	1,0	D	1,0	0,8	0,6	0,3	

Für zweiseitig saugende Ventilatoren und Kniestückposition B oder D soll der Mittelwert von den Einbaufaktoren für B und D verwendet werden.

Tabelle 11: (Fortsetzung) Einbaufaktoren ξ_{syst} druckseitig vom Ventilator [Wagner (2007), S. 149/150]

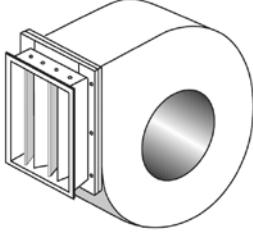
Darstellung	A_E/A_N	Einbauverlust Δp_{sys}
	0,4	$7,5 \times \Delta p_{\text{klappe}}$
	0,5	$4,8 \times \Delta p_{\text{klappe}}$
	0,6	$3,3 \times \Delta p_{\text{klappe}}$
	0,7	$2,4 \times \Delta p_{\text{klappe}}$
	0,8	$1,9 \times \Delta p_{\text{klappe}}$
	0,9	$1,5 \times \Delta p_{\text{klappe}}$
	1,0	$1,2 \times \Delta p_{\text{klappe}}$

Tabelle 11: (Fortsetzung) Einbaufaktoren ξ_{sys} druckseitig vom Ventilator [Wagner (2007), S. 149/150]

Frequenzumformer η_{FU}

Der Wirkungsgradverlust durch den Einsatz eines Frequenzumformers beträgt ca. 3 %. Weiterhin sind Motorwirkungsgradverluste von bis zu 4 % zu beachten, die durch Verwendung von verschiedenen Betriebsfrequenzen entstehen.

4.3.5.7 Ventilatorsteuerung

Die Leistungsregelung des Ventilators erfolgt/erfolgte in der TGA üblicherweise durch die zehn nachfolgend genannten Möglichkeiten. Die Leistungsregelung der Punkte 1.–6. und 8. kann auch bei Pumpen sinngemäß angewendet werden, daher erfolgt die Ausführung der Möglichkeiten in allgemeiner Form, ohne Spezifikation auf Ventilatoren bzw. Pumpen.

Da die mechanischen Regelungen aufgrund der energetischen Unwirtschaftlichkeit an Bedeutung verlieren, wird nachfolgend nur die Frequenzsteuerung näher beschrieben. Vergleiche hierzu auch die Gegenüberstellung in der Abbildung 19.

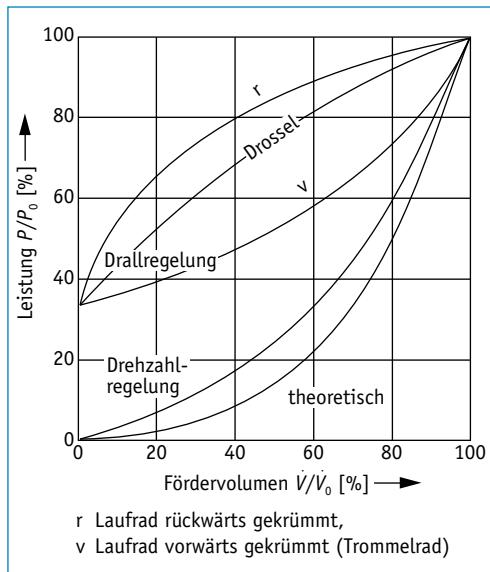


Abbildung 19: Gegenüberstellung des erforderlichen Leistungsbedarfs bei mechanischer und elektrischer Regelung [Walter (2007), S. 134]

1. Polumschaltbarer Motor (getrennte Wicklung)

Hierbei werden getrennte Wicklungen im Ständer aufgewickelt. Meist sind drei verschiedene Polpaarzahlen vorhanden, da der Schaltungsaufwand sonst zu aufwendig ist. Hierdurch sind aus den Drehzahlen 500/600/750/1000/1500/3000 min^{-1} drei Stufen wählbar.¹¹⁷

2. Polumschaltbarer Motor (Dahlander-Schaltung)

»Vor allem in der Raumlufttechnik ist die Dahlander-Schaltung als gebräuchliche Form zu finden. Eine Umschaltung der Motorwicklungshälften verdoppelt die Polpaarzahl und halbiert damit die Drehzahl. Es sind nur Drehzahlstufen wie 3000/1500 min^{-1} , 1500/750 min^{-1} oder 1000/500 min^{-1} realisierbar.«¹¹⁷

3. Mehr-Stufen-Schaltung

Hierbei erfolgt die Schaltung der speziell pol- und spannungsumschaltbaren Wicklungen in Reihe, parallel sowie in Kombination. Es kann in Stern und Dreieck geschaltet werden. Hierdurch lässt sich eine große, jedoch begrenzte Variation erreichen.¹¹⁷

4. Mehr-Stufen-Schaltung über Transformatoren

Bei einem spannungssteuerbaren Antrieb bis ca. 2 kW wird häufig die Drehzahlregelung über einen bis zu sieben Stufen schaltbaren Transistor realisiert.

¹¹⁷ VDI 6014, 2008-01, S. 7

5. Stern-Dreieck-Schaltung

Durch Absenkung der Strangspannung kann die Leistung eines spannungssteuerbaren Antriebes um ca. 1/3 gesenkt werden.¹¹⁸ Diese Schaltung findet bei großen Anrieben auch häufig für den sanften Anlauf Verwendung.

6. Drosselung

Eine triviale, jedoch nicht energiesparende Methode der Leistungsanpassung ist die Drosselung des Durchflusses durch Stellorgane.

So erfolgt bei Drosselung des Volumenstroms um 50% eine Leistungsreduzierung auf nur 75 % des Nennwertes. Gleichzeitig steigt der Druck auf 125 % seines Nennwertes.¹¹⁹

7. Übersetzung bei Riemenantrieb

Hierbei wird die Mechanik der Übersetzung genutzt.

8. Drahregelung

Durch rundum verstellbare Schaufeln wird vor dem Ventilator ein Vordrall erzeugt. Hierdurch erfolgt ein Leistungsabfall des Ventilators. Die Verwendung erfolgt bei großen Ventilatoren in einem Regelbereich von 100 % – 50 %.¹²⁰

9. Parallel- und Reihenschaltung

Bei großen Luftmengen und langen Betriebszeiten in Teillast kann die Parallel- bzw. Reihenschaltung sinnvoll angewendet werden. Hierbei wird in erster Linie ein Ventilator ab- und zugeschaltet. Hierdurch werden die Ventilatoren dauerhaft im Wirkoptimum betrieben. Sollte es erforderlich sein, kann der verbliebene Ventilator zudem durch einen FU geregelt werden.

10. Frequenzumrichter (FU)

Vorteile des FU sind:¹²¹

- Hohes Energieeinsparpotenzial

Da Anlagen oftmals überwiegend im Teillastbetrieb laufen, ist eine bedarfsgerechte Anpassung der Leistung mit geringen Verlusten möglich. Insbesondere kann ein verbesserter Wirkungsgrad trotz Teillastbetrieb bei Anrieben ab 11 kW gegenüber direkt am Netz betriebenen Anrieben festgestellt werden.¹²²

- Anlaufstrombegrenzung

Beim ungeregelten Anschalten von Anrieben kann ein 6- bis 8-facher Nennstrom verbraucht werden. Bei Pumpen liegt der benötigte Energieverbrauch in der Regel bei 5 – 10 % des Gesamtverbrauchs.

¹¹⁸ VDI 6014, 2008-01, S. 8

¹¹⁹ http://www.ztk.at/dl/Energieeffizienz_Ventilatorsystem_klima_aktiv.pdf [Stand: 18.02.2015], S. 7

¹²⁰ Wagner (2007), S. 133

¹²¹ Danfoss Broschüre (2011), S. 7

¹²² <http://www.danfoss.com/Germany/BusinessAreas/DrivesSolutions/ Energieeinsparung/Energetische +Vorteile+von+Drehzahlregelungen.htm> [Stand: 29.12.2014]

- Reduzierter Anlagenverschleiß

Durch den sanften An- und Auslauf des Antriebes werden Stöße vermieden. Hierdurch wird die kurzzeitige Belastung des Antriebsstranges, der Rohrleitungen und der Dichtungen vermieden. Durch geringere Umdrehungen wird der Verschleiß der Lauflager verringert.

- Optimale Betriebspunktanpassung

Durch die stufenlose Regelung kann der Betriebspunkt der Anlage in gewissen Grenzen exakt angefahren werden.

- Erweiterter Regelbereich

Insofern der Antrieb und der FU hierzu ausgelegt sind, ist ein Betrieb im übersynchronen Bereich (Ausgangsfrequenz $> 50 \text{ Hz}$) möglich. Hierdurch ist eine Leistungssteigerung möglich.

- Geringere Geräuschentwicklung

Durch die Leistungsregelung wird der Antrieb laufheimer betrieben und Strömungsgeräusche werden reduziert.

- Erhöhte Lebensdauer

Durch den reduzierten Verschleiß und die Vermeidung von ungünstigen Betriebssituationen wird die allgemeine Lebensdauer erhöht.

- Ein nachträglicher Einbau ist möglich.

- Anpassung $\cos \varphi$

Die Blindstromleistungsaufnahme wird bei vielen FU korrigiert. Hierdurch können Kompensationsanlagen entlastet bzw. kleiner dimensioniert werden.

- Drehrichtung der Laufräder

Im Rahmen der Installation werden häufig die Phasen an den Antrieb falsch angeschlossen, hierdurch hat das Laufrad bei der Inbetriebnahme eine umgekehrte Laufrichtung. Durch den Anschluss eines FU wird dieser Fehler vermieden.

Den zahlreichen Vorteilen eines FU stehen Investitionskosten gegenüber. Zudem muss der Antrieb für den Betrieb mit einem FU geeignet sein. Hierbei ist der erhöhte Isolations-, Lager- und thermischen Beanspruchung Rechnung zu tragen. Die Eignung des Antriebes muss bei Neuerstellung sowie Nachrüstung eines FU eigens mit dem Hersteller abgesprochen werden.

Weiterhin sind Motorwirkungsgradverluste von bis zu 4% zu beachten, die durch Verwendung von verschiedenen Betriebsfrequenzen entstehen. Siehe hierzu die nachfolgende Abbildung 20.

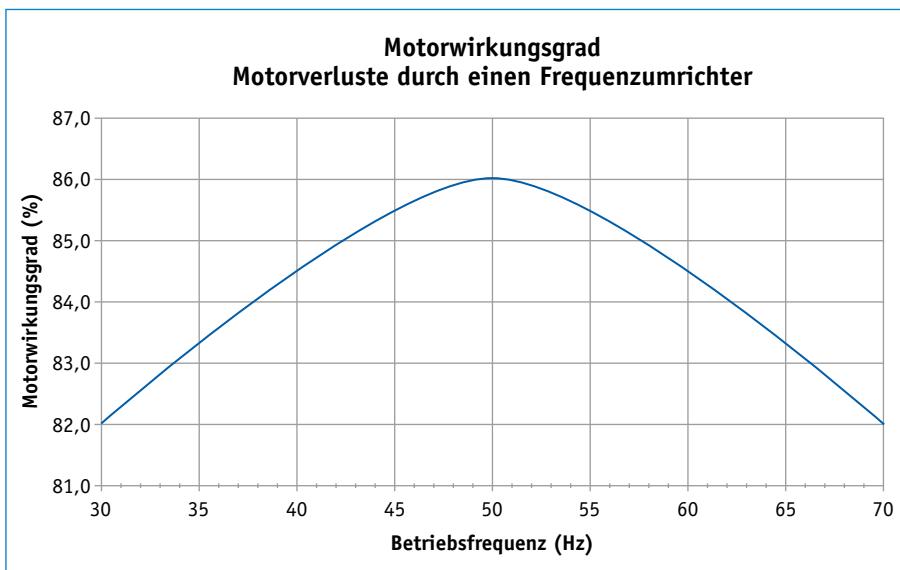


Abbildung 20: Darstellung der Motorverluste in Abhängigkeit der Betriebsfrequenz
[Kober (2009), S. 103]

4.3.5.8 Regelstrategie

Taupunktregelung – direkte Feuchteregelung

Bei älteren Klimaanlagen ist die Taupunktregelung eine gängige Regelstrategie. Hierbei wird die Außenluft, sofern außerhalb des Solls, über den Taupunkt in den Sollzustand gebracht. Die Kühlung arbeitet dabei oftmals gegen die Erhitzung und umgekehrt.

Eine energetisch bessere Alternative stellt die direkte Feuchteregelung dar.¹²³ Hierbei wird der Sollzustand ohne Anfahren des Taupunktes auf minimalem Wege erreicht. Ein Gegeneinanderarbeiten des Kühlers und Erhitzers wird vermieden.

Sollwertpunkt – Sollwertfeld

Eine weitere, energetisch günstige Regelstrategie ist die Definition eines Sollwertfeldes anstelle eines fixen Sollwertpunktes.

Schiller stellt fest, dass Konstanz und Präzision in der Vergangenheit als wichtiges Komfortkriterium gesehen worden sind. Heute wird jedoch eine höhere Akzeptanz der Nutzer für gleitende Temperaturen sowie schwankende Temperaturen und Feuchte-

123 Rietschel/Fitzner (2008), S. 83

bänder festgestellt.¹²⁴ Hierbei wird die Außenluft nur bis an den Rand des vorgegebenen Sollwertfeldes geführt. Die hierdurch erzielbaren Einsparungen belaufen sich, je nach Größe des Sollwertfeldes gegenüber der Regelung nach einem Sollwertpunkt auf bis zu 60%.¹²⁵

Praktischerweise muss bei der Definition von Sollwertfeldern die Regelabweichung der Messstrecke beachtet werden, da diese das Feld vergrößern bzw. verkleinern.

4.3.5.9 Befeuchtung

Zur Befeuchtung stehen drei grundsätzliche Möglichkeiten zur Verfügung:

- Verdunstung
- Zerstäubung
- Verdampfung

Weiterhin unterscheiden sich die Betriebsarten bei den drei Möglichkeiten. Die nachfolgende Tabelle gibt eine erste Entscheidungshilfe bei der Auswahl des Befeuchtungssystems, um dem Betreiber Alternativen vorschlagen zu können. Die wirtschaftlichste und energiegünstigste Befeuchtungsart muss im Detail anhand der Anforderungen und der örtlichen Gegebenheiten festgestellt werden.

Nr.	Befeuchterart	Aufwand Wasseraufbereitung	Verlustwasser	Wartung	Investition	Hygiene	Betriebskosten Befeuchtung inkl. Hilfsenergie
1	Kontakt- oder Rieselbefeuchter	niedrig	hoch	hoch	niedrig	niedrig	mittel
2	Luftwässcher, Umlaufsprühbefeuchter	niedrig	hoch	hoch	hoch	mittel	mittel
3	Hochdruckdüsenbefeuchter	hoch	niedrig	niedrig bis mittel	hoch	hoch	niedrig
4	Ultraschallbefeuchter	hoch	niedrig	mittel	hoch	mittel	hoch
5	Elektrodampfbefeuchter	mittel	niedrig	mittel	mittel	hoch	hoch

Tabelle 12: Vergleich Befeuchtungssysteme [Kober (2009), S. 115]

124 Schiller (2005), S. 15

125 Rietschel/Fitzner (2008), S. 83

4.3.5.10 Feuchterückgewinnung

Sofern eine Befeuchtung der Luft erfolgt, ist eine Feuchterückgewinnung in die Überlegungen einzubeziehen. Hier stehen zwei mögliche Wärmetauscher (Umschaltspeicher, Rotationswärmetauscher) zur Verfügung, die diese Leistung erbringen. Siehe hierzu auch das nachfolgende Kapitel.

4.3.5.11 Wärmerückgewinnung (WRG)

Durch die EnEV 2014 § 15 (5) wird eine Wärmerückgewinnung bei Neuerstellung für Lüftungsanlagen mit $\leq 4.000 \text{ m}^3/\text{h}$ sowie eine Kälteleistung $\leq 12 \text{ kW}$ vorgeschrieben.¹²⁶ Die Wärmerückgewinnung muss hierbei mindestens der Wärmerückgewinnungsklasse H3 nach DIN EN 13053:2007-11 entsprechen, was einem Wirkungsgrad von $\geq 55\%$ gleichkommt.

Im Rahmen der energetischen Inspektion können Anlagen ohne WRG bzw. mit einer uneffektiven WRG angetroffen werden. Hierbei ist die Nachrüstung einer WRG in Betracht zu ziehen.

Der Wärme- bzw. Kälterückgewinnung ist jedoch der energetische Mehraufwand des Antriebs aufgrund des zusätzlichen Druckverlusts entgegenzuhalten. Der Druckverlust ist je nach WRG System unterschiedlich hoch und in der Regel mit 300 Pa noch wirtschaftlich sinnvoll zu betreiben. Dieser Mehraufwand ist jedoch in der Regel gegenüber der Heizenergieeinsparung sehr viel geringer. Die nachfolgende Berechnung zeigt die Lebenszykluskosten für ein $10.000 \text{ m}^3/\text{h}$ Lüftungsgerät mit verschiedenen Wärmerückgewinnungssystemen über einen Betrachtungszeitraum von 12 h/Tag und 10 Jahren.

¹²⁶ Hiervon kann bei Modernisierung gem. EnEV § 1 (1) »... unter Beachtung des gesetzlichen Grund-satzes der wirtschaftlichen Vertretbarkeit ...« abgewichen werden.

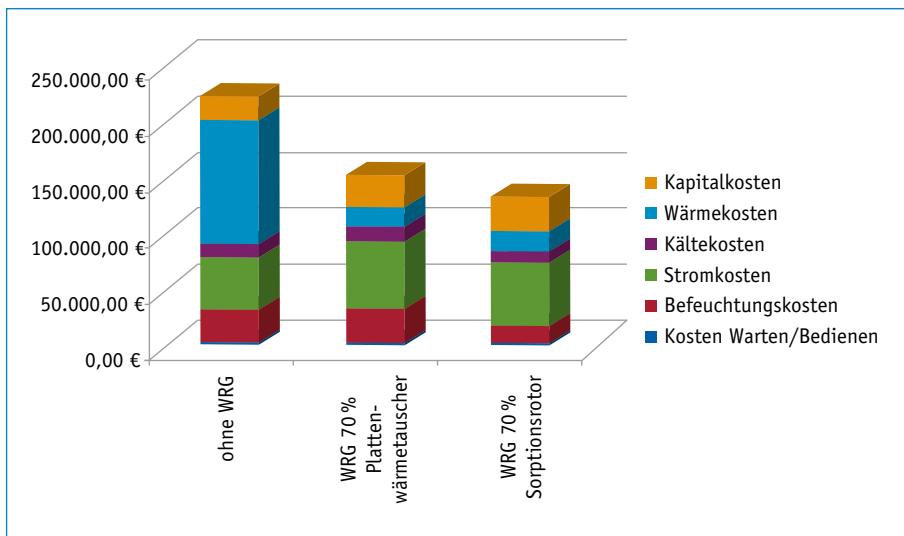


Abbildung 21: Darstellung der Lebenszykluskosten an einem Beispiel-Lüftungsgerät [Kober (2009), S. 75]

In der VDI 3803-5:2013-04 (ehemals VDI 2071:1997-12) sind alle gängigen Wärmerückgewinnungssysteme beschrieben und können zur Gegenüberstellung im Inspektionsbericht herangezogen werden.

Plattenwärmetauscher

Die Rückwärmezahl von Plattenwärmetauschern liegt im Bereich von 0,4 bis 0,8. Bei dieser Bauart ist aufgrund von Kondensat im Winter auf eine Vereisung ab ca. -5°C zu achten.¹²⁷ Gegenstromkanalwärmetauscher können auch höhere Werte von bis zu 0,9 erreichen. Die interne Dichtigkeit variiert herstellerabhängig, so gibt Fa. Hoval einen Wert von max. 0,1% bei 250 Pa an.¹²⁸

Wärmerohr (Röhrenwärmetauscher)

Hier können die Wärmetauscher mit kapillarer Funktion (Rückwärmezahl 0,5–0,8) und mit Funktion durch Schwerkraft (Rückwärmezahl 0,2–0,4) unterschieden werden. Leckagen sind möglich, können jedoch sehr gering gehalten werden. Eine Kälterückgewinnung ist nicht möglich. Hilfsenergie ist nicht erforderlich. Beim senkrechten Einbau muss darauf geachtet werden, dass der kalte Luftstrom oben liegt, damit die warm aufsteigende Flüssigkeit die Wärme abgeben kann.¹²⁹

127 Peht (2010), S. 79

128 Hoval GmbH (2012)

129 VDI 3803-5:2013-04

Kreislaufverbundsystem (KVS)

Bei Kompaktwärmetauschern beträgt die Rückwärmezahl 0,3–0,5. Diese wird bei Gegenstromschichtwärmetauschern auf 0,7–0,8 erhöht. Der besondere Vorteil liegt in der Leckagefreiheit des Systems.

Zur Erreichung einer hohen Rückwärmezahl ist die Verschaltung der Wärmetauscherrohre in Gegenstrom auszuführen.

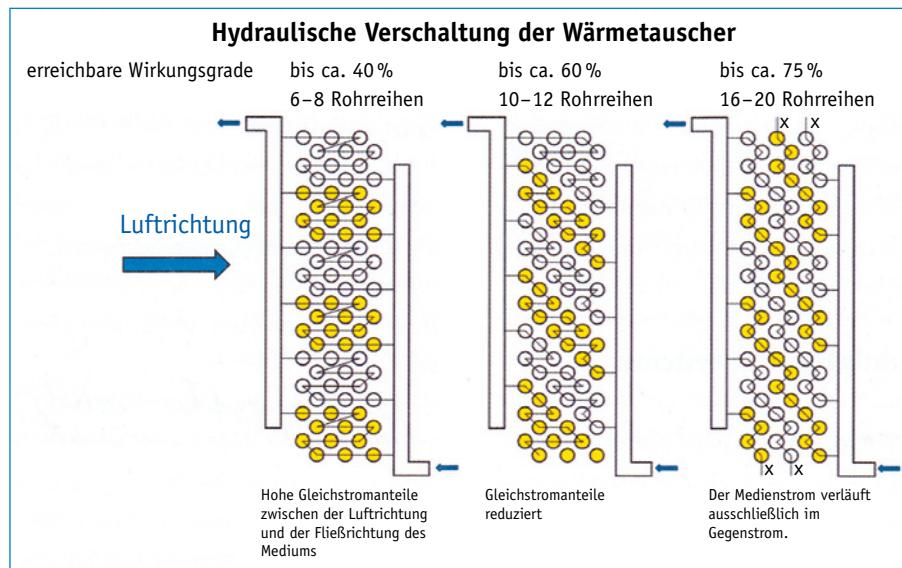


Abbildung 22: Darstellung der Verschaltung der Wärmetauscherrohre in Gegenstrom
[Kober (2009), S. 86]

Der Wärmerückgewinnung sind die Betriebskosten für eine Pumpe, Fühler und ein 2- oder 3-Weg-Ventil entgegenzustellen. Das Glykolgemisch wird auf min. -10°C ausgelegt. Bei einer Vorlufttemperatur von $>3^{\circ}\text{C}$ ist auf die Gefahr der Einfrierung zu achten. Es besteht die Möglichkeit, den Frostschutz über die Temperatur oder über den Differenzdruck zu steuern. Für einen besseren Wärmerückgewinnungsgrad bei trockener Abluft ist die Differenzdrucksteuerung zu bevorzugen. Hierbei wird bei steigendem Differenzdruck der Luft der Wassermassenstrom über das 3-Weg-Ventil erhöht, bis der Differenzdruck auf einen Normalwert sinkt.¹³⁰

Bei Nachrüstung ist auf evtl. erforderliche Filter und auf Leistungsreserven der Ventilatoren zu achten.

130 Kober (2009), S. 82–85

Darüber hinaus ist auf ein angemessenes Verhältnis des Wasser- und Luftstroms zu achten. Die spez. Wärmekapazität von Luft (ca. 1,01 kJ/kgK) gegenüber Wasser (ca. 3,8 kJ/kgK) unterscheidet sich um den Faktor 3,76. Die Dichten von Luft (ca. 1,2 kg/m³) und Wasser (ca. 1.000 kg/m³) unterscheiden sich zudem um den Faktor 800. Daher sollten bei der Bestimmung des Massenstromverhältnisses diese physikalischen Kenngrößen berücksichtigt werden. Hierbei sollte zur Erreichung der optimalen Rückwärmezahl der Wassermassenstrom ca. $\frac{1}{4}$ des Luftmassenstroms betragen.¹³⁰

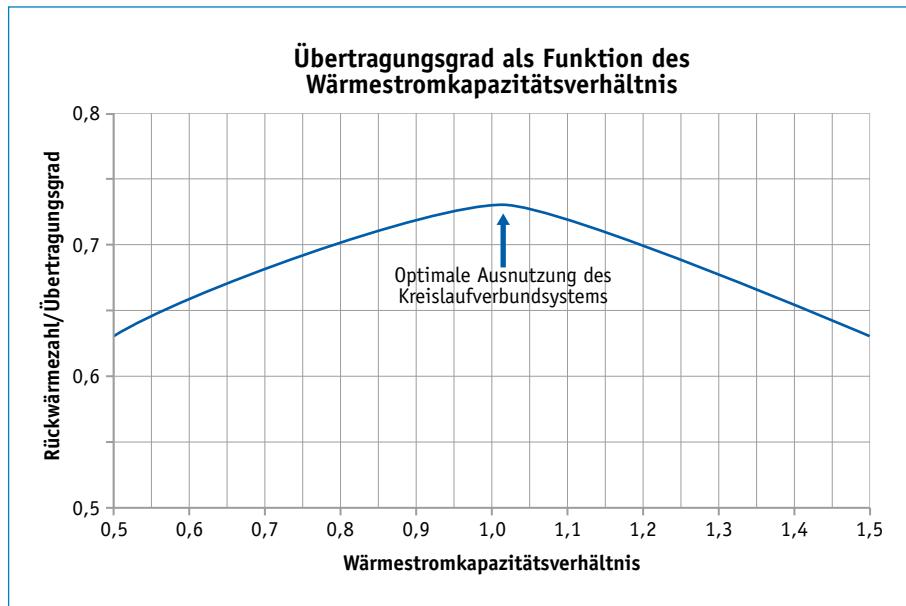


Abbildung 23: Darstellung des Wirkungsgrades in Funktion der Massenstromverhältnisse
[Kober (2009), S. 85]

Rotationswärmeübertrager

Diese zu den wirksamsten zählenden Wärmeübertrager haben mit Sorption eine Rückwärmezahl von 0,7 – 0,8. Die Feuchteübertragung erfolgt mit 0,6 – 0,7. Ohne Sorption erfolgt die Wärmeübertragung mit 0,6 – 0,8 bzw. die Feuchteübertragung mit 0,1 – 0,2. Leckagen sind bei Rotoren technisch nicht zu vermeiden. Daher muss, um einen Abluftstrom in den Zuluftstrom zu vermeiden, der Abluftventilator, vom Rotor aus gesehen, saugseitig angeschlossen werden. Der Zuluftventilator muss druckseitig angeschlossen werden.

Umschalspeicher

Die Rückwärmeszahl beträgt 0,6–0,9 bei einer Feuchterückgewinnung von 0,5–0,7. Bei den Umschalspeichern setzt sich die Leckage aus der Summe der Klappendichtheit und Speicher zusammen.

4.3.5.12 Umluft

Die Umluft zählt definitionsgemäß nicht zur Wärmerückgewinnung, ist jedoch in den zulässigen Grenzwerten der Luftqualität die wirkungsvollste Wärmerückgewinnung, bzw. Aufwandsvermeidung. Gerade vor der Nutzung ist die Umluft zur Aufheizung bzw. Kühlung eines Raumes besonders sinnvoll.¹³¹

Wird die Umluft keiner thermodynamischen Aufbereitung unterzogen, ist es energetisch sinnvoller den entsprechenden Volumenstrom zu reduzieren, um Ventilatorleistung einzusparen (Bedarfsgerechte Lüftung).

Nach DIN EN 13799:13799:2007-09 können Abluftströme der Kategorie ETA 1¹³² der Umluft zugemischt werden. Die übrigen Kategorien ETA 2 bis 4 können nicht beige mischt werden.

4.3.5.13 Dichtheitsklasse der Luftpfeile

Die Dichtheitsklassen werden in der DIN EN 13779:2007-09 als übliche und empfohlene Werte für die Lüftungstechnik angegeben. Hierbei sollte eine Leckage von 2% der Gesamtluftmenge nicht überschritten werden. Dies entspricht der Dichtheitsklasse B.¹³³ Weiterhin wird in der o. g. Norm zur Bestimmung der Dichtheitsklasse auf die DIN EN 15242:2007-09 verwiesen. Mit dem Auftraggeber sind hierbei die Dichtheitsklassen individuell festzulegen. Für eckige und runde Luftpfeile kommen zwei verschiedenen Normen zur Anwendung.

Die Klassifizierung von runden Luftpfeilen erfolgt nach DIN EN 12237:2003-07. Hier bietet die Einstufung in A, B, C und D in den Grenzwerten von +500 Pa/ -500 Pa bis +2.000 Pa/ -750 Pa eine Auswahlmöglichkeit.

Die Klassifizierung von eckigen Luftpfeilen erfolgt nach DIN EN 1507:2006-06. Auch hier sind Luftdichtheitsklassen in den Abstufungen A, B, C und D vorhanden. Jedoch liegen diese in den Grenzwerten von +400 Pa/ -200 Pa bis +2.000 Pa/ -750 Pa.

131 DIN EN 13799:2007-09

132 Abluft mit niedrigem Verunreinigungsgrad: hauptsächlich Emission aus Bauwerk und menschlichem Stoffwechsel (nicht WC)

133 DIN EN 13799:2007-09, S. 49

Die genannten Grenzwerte sind von der Kanaloberfläche sowie dem mittleren statischen Differenzdruck in der Anlage abhängig. Um hier vorab im Rahmen einer energetischen Inspektion eingängige Zahlen vorliegen zu haben, kann die DIN EN 15242:09-2007 herangezogen werden. Als übliche Werte für die Undichtheit von Luftleitungen werden maximal, bei unbekannter Dichtheitsklasse, eine Luftleckrate von 15 % und bei der Klasse C und besser 0% angenommen.

Da in der Praxis oftmals noch die zurückgezogene DIN 24194-2:1985-11¹³⁴ verwendet wird, bzw. in den Betriebsunterlagen verwendet, sei hier die aktuelle Zuordnung nach DIN EN 13779:2007-09, DIN EN 15242:09-2007 bzw. VDI 3808:2010-02 gegenübergestellt.

Dichtheitsklasse	Einstufung	DIN 24194-2:1985-11
A	Mindestwert für RLT-Geräte und Kammern	II
B	Mindestforderung für Luftleitungen ab 150 Pa	III
C	Empfehlung bei höheren Drücken	IV
D	für besondere Anwendungen	-

Tabelle 13: Gegenüberstellung der Dichtheitsklassen nach aktueller und zurückgezogener Norm

Die in Deutschland produzierten Dichtheitsklassen können nach Kober [Kober, 2009] wie folgt eingeteilt werden:

134 DIN 24194-2:1985-11, S. 1

Luftleitungsproduktion in Deutschland 2009

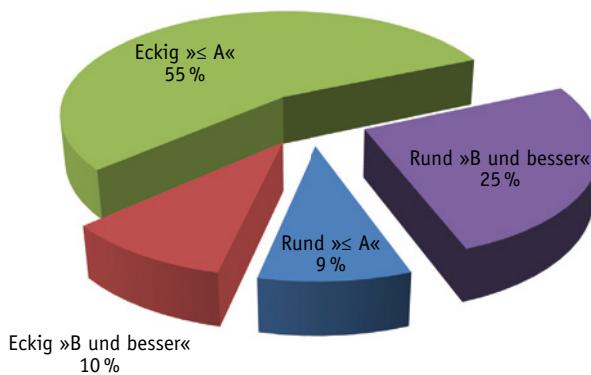


Abbildung 24: Nach Dichtheitsklassen differenzierte Luftleitungsproduktion >eckig< und >rund< in Deutschland im Jahr 2009 [Kober (2009), S. 120]

Hieraus ist zu ersehen, dass trotz der o.g. Empfehlung der DIN EN 13779:2007-09 zur Dichtheitsklasse B als Mindeststandard sowie höheren Energiekosten im Allgemeinen die Dichtheitsklasse A und schlechter mit insgesamt 64 % die produzierte Mehrheit darstellt.

Es ist auch unverständlich, dass durch die Wahl der geringeren Dichtheitsklasse A gegenüber B ein Mehrverlust von 4 % der Gesamtluftmenge in Kauf genommen wird. Dabei liegt die Kostendifferenz der Klasse A zu B gem. Erfahrungswerten bei ca. 1,50 €/m² Kanalfläche. Bei einer mittleren Leitungsfläche von 1000 m² sind das somit insgesamt 1500,- € Mehrkosten. Da die im Rahmen der Auftragsvergabe zugesagte Luftmenge dennoch bereitgestellt werden muss, muss der Luftvolumenstrom folglich auf 104 % erhöht werden, was höhere elektrische Betriebskosten nach sich zieht. Gemäß des Proportionalitätsgesetzes geht der Luftvolumenstrom in die elektrische Leistung in der dritten Potenz ein. Das sind hierbei rund 13 % höhere Energieaufwendungen.

Bei dem als Rechenbeispiel angegeben Antrieb in Kap. 4.3.4.2 ergeben sich bei 3.120 h/a \times 5,5 kW \times 0,12 ct/kWh \times 1,13 jährliche Mehrkosten von 267,70 €. Hinzu kommen noch die Aufwendungen für die Luftkonditionierung. Die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit der Wahl einer besseren Dichtheitsklasse ist bereits aus den ersten Rechenschritten ersichtlich. So beträgt die Amortisation alleine im Hinblick auf die elektrischen Betriebsmehrkosten knapp fünf Jahre.

Wie nun neuere Produktionszahlen aus dem Jahr 2014 zeigen, hat sich die Sinnhaftigkeit von einem dichten Kanal am Markt herumgesprochen. So beträgt nun fünf Jahre nach Abbildung 24 die Kategorie »Eckig B und besser« statt 10% nunmehr 81% der produzierten Masse.

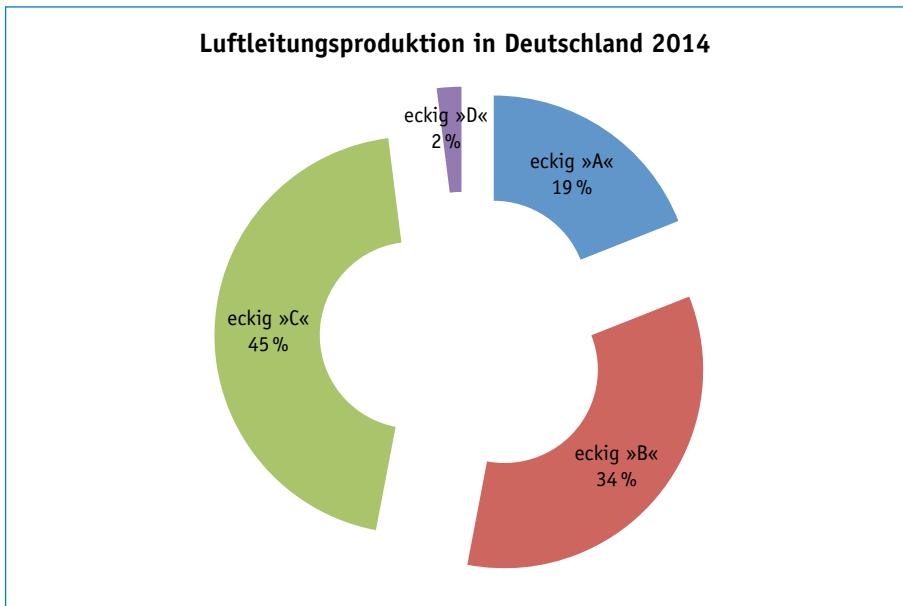


Abbildung 25: Differenzierung der Luftleitungsproduktion »eckig« nach Dichtheitsklassen im Jahr 2014 [Mietzker (2015)]

Im Rahmen der energetischen Inspektion ist im Bereich hoher Differenzdrücke das Kanalwerk in Augenschein zu nehmen, insbesondere am Geräteanschluss. Gleichfalls sind die Türen des Lüftungsgerätes zu begutachten, da auch hier große Luftmengen wegen Undichtigkeiten entweichen können. Türen können bei Bedarf oftmals nachjustiert werden.

Bei der Sanierung von Luftleitungen sind runde Luftführungen, sofern baulich möglich, zu bevorzugen, da

- die Umfassungsfläche gegenüber eckigen Luftleitungen geringer ist,
- Doppelrippendichtungen eine hohe Dichtheit garantieren,
- die Anfälligkeit für Montagefehler geringer ist.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass Einbaukomponenten sowie das Gerätegehäuse der gleichen Dichtheitsklasse wie die Kanäle entsprechen sollte. Ins-

besondere bei den Einbaukomponenten erreichen viele Bauteile ohne besondere Maßnahmen nur die Dichtheitsklasse A.

4.3.5.14 Druckverluste

Zur Berechnung der Druckverluste kann die VDI 2087:2006-12 verwendet werden. Hier werden auch typische Druckverluste bei diversen Luftdurchlässen angegeben. Typische Druckverluste für Einbaukomponenten und Filter können der DIN EN 13799:2007-09 entnommen werden.

Sofern erforderlich und das Lüftungskonzept sowie die baulichen Gegebenheiten dies zulassen, können im Rahmen der Inspektion Anpassungen der Auslässe vorgeschlagen werden.

Ferner kann eine Minderung der Druckverluste erreicht werden durch:

- Vergrößerung der Leitungsquerschnitte
- Minderung des Volumenstroms (Fleißgeschwindigkeit)
- Verwendung von Rohren statt Kanälen
- Reinigung der Anlage
- Leitbleche am Segeltuchstutzen

Übliche Luftgeschwindigkeiten in Lüftungsanlagen sind:¹³⁵

- Komfortanlagen max. 5 m/s
- Industrieanlagen max. 8 m/s

Jedoch liegt aktuell das wirtschaftlich Optimum bei Energiepreisen von 0,16 €/kWh für Bürogebäude bei 3,2 m/s bis 4,5 m/s.¹³⁶

4.3.6 Einsparpotenziale Kälteanlage

Aus der Analyse von Inspektionsberichten aus den Jahren 2007 bis 2013 konnte in einer Studie¹³⁷ die statistische Verteilung der Sanierungsempfehlungen zusammengestellt werden.

135 VDI 3803-1:2010-02, S. 12

136 Kriegel/Schaub (2015)

137 Schiller (2014), S. 58

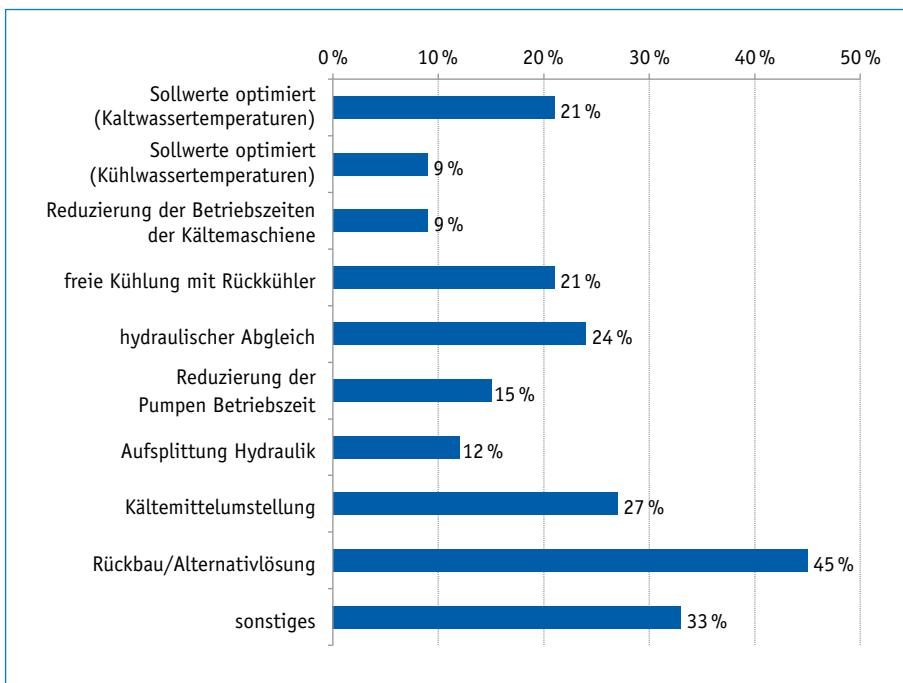


Abbildung 26: Verteilung der Sanierungsempfehlung bei Kältemaschinen
[Schiller (2014), S. 58]

Empfehlungen für den Rückbau bzw. für Alternativlösungen wurden in der Regel ausgesprochen, weil die inspizierten Kälteanlagen im Mittel ein Baualter von 21 Jahren hatten. Daher kann hier eine wirtschaftliche Effizienzsteigerung aufgrund von Verschleiß und des teilweise heute rechtlich unzulässigen Kältemittels nur ausnahmsweise erreicht werden.

Die durch die Maßnahmen vorgeschlagenen Betriebsoptimierungen, Komponentenänderungen sowie Systemumstellungen bergen hierbei schätzungsweise folgende Einsparpotenziale.

Sanierungsmaßnahme	Maßnahmenpaket			Einsparpotenzial
	Betriebsoptimierung	Komponentenänderung	Systemumstellung	
Sollwerte optimiert (Kaltwassertemperaturen)	x		x	6 %
Sollwerte optimiert (Kühlwassertemperaturen)	x		x	4 %
Reduzierung der Betriebszeiten der Kältemaschine	x		x	3 %
hydraulischer Abgleich	x		x	4 %
Reduzierung der Pumpen Betriebszeit			x	7 %
Austausch Pumpen		x	x	10 %
Aufsplittung Kaltwasser-hydraulik		x	x	0 %
freie Kühlung mit Rückkühler		x	x	2 %
Kältemittelumstellung				
Rückbau/Alternativlösung			x	20 %
Betriebsoptimierung	x			17 %
Komponentenänderung		x		19 %
Systemumstellung/Neubau (alle Maßnahmen)			x	56 %

Tabelle 14: Einsparpotenziale bei Kälteanlagen [Schiller (2014), S. 68]

Im Rahmen der Studie wurde die Kältemittelumstellung der Vollständigkeit halber mit aufgenommen. Hierdurch lassen sich keine energetischen Verbesserungen herbeiführen, es wird jedoch den rechtlichen Forderungen Genüge getan.

Der Technik und der Funktion der Kältemaschine ist es eigen, dass eine komplette Erneuerung gegenüber den Einzelmaßnahmen einen deutlich größeren energetischen Effekt hat. So birgt die komplette Erneuerung eine Verringerung der Stromaufnahme von bis zu 56 %. Demgegenüber kann durch Einzelmaßnahmen eine Verringerung von insgesamt etwa 36 % erreicht werden. Neben den rein technisch begrenzten Möglichkeiten sowie aus wirtschaftlichen Gründen wird die Komponentenerneuerung

bei Kältemaschinen selten vorgenommen. Stattdessen erfolgt eine totale Erneuerung aufgrund von Verschleiß und Alter als gleichzeitige Ersatzinvestition.¹³⁸

Nachfolgend werden einige der o.g. Maßnahmen näher beleuchtet und bewertet. Hierbei werden ausschließlich Hubkolbenverdichter betrachtet, da diese am häufigsten zur Anwendung kommen. Es werden aber auch weitere effektive Verbesserungen aufgezeigt und erwogen. Teilweise werden die Ausführungen detailliert beschrieben, da die kältetechnischen Anlagen dem im Lüftungsbau versierten Fachmann oftmals nicht so naheliegen wie Lüftungsanlagen selber.

Leistungsregelung von Kältemaschinen

Die Leistung des Verdichters wird durch den Kältemittelmassenstrom sowie der Zunahme der spez. Enthalpedifferenz des Kältemittels im Verdampfer bestimmt.¹³⁹

$$\dot{Q}_0 = \dot{m}_k \times (h_1 - h_3) \quad (36)$$

\dot{Q}_0	Leistung des Kältemittelverdichters	[kW]
\dot{m}_k	Kältemittelmassenstrom	[kg/h]
h_1	spezifische Enthalpie vor dem Verdichter	[kJ/kg]
h_3	spezifische Enthalpie vor der Entspannung (Regelventil)	[kJ/kg]

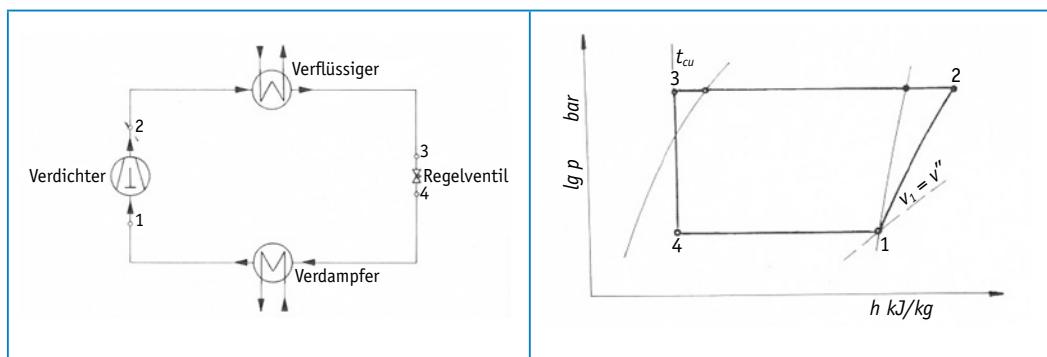


Abbildung 27: Schaltungsprinzip einer einstufigen Kältemaschine [Pohlmann (1988), S. 141]

Abbildung 28: Kältemittelkreislauf der nebenstehenden Anlage im $h, \lg p$ -Diagramm [Pohlmann (1988), S. 142]

Durch Einflussnahme auf diese zwei Parameter kann die Leistungsregelung der Kältemaschine in begrenzter Weise erfolgen. So wird der Kältemittelmassenstrom der Hubkolbenverdichter durch Drehzahländerung der Kolben, Abhebung von Saugven-

138 Schiller (2014), S. 69

139 Pohlmann (1988), S. 141

tilen an den Zylindern und Heißdampf-Bypassregelung eingestellt, oder aber der Ansaugzustand des Kältemittels wird durch Saugdruckregelung beeinflusst.¹⁴⁰

Die in den folgenden Kapiteln dargestellte Auswahl an Effizienzmaßnahmen bei Kälteanlagen ist im Wesentlichen als Exzerption dem empfehlenswerten Fachbuch »Effizienter Betrieb von Kälteanlagen« von Dieter Korn entnommen.

4.3.6.1 Drehzahlverstellung des Verdichters

Der Verdichterantrieb verbraucht im Normalfall rund 70 % des Energiebedarfs der Kältemaschine, daher ist die Leistungsanpassung durch eine Drehzahlverstellung des Verdichters die erste und effektivste Wahl zur Energieeinsparung.¹⁴¹

Die Drehzahlverstellung und damit die Anpassung des Saugdrucks auf einen konstanten vorgegebenen Sollwert erfolgt durch einen Frequenzumformer (FU). Die untere Leistungsgrenze wird durch einen technisch bedingten Mindestmassenstrom und durch eine kontinuierliche Ölrückführung gebildet. Gleichzeitig ist die Schmierung des Motors bei Schleuder- und Zentrifugalschmierung bzgl. der Mindestdrehzahl ein eingrenzender Faktor. Bei Zwangsumlaufschmierungen laufen die Zahnradpumpen synchron zur Kurbelwelle und erfordern daher auch hier eine Mindestdrehzahl. Wird die Motorwicklung durch den Saugdampf gekühlt, ist auch hier eine untere Leistungsgrenze gegeben, damit eine Überhitzung bzw. Lebensdauerverkürzung der Wicklung verhindert wird.¹⁴²

In jedem Fall ist die Eignung des Verdichters für den FU-Betrieb durch den Hersteller freizugeben. So sind Hubkolben-, Rollkolben- und Schraubenverdichter grundsätzlich geeignet. Scrollverdichter sind jedoch teilweise nur mit Einschränkungen durch einen FU steuerbar. Je nach Baureihe ist ein FU-Bereich von etwa 25 – 75 Hz möglich. Weitere Anforderung an den FU (Sinusfilter, Kabelabschirmungen, etc.) sind durch den Hersteller anzugeben. Darüber hinaus ist die Eignung des elektrischen Motors zu überprüfen, da die Wicklung eine ertüchtigte Isolation erfordert.¹⁴²

Eine weitere energetische Verbesserung kann durch die Verwendung eines Bypassschutzes zur Umgehung des FU erfolgen. Dies ist immer dann sinnvoll, wenn die erforderliche Motorenndrehzahl unter Netzbedingungen erreicht werden kann. Hierdurch können die Wirkungsgradverluste des FU, die immerhin 2 – 5 % betragen, zumindest zeitweise umgangen werden. Die hierzu erforderliche Ausblendfrequenz muss im FU parametriert werden.¹⁴³

140 Pohlmann (1988), S. 186

141 Korn (2011), S. 7–8

142 Korn, (2011), S. 11

143 Korn (2011), S. 15

4.3.6.2 Drehzahlverstellung des Verflüssiger-Ventilators

Bei luftgekühlten Verflüssigern kann der Druck durch die angepasste Ventilatordrehzahl mittels FU moduliert werden. Hierdurch wird einerseits die Kälteleistung geregelt und gleichzeitig wird durch die verringerte Ventilatorleistung der Energieverbrauch der Ventilatoren gem. dem Affinitätsgesetz gesenkt. Da meist der Verflüssigungsdruck die Regelgröße für die Verflüssigerleistung ist, wird bei steigendem Verflüssigungsdruck die Drehzahl erhöht und umgekehrt bei sinkendem Druck die Drehzahl verringert. Hierdurch kann ein konstanter Druck erreicht werden. Die Einflussnahme auf die Ventilatoren bietet sich insbesondere bei Anlagen an, die meist im Teillast- und Schwachlastbereich betrieben werden.¹⁴⁴

4.3.6.3 Elektronische Expansionsventile

Das in Abbildung 27 dargestellte Regelventil bzw. Expansionsventil kann als thermostatisches oder als elektronisches Ventil ausgeführt werden.

Beim thermostatischen Expansionsventil bringen drei Kräfte die Schließung und das Öffnen hervor. Zum einen wirken der Verdampfungsdruck und eine Regulierfeder mit Stellschraube als Schließkraft. Dem entgegen wirkt der Öffnungsdruck einer Fühlerfüllung, die von der Temperatur des Verdampferaustritts bestimmt wird. Um einen ausreichenden Öffnungsdruck herzustellen, muss das Kältemittel statisch überhitzt werden. Hier zeigt sich auch schon im Kern der energetische Nachteil im Winterbetrieb bzw. allg. bei niedrigen Verdampfertemperaturen. Da die Öffnungskraft der Fühlerfüllung von der Temperatur abhängt, kann bei niedrigen Verdampfertemperaturen keine ausreichend große Kraft erzeugt werden, um geringe Kältemittelmengen zu regeln. Daher wird zur Regelbarkeit der Verflüssigungsdruck auf ca. 25–30 °C nach unten begrenzt. Hierdurch wird eine höhere Verdichterleistung erforderlich gemacht.¹⁴⁵

Die statische Überhitzung in der erforderlichen Größenordnung des thermischen Ventils sowie der überhöhte Verflüssigungsdruck können durch ein elektronisches Expansionsventil vermieden werden, da die Regelung des Ventils durch elektrische Hilfsenergie erfolgt und nicht von Parametern des Kreisprozesses abhängig ist. Hinzu kommt, dass durch die geringere Überhitzung mehr Verdampferleistung zur Verfügung steht, da bei Lamellenverdampfer ca. 80–85 % der Übertragerfläche für die Verdampfung genutzt werden und 15–20 % der Übertragerfläche für die Überhitzung

¹⁴⁴ Korn (2011), S. 7–8 und 22

¹⁴⁵ Korn (2011), S. 34

des Dampfes. So kann als Faustformel angenommen werden, dass für 5 K Überhitzung ca. 10 % der Übertragerfläche erforderlich sind.¹⁴⁶

Eine Verringerung des Verflüssigungsdruckes führt zu zwei Vorteilen:

- »Proportional zum fallenden Verflüssigungsdruck steigt die Verdichterleistung. Als Folge verkürzen sich die Verdichterlaufzeiten.
- Proportional zum fallendem Verflüssigungsdruck sinkt die Leistungsaufnahme der Verdichter.«¹⁴⁷

Der energetische Minderverbrauch durch die Herabsetzung der Verflüssigungstemperatur um 10 K wird am Beispiel eines Hubkolbenverdichters von Fa. Bock (Typ HG4/555-4) mit R134a als Betriebsmittel mit 17,6 % der Antriebsleistung angegeben. Gleichzeitig wird hierbei darauf hingewiesen, dass diese Werte nicht verallgemeinert werden dürfen und jede Anlage separat bewertet werden muss.¹⁴⁸

Für die Nutzung eines elektronischen Expansionsventils müssen jedoch auch anlagenseitige Voraussetzungen erfüllt werden. Hierzu zählen:¹⁴⁹

- Gleichmäßige Kältemittelverteilung auch bei kleinsten Verdampferbelastungen (z. B. durch Venturiverteiler, Staudüsenverteiler oder Trennverteiler)
- Kontinuierliche Ölrückführung aus dem Verdampfer unter allen Betriebsbedingungen
- Einfluss und Berücksichtigung der Unterkühlung (mindestens blasenfrei)

Gleichfalls wird der minimale Verflüssigungsdruck durch die Auslegung und Bauart des Expansionsventils und zum anderen durch die Konstruktion des Verdichters begrenzt. So ist für die Anhebung der Ventilplatten ein minimaler Verflüssigungsdruck erforderlich. Bei Schraubenverdichtern muss u. U. eine separate Ölpumpe installiert werden. Hierbei darf zudem eine Mindesttemperatur des Öls nicht unterschritten werden. Aus den genannten Gründen ist eine Herabsetzung des Verflüssigungsdrucks mit dem Hersteller in jedem Falle abzuklären.¹⁵⁰

4.3.6.4 Abwärmenutzung der Kälteanlagen

Die Abwärmenutzung ist meist keine Effizienzsteigerung der Kälteanlage im eigentlichen Sinne, wobei es auch hier zur Steigerung des COP-Wertes kommen kann. Die Nutzung der Abwärme macht vor allem bei Gewerbe- und Industrieanlagen Sinn, die

146 Korn (2011), S. 39 und 55

147 Korn (2011), S. 53

148 Korn (2011), S. 54

149 Korn (2011), S. 43–49

150 Korn (2011), S. 57

ganzjährig betrieben werden und die die abgegebene Wärme der Kälteanlage ebenfalls ganzjährig nutzen können. Bei RLT-Anlagen findet die Abwärme Anwendung zur Vorerwärmung der Außenluft und der Nacherwärmung von entfeuchteter Zuluft. Bei beiden Unterstützungen wird über ein Drei-Weg-Ventil das Register in der RLT-Anlage als paralleler Verflüssiger behandelt.¹⁵¹

Die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit zum Einsatz der Abwärmenutzung hängt ab von:

- Möglichst hoher Betriebszeit
- Energiepreis
- Anlagengröße

So ist bei der Entscheidung zum Einsatz einer Abwärmenutzung festzustellen, welche Wärmemenge wann, an welcher Stelle der Anlage und mit welchem Temperaturniveau vorhanden ist. Dem muss der erforderliche Bedarf gegenübergestellt werden. Nicht zutreffende Voraussetzungen können zu einer mangelhaften Planung mit einem erhöhten Energieverbrauch führen.¹⁵²

Die Wärmeenergie kann bei Hubkolbenverdichtern durch die Überhitzungswärme und Verflüssigungswärme gewonnen werden. Indirekt kann auch die Abwärme der Zylinderkopfdichtung aufgenommen werden. Diese Möglichkeiten werden nachfolgend in Betracht gezogen.

151 Siemens AG (2010)

152 Korn (2011), S. 71

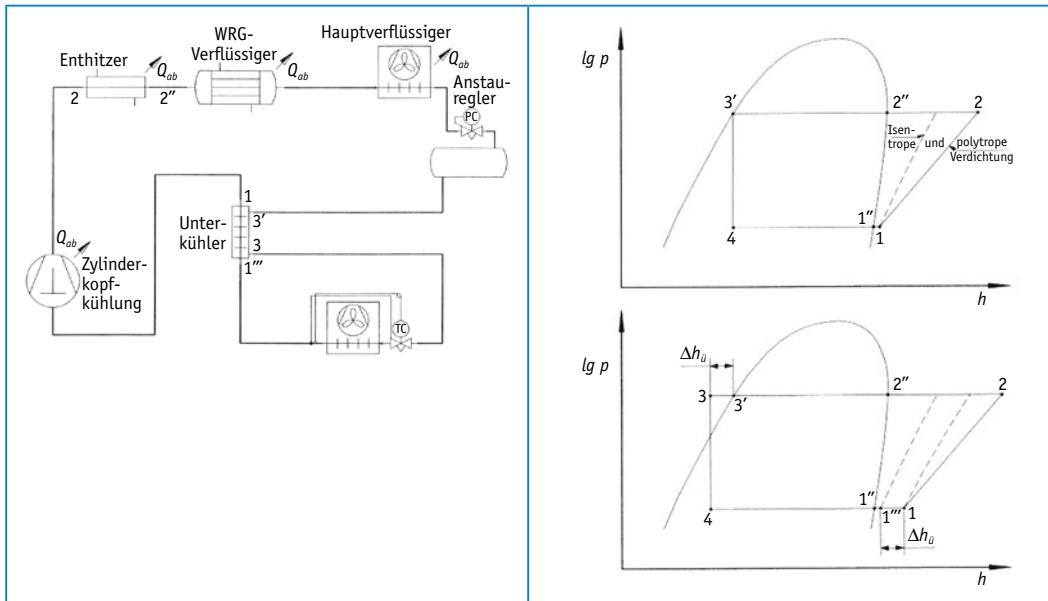


Abbildung 29: Beispiel zur Abwärmenutzung bei Kälteanlagen mit Trockenexpansion [Korn (2014), S. 78]

Abbildung 30: Darstellung der Abwärmenutzung im lg p-h-Diagramm, oben Kreisprozess ohne und unten mit internem Wärmetauscher [Korn (2014), S. 79]

Die Überhitzungswärme wird im mittleren und oberen Leistungsbereich mit Plattenwärmetauschern meist für die Brauchwassererwärmung entzogen. In der Regel genügt es jedoch, die Wärme aus dem Verflüssiger aufzunehmen.¹⁵³ Hierzu muss ein geeigneter Wärmetauscher vorhanden sein, was in der Praxis auf fast keine Anlage zutrifft und daher nachinstalliert werden muss.

Ist eine Zylinderkopfkühlung mit Kühlwasser vorhanden, kann hier kühlwasserveitig ein Wärmetauscher installiert werden. Ist jedoch der Zylinderkopf mit einer Zwangsbelüftung ausgestattet, kann nur die hierdurch entstehende Raumwärme aufgenommen werden. Dies ist aber in den meisten Fällen unwirtschaftlich.

Bei Schraubenverdichtern kann die Überhitzungs- und Verflüssigungswärme wie bei den Hubkolbenverdichtern aufgenommen werden. Anstelle der Zylinderkopfkühlung besteht hier jedoch die Möglichkeit die Wärmerückgewinnung aus der Ölkühlung zu realisieren, da hier ein hoher Teil der Verdichtungswärme abgeführt wird. Auch diese Wärme kann dem Brauchwasser zugeführt werden.¹⁵⁴

153 Korn (2011), S. 77

154 Korn (2011), S. 83–84

Um eine mittlere Wassertemperatur von 30–45 °C zu erreichen, ist die Nutzung eines Wärmetauschers am Verflüssiger ausreichend. Hierdurch können große Wassermengen erwärmt werden. Um eine mittlere Wassertemperatur von 60–80 °C zu erreichen, sind ein Wärmetauscher für die Aufnahme der Verflüssigungswärme und einer für die Enthitzung des Druckdampfes erforderlich. Die erwärmbare Wassermenge ist gegenüber der 1. Variante jedoch geringer. Beide Varianten können jedoch durch die Unterstützung eines Heizkessels o. ä. den Erfordernissen angepasst werden. Für die unabhängige Wassererwärmung ist ein Heizkessel o. ä. sowieso unumgänglich.¹⁵⁵

4.3.6.5 Kühllastminderung bzw. -verteilung

Gegenüber der effizienten Kaltwassererzeugung sollte die Kühllastminderung Vorrang haben, da hier das größere Energieeinsparpotenzial liegt.

Neben den Möglichkeiten, die sich direkt durch Umstellungen an der Lüftungsanlage ergeben, wie z.B. Reduktionen der Luftmenge oder durch Erhöhung des Temperatur-Soll-Wertes, sind Veränderungen am Gebäude u.U. sinnvoll. Zur Minderung der äußeren Kühllast ist evtl. die Nachrüstung einer Verschattung zu bevorzugen. Sollte sowieso ein Austausch der Fenster erforderlich sein, ist zu überlegen, ob eine Glasbeschichtung mit verminderter Strahlungsdurchlässigkeit eingesetzt wird. Im Gebäude führt darüber hinaus auch der Einsatz von moderner Beleuchtungstechnik durch LED zur Minderung der Kühllast.¹⁵⁶

Zwar ist die Streckung der Kühllast über die Zeit keine Minderung der Last selber, bietet jedoch die Möglichkeit eine geringe Taktung der Kältemaschine zu erreichen bzw. Systemtemperaturen zu senken oder alternative Übertragungstechniken zu nutzen. Kann die Temperatur von 6 °C auf 12 °C angehoben werden, erhöht sich der Wirkungsgrad der Kältemaschine um 20%.¹⁵⁷ Eine moderne Technik zur Verlagerung der Kühllast ist z.B. das passive Latentwärmespeichersystem oder der bewährte Eispeicher.¹⁵⁸ Beide sind jedoch kaum nachrüstbar und erfordern daher einen Umbau.

Unter anderem ist die hier genannte Auswahl zur Kühllastminderung bzw. -verteilung bei der Bewertung der vorhandenen Anlagentechnik zu berücksichtigen und in der Bewertung dem Betreiber mitzuteilen.

¹⁵⁵ Korn (2011), S. 87

¹⁵⁶ Schädlich/Trogisch (2011), S. 87

¹⁵⁷ Kober (2009)

¹⁵⁸ PCM =Phase Change Material (Latentwärmespeichermaterial, Phasenwechselmaterial)
(VDI 2164:2015-02)

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der RLT-Anlagen bzgl. der Nutzung [Schiller (2014), S. 26].
Seite 13

Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Deutschland 2013 [BMWi Energiedaten: Gesamtausgabe]²¹. Seite 15

Abbildung 3: Endenergieverbrauch Industrie 2013 [BMWi Energiedaten: Gesamtausgabe]²². Seite 16

Abbildung 4: Endenergieverbrauch GHD 2013 [BMWi Energiedaten: Gesamtausgabe]²³. Seite 17

Abbildung 5: Endenergieverbrauch Privathaushalte 2013 [BMWi Energiedaten: Gesamtausgabe]. Seite 18

Abbildung 6: Einsparpotenziale aus den Ergebnissen der energetischen Inspektionen bei Lüftungsanlagen [Schiller (2014), S. 64]. Seite 19

Abbildung 7: Einsparpotenziale bei Kältemaschinen [Schiller (2014), S. 72]. Seite 19

Abbildung 8: Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Außentemperatur [Kober (2009), S. 78]. Seite 47

Abbildung 9: Eine durch das Herstellerprogramm (Fa. Grundfos) erzeugte Leistungskennlinie einer Inline-Pumpe TP 32-150/2. Seite 60

Abbildung 10: Darstellung der Klassen IE2 und IE3 [gemäß der Verordnung (EG) Nr. 640/2009 Anhang 1]. Seite 62

Abbildung 11: Wirkungsgradverlauf eines 11 kW Antriebes bei Teillast [Kober (2009), S. 108]. Seite 63

Abbildung 12: Darstellung der Anschaffungs- und Betriebskosten eines Antriebs bei 10 Jahren Lebensdauer [Kober (2009), S. 103]. Seite 63

Abbildung 13: Häufigste Sanierungsempfehlungen [Schiller (2014), S. 48]. Seite 66

Abbildung 14: Kosten eines F7 Filters bei einer jährlichen Standzeit. Seite 74

Abbildung 15: Schnitt durch die Filtermatte mit erkennbarer Wellenform [Trox Produktbroschüre Filterelemente (2015), S. 2]. Seite 75

Abbildung 16: Wirkungsgradverlauf eines Rotationswärmetauschers bei reduziertem Luftvolumenstrom [Kober (2009), S. 77]. Seite 76

Abbildung 17: Systemwirkungsgradkurven diverser Ventilatoreinheiten [Kober (2009), S. 105]. Seite 78

Abbildung 18: Gegenüberstellung Riemenwirkungsgrad in Abhängigkeit der Motorleistung [Kober (2009), S. 101]. Seite 80

Abbildung 19: Gegenüberstellung des erforderlichen Leistungsbedarfs bei mechanischer und elektrischer Regelung [Walter (2007), S. 134]. Seite 86

Abbildung 20: Darstellung der Motorverluste in Abhängigkeit der Betriebsfrequenz [Kober (2009), S. 103]. Seite 89

Abbildung 21: Darstellung der Lebenszykluskosten an einem Beispiel-Lüftungsgerät [Kober (2009), S. 75]. Seite 92

Abbildung 22: Darstellung der Verschaltung der Wärmetauscherrohre in Gegenstrom [Kober (2009), S. 86]. Seite 93

Abbildung 23: Darstellung des Wirkungsgrades in Funktion der Massenstromverhältnisse [Kober (2009), S. 85]. Seite 94

Abbildung 24: Nach Dichtheitsklassen differenzierte Luftleitungsproduktion »eckig« und »rund« in Deutschland im Jahr 2009 [Kober (2009), S. 120]. Seite 97

Abbildung 25: Differenzierung der Luftleitungsproduktion »eckig« nach Dichtheitsklassen im Jahr 2014 [Mietzker (2015)]. Seite 98

Abbildung 26: Verteilung der Sanierungsempfehlung bei Kältemaschinen [Schiller (2014), S. 58]. Seite 100

Abbildung 27: Schaltschema einer einstufigen Kälteanlage [Pohlmann (1988), S. 141]. Seite 102

Abbildung 28: Kältemittelkreislauf der nebenstehenden Anlage im h, lg p-Diagramm [Pohlmann (1988), S. 142]. Seite 102

Abbildung 29: Beispiel zur Abwärmennutzung bei Kälteanlagen mit Trockenexpansion [Korn (2014), S. 78]. Seite 107

Abbildung 30: Darstellung der Abwärmennutzung im lg p,h-Diagramm, oben Kreisprozess ohne und unten mit internem Wärmetauscher [Korn (2014), S. 79]. Seite 107

6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Excel-Tool zur Berechnung des Energiekennwertes von RLT-Anlagen [Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. (2009)]. Seite 43

Tabelle 2: Screenshot des Excel-Berechnungstools für die Kälteerzeugung [Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. (2004)]. Seite 54

Tabelle 3: Faktoren zur Einschätzung der Potenziale zu einzelnen Maßnahmen [Schiller (2014), S. 62]. Seite 67

Tabelle 4: Charakteristische Eigenschaften der Mischlüftung [Prof. Dr.-Ing. Boiting, FH Münster]. Seite 68

Tabelle 5: Charakteristische Eigenschaften der Quelllüftung [Prof. Dr.-Ing. Boiting, FH Münster]. Seite 69

Tabelle 6: Kostenvergleich verschiedener Konditionierungssysteme [Trogisch (2015), S. 359]. Seite 72

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Anwendungsvorteile unterschiedlicher Ventilatorbauformen. Seite 77

Tabelle 8: Einbaufaktoren bei Einbau in Kasten [Wagner (2007), S. 149]. Seite 80

Tabelle 9: Widerstandsbeiwert bei verschiedenen Einbausituationen [Wagner (2007), S. 147–148]. Seite 81

Tabelle 9: (Fortsetzung) Widerstandsbeiwert bei verschiedenen Einbausituationen [Wagner (2007), S. 147–148]. Seite 82

Tabelle 10: Widerstandsbeiwerte bei Verwendung von Saugtaschen [Wagner (2007), S. 148]. Seite 83

Tabelle 11: Einbaufaktoren ξ_{syst} druckseitig vom Ventilator [Walter (2007), S. 149/150]. Seite 83–85

Tabelle 12: Vergleich Befeuchtungssysteme [Kober (2009), S. 115]. Seite 90

Tabelle 13: Gegenüberstellung der Dichtheitsklassen nach aktueller und zurückgezogener Norm. Seite 96

Tabelle 14: Einsparpotenziale bei Kälteanlagen [Schiller (2014), S. 68]. Seite 101

7 Literaturverzeichnis

Arndt, Ulrich: ECO-Multisysteme. KK – Die Kälte + Klimatechnik (1998)

Baumgarth, Siegfried; Hörner, Berndt; Reeker, Josef (Hrsg.): Handbuch der Klimatechnik. Band 2: Anwendungen. 4., völlig neubearb. Aufl. Wolfenbüttel; München; Münster: C. F. Müller Verlag, 2003

Belimo Broschüre: Projektierungshinweise 2-und 3-Weg-Hubventile. 2014

cc dialog GmbH: Umsatz machen mit energetischen Inspektionen. MS. cci Zeitung (12/2013)

cc dialog GmbH: Nur 1.200 energetische Inspektionen. AS. cci Zeitung (2014), Nr. 4

Danfoss Broschüre: Heizung, Klima und Lüftung. Fachplanung und Projektierung elektrischer Antriebe. 2011

DIN 24194-2:1985-11: (zurückgezogen). Kanalbauteile für lufttechnische Anlagen; Dichtheit; Dichtheitsklassen von Luftkanalsystemen; Norm wurde zurückgezogen und ersetzt durch DIN EN 1507:2006-07. Lüftung von Gebäuden – Rechteckige Luftleitungen aus Blech – Anforderungen an Festigkeit und Dichtheit; Deutsche Fassung EN 1507:2006

DIN EN 12237:2003-07: Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit runden Querschnitt aus Blech; Deutsche Fassung EN 12237:2003

DIN EN 12599:2013-01: Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen; Deutsche Fassung EN 12599:2012

DIN EN 13053:2012-02: Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumluftechnische Geräte – Leistungskennwerte für Geräte, Komponenten und Baueinheiten; Deutsche Fassung EN 13053:2006+A1:2011

DIN EN 13779:2005-05: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen; Deutsche Fassung EN 13779:2004

DIN EN 13779:2007-09: Lüftung von Nichtwohngebäuden- Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung EN 13779:2007

DIN EN 1507:2006-07: Lüftung von Gebäuden Rechteckige Luftleitungen aus Blech – Anforderung an die Festigkeit und Dichtheit; Deutsche Fassung EN 1507:2006

DIN EN 15240:2007-08: Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlagen. Deutsche Fassung EN 15240:2007

DIN EN 15242:2007-09: Lüftung von Gebäuden – Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration; Deutsche Fassung EN 15242:2007

DIN EN 60034-30-1 2014-12: VDE 0530-30-1:2014-12. Drehende elektrische Maschinen – Teil 30-1: Wirkungsgrad-Klassifizierung von netzgespeisten Drehstrommotoren (IE-Code) (IEC 60034-30-1:2014); Deutsche Fassung EN 60034-30-1:2014

DIN SPEC 13779:2009-12: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme – Nationaler Anhang zu DIN EN 13779:2007-09

DIN SPEC 15240:2013-10: Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Energetische Inspektion von Klimaanlagen

DIN V 18599-3:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung

DIN V 18599-7:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau

E DIN EN 16798-17:2015-01: Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 17: Lüftung von Gebäuden- Module M4-11, M5-11, M6-11, M7-11 – Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung prEN 16798-17:2014

E VDMA 24262: 2009-12: Energieeffiziente Pumpensysteme Leitfaden zur Erkennung und Bewertung vorhandener Schwachstellen und korrekter Erfassung des Energieeinsparpotenzials (mittlerweile: VDMA 24262:2011-03. Energieeffiziente Pumpensysteme – Leitfaden zur Erkennung und Bewertung vorhandener Schwachstellen und korrekter Erfassung des Energieeinsparpotentials)

Energieeinsparungsgesetz 2013: Energieeinsparungsgesetz in der Fassung vom 13. Juli 2013, Bundesgesetzblatt, Teil I, Heft 36, ab S. 2197 vom 13. Juli 2013

EnEV 2007: Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 verkündet im Bundesgesetzblatt Teil I, Heft 34, S. 1519 am 26. Juli 2007

EnEV 2014: Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013: verkündet im Bundesgesetzblatt, Teil I, Heft Nr. 67, am 21. November 2013, S. 3951-3990

Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.: FGK Status-Report 6. Energetische Inspektionen von Kälteanlagen zur Klimatisierung. Bietigheim-Bissingen, 2004

Fachinstitut Gebäude-Klima e. V.: FGK Status-Report 14. Definition von Klimaanlagen nach EnEV und EPBD. Bietigheim-Bissingen, 2007

Fachinstitut Gebäude-Klima e. V.: FGK Status-Report 5. Energetische Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlagen. Bietigheim-Bissingen, 2009

Hoval GmbH: Plattenwärmeaustauscher zur Wärmerückgewinnung in lüftungstechnischen Anlagen. Ausgabe 05/2012

Kandzia, Claudia, Schmidt, Martin; Müller, Dirk: Strömungseffekte beim instationären Betrieb eines Luftführungssystems. Konferenzpublikation, DKV-Tagungsbericht 2010 Magdeburg, 17. –19.11.2010

Kaup, Christoph: Potenzial der Wärmerückgewinnung. Zentrale RL-Geraete. TAG-Fachplaner 8 (2009), Nr. 12, S. 32–36

Kaup, Christoph: Neues Verfahren der Raumlufttechnik zur intermittierenden und instationären Raumlüftung. RLT-Anlagen. HLH Lüftung/Klima Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik 62 (2011), Nr. 4, S. 26–30

Kaup, Christoph: Erweiterung der Studie zur Energieeffizienz von raumlufttechnischen Geräten. HLH Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik 63 (2012), Nr. 1, S. 20–24

Kaup, Christoph; Kampeis, Percy: Studie zum Beitrag und zum Anteil der Wärmerückgewinnung aus zentralen Raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) in Nicht-Wohngebäuden. Studie im Auftrag des Fachverband Gebäude-Klima e.V. Birkenfeld: Umwelt-Campus Birkenfeld, 2013

Kober, Raymond (Hrsg.): Energieeffiziente Gebäudeklimatisierung: Raumluft in A++ Qualität. Karlsruhe: Promotor Verlags- und Förderungsgesellschaft, 2009

Korn, Dieter: Effizienter Betrieb von Kälteanlagen. Berlin; Offenbach: VDE-Verlag, 2011

Korn, Dieter: Effizienter Betrieb von Kälteanlagen. 2., überarb. und erw. Aufl. Berlin; Offenbach: VDE-Verlag, 2014

Kriegel, Martin; Schaub, Michael: Dimensionierungsfaktoren für Luftleitungen. HLH Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik 66 (2015), Nr. 8, S. 33–36.

KSB AG-Broschüre: Pumpenregelung/Anlagenautomation. Ausgabe Mai 2013

Mietzker, Thomas: Wie dicht ist Deutschland? Kalsruhe: cci Dialog GmbH, 2015

Pehnt, Martin: Energieeffizienz. Ein Lehr- und Handbuch. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010

Pohlmann, Walther: Taschenbuch der Kältetechnik. Band 1: Grundlagen und Anwendungen. 17., neubearb.u. erw. Aufl. Karlsruhe: C. F. Müller Verlag, 1988

Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 16.12.2002: Richtlinie über die Gesamtenffizienz von Gebäuden. Veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union L 1/65 am 04.01.2003

Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010: Richtlinie über die Gesamtenffizienz von Gebäuden (Neufassung). Veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union L 153/13 am 18.06.2010

Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 25.10.2012: Richtlinie zur Energieeffizienz. Veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union L315/1 am 14.11.2012

Rietschel, Hermann; Fitzner, Klaus (Hrsg.): Raumklimatechnik. Band 2: Raumluft- und Raumkühltechnik. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2008

Roos, Hans: Hydraulik der Wasserheizung. 5., korr. Aufl. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2002

Schädlich, Sylvia; Trogisch Achim: Energetische Inspektion von Klimaanlagen. Karlsruhe: cci Dialog GmbH, 2011

Schiller, Heiko (Bearb.): Weiterentwicklung der EnEV zur Umsetzung der neuen EG-Richtlinie. Teil 2: Methodik der Inspektion von Klimaanlagen. Hamburg, 2005

Schiller, Heiko; Mai, Ronny; Händel, Claus: Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014

Schramek, Ernst-Rudolf (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2009

Siemens AG: Wärmerückgewinnung im Kältekreislauf. Frankfurt a. M., 2010

Trogisch, Achim: Planungshilfe Lüftungstechnik. Berlin; Offenbach: VDE Verlag, 2015

Trox Produktbroschüre Filterelemente: Die Effizienz der Welle. 2015

VDI 2071:1997-12 (zurückgezogen): Wärmerückgewinnung in Raumlufttechnischen Anlagen; Richtlinie wurde zurückgezogen und ersetzt durch VDI 3803 Blatt 5:2013-04. Raumlufttechnik, Geräteanforderungen – Wärmerückgewinnungssysteme (VDI-Lüftungsregeln)

VDI 2087:2006-12: Luftleitungssysteme – Bemessungsgrundlagen

VDI 2164:2015-02: PCM-Energiespeichersysteme in der Gebäudetechnik

VDI 3525:2007-01: Regelung und Steuerung von Raumlufttechnischen Anlagen – Beispiele

VDI 3803-1:2010-02: Raumlufttechnik – Zentrale Raumlufttechnische Anlagen – Bauliche und technische Anforderungen

VDI 3803-5:2013-04: Raumlufttechnik, Geräteanforderungen – Wärmerückgewinnungssysteme (VDI-Lüftungsregeln)

VDI 6014:2008-01: Energieeinsparung durch Einsatz drehzahlsteuerbarer Antrieb in der Technischen Gebäudeausrüstung

VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung: Hydraulik in der Heiz- und Raumlufttechnik. Tagung Hamburg 8. Juni 2000. VDI Bericht Nr. 1549. Düsseldorf: VDI Verlag

VDMA 24197-1:2012-07: Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen. Teil 1: Klima- und lüftungstechnische Geräte und Anlagen

VDMA 24197-3:2012-07: Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen. Teil 3: Kältetechnische Geräte und Anlagen zu Kühl- und Heizzwecken

VDMA 24199:2005-05: Regelungstechnische Anforderungen an die Hydraulik bei Planung und Ausführung von Heizungs-, Kälte-, Trinkwarmwasser- und Raumlufttechnischen Anlagen

Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009: Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren im Amtsblatt der Europäischen Union L 191/26 am 23.7.2009

Wagner, Walter: Lufttechnische Anlagen- Ventilatoren und Ventilatorenanlagen. 2., überarb. Aufl. Würzburg: Vogel Industrie Medien, 2007

Wagner, Walter: Regel- und Sicherheitsarmaturen. Würzburg: Vogel Industrie Medien, 2008

8 Abkürzungsverzeichnis

Anm. d.

Verf.	Anmerkung des Verfassers
bzgl.	bezüglich
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
cen	comité européen de normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
COP	Coefficient of Performance
ct.	Cent
DEC	Desiccant and Evaporative Cooling (trocknende und verdunstende Kühlung)
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EER	Energy Efficiency Ratio
EC	electronically commutated
EG	Europäische Gemeinschaft
el.	elektrisch
EnEV	Energieeinsparverordnung
ETA	Extract air (Außenluft)
EU	Europäische Union
e. V.	eingetragener Verein
EPBR	European Directive Energy Performance of Buildings
FGK	Fachverband Gebäude-Klima e. V.
FU	Frequenzumformer
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
HEPA	High-efficiency particulate arrestance
Hrsg.	Herausgeber
IE	International Efficiency
KVS	Kreislaufverbundsystem
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MSR	Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
NED	Nachhaltiges Energie-Design für Gebäude
rel.	relativ
RLT	Raumluftechnik, raumluftechnische
RWTH	Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule
SFP	spezif. fan power
spez.	spezifisch
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VRF	Variable Refrigerant Flow
VVS	Variabler Volumenstrom
WRG	Wärmerückgewinnung

Anhang

Inhaltsverzeichnis Inspektionsbericht

A	Inspektionsbericht	125
A 1	Aufgabenstellung	126
A 2	Vorinspektion	126
A 2.1	Ergebnis der Vorinspektion	126
A 3	Ortstermin	127
A 4	Feststellungen	127
A 4.1	Gebäude und Nutzung	127
A 4.1.1	Flächen	127
A 4.1.2	Bautechnik	130
A 4.1.3	Nutzungsparameter und innere Lasten	131
A 4.1.4	Kühllasten	131
A 4.1.5	Klima- und Behaglichkeitsparameter	134
A 4.1.6	Betriebszeiten und Regelung	137
A 4.2	Lüftungsanlage	137
A 4.2.1	Effizienzkennwert E_{RLT}	141
A 4.3	Kälteanlage	143
A 4.3.1	Effizienzkennwerte für das Kälteerzeugungssystem E_{KK}	145
A 4.4	Kaltwasserverteilung	146
A 5	Handlungsempfehlungen	146
A 5.1	Alternativlösungen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage	148
A 5.2	Austausch zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage	148
A 5.2.1	Pumpenaustausch	148
A 5.2.2	Austausch des Röhrenwärmetauschers gegen ein KV-System	148
A 5.2.3	Austausch des Keilriemenantriebs gegen einen Flachriemenantrieb	149
A 5.3	Maßnahmen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage	149
A 6	Allgemeine Hinweise und Anmerkungen	149
A 7	Abbildungsverzeichnis Inspektionsbericht	150
A 8	Tabellenverzeichnis Inspektionsbericht	151

A Inspektionsbericht

über die energetische Inspektion von Klimaanlagen nach EnEV § 12

Auftragsnummer	1
Registriernummer	Registriernummer wurde beantragt am ...
Auftraggeber	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
Betreiber	wie Auftraggeber
Anlagenstandort	wie Auftraggeber
Lüftungsanlage	Lüftungsanlage für Büroräume, V = 7.488 m ³ /h
Kälteanlage	Kältemaschine, Epsilon CF 35, 35 kW Nennkälteleistung
Ersteller/ Auftragnehmer	Valentin Löwen [REDACTED] [REDACTED]
Bearbeiter	Valentin Löwen M. Eng., Dipl.-Ing. (FH)
Unterschrift	
Erstellungsdatum	27.05.2015

A 1 Aufgabenstellung

Der Auftragnehmer (AN) wurde durch den Auftraggeber (AG) beauftragt, eine energetische Inspektion gem. EnEV 2014 § 12 durchzuführen.

Hierbei handelt es sich um folgende Anlagen:

Nr.	Bezeichnung
1	Lüftungsanlage für Büoräume, $V = 7.488 \text{ m}^3/\text{h}$
2	Kältemaschine, Epsilon CF 35, 35 kW Nennkälteleistung

Tabelle A1: Anlagenübersicht

Die Anforderung an die energetische Inspektion wird in der aktuellen EnEV 2014 § 12 (2) in zwei wesentlichen Punkten zusammenfassend formuliert:

1. Prüfung der Komponenten, die den Wirkungsgrad der Anlage beeinflussen
2. Prüfung der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf des Gebäudes

Die Inspektion erfolgt auf Grundlage der E DIN EN 16798-17:2015-01. Demnach ist die Durchführung einer vollständigen Prüfung der Klima- oder Lüftungsanlage nicht das primäre Ziel, sondern eine ordnungsgemäße Bewertung der Funktionsfähigkeit sowie der Hauptauswirkungen auf den Energieverbrauch und die sich daraus ergebende Festlegung von Verbesserungsvorschlägen für die Anlage oder von Alternativlösungen.

Der Inspektionsumfang gilt nach DIN SPEC 15240:2013-10 mit Stufen A bis B als vereinbart.

A 2 Vorinspektion

Im Rahmen der Vorbereitung wurden dem AG Checklisten für die Vorbereitung und Zusammenstellung der Dokumentation eingereicht.

- Stammdatenblatt gem. VDMA 24197-1:2012-07, 2 Seiten
- Checkliste zur Vorbereitung der Inspektion gem. DIN EN 15240:2007-08, 2 Seiten

A 2.1 Ergebnis der Vorinspektion

Bei der Durchsicht der Checkliste zur Vorbereitung der Inspektion konnte festgestellt werden, dass technische Unterlagen fast nicht vorhanden sind. Bis auf Grundrisszeichnungen aus der Baugenehmigung sowie ein allgemeines technisches Datenblatt für die Kältemaschine sind keine Unterlagen vorhanden. Im Rahmen der Ortsbege-

hung sind folglich die einzelnen technischen Komponenten aufzunehmen und die allgemeinen systematischen Zusammenhänge festzustellen.

A 3 Ortstermin

Im Rahmen der energetischen Inspektion wurde ein Vor-Ort-Termin durchgeführt.

Teilnehmer	1	Valentin Löwen
	2	[REDACTED]
	3	-
	4	-
	5	-
Datum		20.05.2015
Uhrzeit		07:00 – 17:00

Im Rahmen des Ortstermins wurde die Bautechnik sowie die Anlagentechnik in Augenschein genommen. Es wurde eine Bilddokumentation angefertigt. Die Checklisten gem. Anlage wurden ausgefüllt.

A 4 Feststellungen

A 4.1 Gebäude und Nutzung

Bei dem Objekt handelt es sich um ein zweigeschossiges Bürogebäude mit anliegender Fertigungshalle sowie einen Betriebshof. Das Baujahr des Gebäudes ist 1992.

A 4.1.1 Flächen

Bürogebäude

Gemäß den vorliegenden Bauzeichnungen beträgt die Grundfläche EG 374 m² bei einer lichten Höhe von 3,1 m. Durch eine Zwischendecke ist die Raumhöhe auf 2,75 m begrenzt.

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Fläche			
		Nutz- fläche [m ²]	Verkehrs- fläche [m ²]	Funktions- fläche [m ²]	Konstruk- tionsfläche [m ²]
1	Besprechung	19,8			
2	Chef	13,0			
3	Sekretariat	13,0			
4	Büro CAD2	43,7			
5	Kantine	17,3			
6	WC D+H	17,8			
7	Umkl. + Dusche	17,8			
8	Foyer		23,0		
9	Flur 1			18,4	
10	Flur 2			6,0	
11	Flur 3			10,6	
12	Koperraum	13,0			
13	Putzraum				1,4
14	Schacht				4,3
15	Büro CAD1	19,8			
16	Büro, groß	72,0			
17	Treppenhaus + Windfang		17,3		
18	Heizraum				37,4
19	Hausanschlussraum				8,6
Summen		247,0	75,2	47,5	4,3
Netto-Grundfläche EG		374,0			
Netto-Rauminhalt EG		1.028,5			

Tabelle A2: Zusammenstellung der Grundfläche EG

Die Gesamtfläche des OG beträgt 322,6 m² bei einer lichten Raumhöhe von 2,8 m. Durch eine Zwischendecke ist die Raumhöhe auf 2,4 m begrenzt.

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Fläche			
		Nutz- fläche [m ²]	Verkehrs- fläche [m ²]	Funktions- fläche [m ²]	Konstruk- tionsfläche [m ²]
1	Büro 2.1	51,8			
2	Büro 2.2	58,3			
3	Flur 2.1		19,4		
4	Flur 2.2		11,5		
5	WC	11,5			
6	Büro 1.1	46,1			
7	Büro 1.2	58,3			
8	Flur 1.1		19,4		
9	Flur 1.2		11,5		
10	WC	11,5			
11	Putzraum			1,4	
12	Schacht				4,3
13	Treppenhaus + Windfang		17,3	1,4	
Summen		237,6	79,2	1,4	4,3
Netto-Grundfläche EG		322,6			
Netto-Rauminhalt EG		774,1			

Tabelle A3: Zusammenstellung der Grundflächen OG

Fertigungshalle

Die Fertigungshalle ist mit einer Grundfläche von 300 m² und einer Höhe von 6,3 m hergestellt. Die ursprüngliche Nutzung einer Luftkanalfertigung erfolgt nicht mehr. Die Halle dient vorwiegend der Lagerung von Material. Ein Büraoraum ist in der Größe von 36,0 m² in Trockenbauweise in der Halle errichtet worden.

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Fläche	
		Nutzfläche Lagerfläche [m ²]	Nutzfläche Büro [m ²]
1	Fertigungshalle	264,0	
2	Büro		36,0
	Summen	264,0	36,0
	Netto-Grundfläche Fertigungshalle	300,0	
	Netto-Rauminhalt Fertigungshalle	1.890,0	
	Netto-Rauminhalt Büro	97,2	

Tabelle A4: Zusammenstellung der Grundfläche Fertigungshalle

A 4.1.2 Bautechnik

Bürogebäude

Das Bürogebäude ist als typischer Verwaltungsbau errichtet. Die Stahlbeton-Skelettkonstruktion ist mit einer Wärmedämmung umhüllt und mit Vorwandelementen aus Stahlblech verkleidet. Die Fensterflächen sind umlaufend mit einer Höhe von 1,5 m hergestellt und können mit einem Sonnenschutz aus elektrisch gesteuerten Jalousien verdunkelt werden. Eine reflektierende Folie ist als Sichtschutz von außen aufgebracht. Die Bauschwere kann als >schwer< eingestuft werden.

Im EG ist die Beleuchtung auf LED umgestellt worden. Im OG sind noch konventionelle Leuchtstofflampen installiert.

Das gesamte Bürogebäude wird durch eine zentrale Lüftungsanlage mit einem Zweikanal-System klimatisiert. Die Zuluft wird als Mischlüftung über im Raum verteilte Zuluftkästen eingebracht. Die Abluft wird über Schattenfugen in jedem Raum zentral abgesaugt. In der Mitarbeiterküche erfolgt nur eine Abluftabsaugung. Die WC-Abluft wird über einen Dachventilator direkt abgesaugt und abgeführt. Die Beheizung erfolgt im Winter durch statische Heizkörper.

Fertigungshalle

Die Fertigungshalle ist hergestellt in Industriebaustandard. Das Flachdach ist mit einer 100 mm Dämmung und Dachhaut mit aufgeschütteter Kiesschicht hergestellt. Die Fassade ist hergestellt aus Sandwichpaneelen in Trapezform mit d = 65 mm. Ein Sektionaltor mit 4,5 × 4,5 m sowie Fensterflächen aus Regalit (Nord- und Ostseite) sind vorhanden. Das Fensterband auf der Westseite ist mit einem Sonnenschutz

aus elektrisch gesteuerten Jalousien ausgestattet. Die Bauschwere kann als >mittel-schwer eingestuft werden.

Die Halle wird mit Quecksilberdampflampen beleuchtet. Die Beleuchtung im Büroteil erfolgt mit LED.

Die Fertigungshalle wird durch eine Umluftanlage erwärmt. Der Büroteil wird durch statische Heizkörper erwärmt. Ein Umluftkühlgerät ist vorhanden und an den Sekundärkreis der Kälteanlage angeschlossen. Die Umluft der Halle wird auch in den Büroteil eingeblasen.

A 4.1.3 Nutzungsparameter und innere Lasten

Bürogebäude

Das Büro ist z. Zt. voll ausgelastet. Im EG befindet sich die Eigentümerfirma. Das OG wird jeweils zur Hälfte an zwei verschiedene Unternehmen vermietet.

Jedem Mitarbeiter ist ein PC zuzuordnen. Im EG Kopierraum ist ein Server und Kopierer vorhanden.

A 4.1.4 Kühllasten

Die spezifische Kühllast ist grundsätzlich durch den Nutzer anzugeben. Hier konnten jedoch keine Angaben gemacht werden. Eine ausführliche Kühllastberechnung nach VDI 2078:1996-06 ist nicht Umfang einer Inspektion. Um dennoch eine Einschätzung zur Dimensionierung der Anlagentechnik zu erhalten, wird in der DIN SPEC 15240:2013-10, S. 15 die Gesamtkühllast aus der Summe der spezifischen Kühllast, der Nutzfläche und der Kühlleistung der Luftaufbereitung ermittelt. Somit wird die äußere Kühllast vollständig ausgelassen. Die hierdurch eingeschränkte Aussagekraft der erforderlichen Kühllast ist bei der Bewertung zu beachten.

Die im Rahmen der energetischen Inspektion zu ermittelnde Gesamtkühllast setzt sich somit zusammen aus:

$$\dot{q}_{c,Ges,i} = \left[\sum_1^n (\dot{q}_{c,Zone,n} \times A_{Zone,n}) + \sum_1^j \dot{q}_{c,RLT,j} \right] \times f_c \quad (1)$$

$\dot{q}_{c,Ges,i}$ Gesamtkühllast des Kälteversorgungsbereiches i [W]

$\dot{q}_{c,Zone,n}$ spez. Kühllast der Zone n (ohne Luftaufbereitung) [W/m^2]

$A_{Zone,n}$ gekühlte Nutzfläche der Zone n [m^2]

$\dot{q}_{c,RLT,j}$ Kühlleistung zur Luftaufbereitung der angeschlossenen RLT-Kühlregister j [W]

f_c Endenergiefaktor Kälte wird hier mit 1,34 (6/12 °C) angenommen

Ermittlung der inneren Kühllast über Benchmarks

Anhand von Benchmarks aus der DIN SPEC 15240:2013-10 wird nachfolgend die innere Kühllast überschlägig ermittelt. Die Werte des Benchmarks werden, aufgrund spezifischer Gegebenheiten, abschlägig auf plausible Werte für die tatsächliche Nutzung angepasst.

Ermittlung der Kühllast für die Luftaufbereitung

$$\dot{Q}_{c,RLT,j} = \dot{V} \times p_{Luft} \times c_{Luft} \times \Delta_T \quad (2)$$

$\dot{Q}_{c,RLT,j}$	Erforderliche Kühlleistung zur Luftaufbereitung	[kW]
\dot{V}	Luftvolumenstrom 2,08	[m ³ /s]
p_{Luft}	Dichte Luft 1,2	[kg/m ³]
c_{Luft}	spez. Wärmekapazität Luft 1	[kJ/kg · K]
Δ_T	Temperaturdifferenz (32 °C – 15 °C) 15	[K]

Hieraus ergibt sich eine erforderliche Kühllast von 37,44 kW Kälteleistung für die Luftkonditionierung.

Zusammenfassung Kühllasten

Somit ergibt sich aus

- der spez. Kühlleistung durch die Nutzung von 17,8 kW,
- der Kühlleistung zur Luftaufbereitung von 37,44 kW und
- dem Endenergiefaktor 1,34

eine erforderliche Gesamtkühllast von rund 74,0 kW.

Hierbei ist die äußere Kühllast noch nicht berücksichtigt. Die Kältemaschine stellt gegenüber den erforderlichen 74,0 kW nur 35 kW Kälteleistung zur Verfügung. Zudem ist ein Pufferspeicher von 1.000 l vorhanden. Aus der Erfahrung der Mitarbeiter vor Ort wird die Kühlleistung im EG als ausreichend bewertet. Im Sommerfall ist die Kühlung im OG jedoch zeitweise kaum ausreichend.

Die Dimensionierung der Kältemaschine kann somit bei aktueller Betriebsweise als knapp, aber noch angemessen bewertet werden. Eine ausführliche Kühllastberechnung ist daher nicht erforderlich.

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Fläche [m ²]	Personen	spez. Kühllast [W/m ²]	Kühllast innere [W]
EG					
1	Besprechung	19,8			0,0
2	Chef	13,0	1	40	518,4
3	Sekretariat	13,0	1	40	518,4
4	Büro CAD2	43,7	3	40	1.747,2
5	Kantine	17,3		40	691,2
6	WC D+H	17,8			
7	Umkl. + Dusche	17,8			
8	Foyer	23,0			
9	Flur 1	18,4			
10	Flur 2	6,0			
11	Flur 3	10,6			
12	Kopierraum	13,0		50	648,0
13	Putzraum	1,4			
14	Schacht	4,3			
15	Büro CAD1	19,8	2	40	792,0
16	Büro, groß	72,0	6	40	2.880,0
17	Treppenhaus + Windfang	17,3			
18	Heizraum	37,4			
19	Hausanschlussraum	8,6			
OG					
1	Büro 2.1	51,8	2	40	2.073,6
2	Büro 2.2	58,3	2	40	2.332,8
3	Flur 2.1	19,4			
4	Flur 2.2	11,5			
5	WC	11,5			
6	Büro 1.1	46,1	2	40	1.843,2
7	Büro 1.2	58,3	2	40	2.332,8
8	Flur 1.1	19,4			
9	Flur 1.2	11,5			
10	WC	11,5			
11	Putzraum	1,4			
12	Schacht	4,3			
13	Treppenhaus + Windfang	17,3			
Fertigungshalle					
1	Fertigungshalle	264,0			
2	Büro	36,0	4	40	1.440,0
	Summen	996,6	25,0		17.817,6

Tabelle A5: Berechnung der inneren Kühllast über Benchmarks mit 17,8 kW

A4.1.5 Klima- und Behaglichkeitsparameter

Luftvolumenstrom

Bei der Festlegung der Luftvolumenströme ist eine weite Streubreite festzustellen, da die Vorgaben in Normen sowie in der Literatur deutlich voneinander abweichen.

Nach **DIN EN 15251:2012-12** kann ein erforderlicher Volumenstrom von rund 1.300 m³/h festgestellt werden. Hierbei macht die Norm jedoch keine Angaben für WC, Nebenräume, Flure und Küchen. Diese können aus der DIN EN 13799:2007-09 mit 1.350 m²/h hinzugenommen werden. Somit sind insgesamt **2.650 m³/h** anzusetzen.

Nach **DIN EN 13799:2007-09** ist ein Volumenstrom für Personen von rund 2.750 m³/h erforderlich. Hierzu ist der Volumenstrom für die Materialimmissionen hinzuzurechnen. Dieser kann mit 50 % des ermittelten Volumenstroms (1.300 m³/h /2 = 650 m³/h) nach DIN EN 15251:2012-12 festgelegt werden. Somit können nach DIN EN 13799:2007-09 insgesamt **3.400 m³/h** berechnet werden.

Nach **Recknagel** kann ein erforderlicher Volumenstrom von rund 5.850 m³/h festgestellt werden. Hierzu sind noch die Flur- und Nebenflächen mit rund 400 m³/h hinzuzuzählen. Somit sind nach Recknagel insgesamt **6.250 m³/h** festzustellen.

Entsprechend der Zusammenstellung ist aus hygienischen Gründen ein Luftvolumenstrom von min. 2.650 m³/h bis max. 6.250 m³/h erforderlich. Als erforderlicher Außenluftvolumenstrom wird der Mittelwert mit rund 4.500 m³/h als ausreichend festgestellt.

Zur Abführung der inneren thermischen Lasten im Sommer ist jedoch zusätzlich ein Luftvolumenstrom von rund 3.600 m³/h erforderlich. Hierin sind jedoch nicht die externen thermischen Lasten berücksichtigt. Sollte auch diese Last berücksichtigt werden, ist eine fachgerechte Kühllastberechnung erforderlich. Dies würde zu einem höheren Luftvolumenstrom führen.

Somit sollte die Lüftungsanlage auf einen Gesamtvolumenstrom von min. 8.100 m³/h ausgelegt werden.

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Fläche [m ²]	Volumen [m ³]	Personen/ WC o. Urinal [Stk]	DIN EN 15251:2012-12 Kat. III schadstoffarm		DIN EN 13799:2007-09 IDA 2		Erfahrungswerte nach Recknagel		Belüftung Flure/Neben- räume	
EG		h=2,75 m										
1	Besprechung	19,8	54	9	8,64	171,1	45,0	405,0	7,0	381,2		
2	Chef	13,0	36	1	2,88	37,3	45,0	45,0	4,5	160,4		
3	Sekretariat	13,0	36	1	2,88	37,3	45,0	45,0	4,5	160,4		
4	Büro CAD2	43,7	120	3	2,88	125,8	45,0	135,0	4,5	540,5		
5	Küche	17,3	48					108,0	4,5	213,8		
6	WCD+H	17,8	49	6			54,0	324,0	5,0	244,2		
7	Umkl. + Dusche	17,8	49				10,8	191,8	5,0	244,2		
8	Foyer	23,0	63				3,1	71,4			1,0	63,4
9	Flur 1	18,4	50				3,1	56,9			1,0	50,5
10	Flur 2	6,0	16				3,1	18,4			1,0	16,4
11	Flur 3	10,6	29				3,1	32,7			1,0	29,0
12	Koperraum	13,0	36				3,1	40,2	4,5	160,4		
13	Putzraum	1,4	4				3,1	4,5			1,0	4,0
14	Schacht	4,3										
15	Büro CAD1	19,8	54	2	2,88	57,0	45,0	90,0	4,5	245,0		
16	Büro,groß	72,0	198	6	2,88	207,4	45,0	270,0	4,5	891,0		
17	Treppenhaus + Windfang	17,3	48				3,1	53,6			1,0	47,5
18	Heizraum	37,4										
19	Hausanschluss- raum	8,6										
OG		h=2,4 m										
1	Büro 2.1	51,8	124	2	2,88	149,3	45,0	90,0	4,5	559,9		
2	Büro 2.2	58,3	140	2	2,88	168,0	45,0	90,0	4,5	629,9		
3	Flur 2.1	19,4	47				3,1	60,3			1,0	46,7
4	Flur 2.2	11,5	28				3,1	35,7			1,0	27,6
5	WC	11,5	28	2			54,0	108,0	5,0	138,2		
6	Büro 1.1	46,1	111	2	2,88	132,7	45,0	90,0	4,5	497,7		
7	Büro 1.2	58,3	140	2	2,88	168,0	45,0	90,0	4,5	629,9		
8	Flur 1.1	19,4	47				3,1	60,3			1,0	46,7
9	Flur 1.2	11,5	28				3,1	35,7			1,0	27,6
10	WC	11,5	28	2			54,0	108,0	5,0	138,2		
11	Putzraum	1,4	3				3,1	4,5			1,0	3,5
12	Schacht	4,3										
13	Treppenhaus + Windfang	17,3	41				3,1	53,6			1,0	
Summen		696,6		40	34,6	1.253,8		2.717,5		5.834,8		362,8

Tabelle A6: Zusammenstellung des erforderlichen Luftvolumenstrom

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_{C,Ges,i}}{p_{Luft} \times c_{Luft} \times \Delta_T} \quad (3)$$

$\dot{Q}_{C,Ges,i}$	Gesamtkühllast des Kälteversorgungsbereiches i ohne Endenergiefaktor, Innere Last 17.800 W	[kW]
\dot{V}	Kühllast zur Luftkühlung von 4.500 m ³ /h mit 22.500 W	
p_{Luft}	Luftvolumenstrom	[m ³ /s]
c_{Luft}	Dichte Luft 1,2	[kg/m ³]
ΔT	spez. Wärmekapazität Luft 1	[kJ/kg K]
	Temperaturdifferenz (32 °C – 15 °C) 15	[K]

Temperaturen

Die Regelung erfolgt über die Ablufttemperatur der Gesamtluftmenge.

	min. Temperatur [°C]	max. Temperatur [°C]	Bemerkung
Winter	21	22	gleitend
Sommer	21	22	gleitend

Tabelle A7: Temperatur Sollwerte

Nach DIN EN 15251:2012-12 beträgt die Komfortraumtemperatur

- 22 °C bei einer Außentemperaturen unter 16 °C und
- 26 °C bei Außentemperaturen über 32 °C
- Dazwischen sollte die Komfortraumtemperatur gleiten^{A1}
- Die operative Temperatur kann um ±2 K schwanken

Die Temperaturen entsprechen typischen Einstellwerten und können beibehalten werden.

Eine Nachtauskühlung findet im Sommer nicht statt.

Die Umluftbeimischung liegt im Bedarfsfall bei max. 30%.

A1 Komforttemperatur, gleitend=18 °C + 0,25 × Außentemperatur

A4.1.6 Betriebszeiten und Regelung

Die Kernbelegung ist i. d. R.:

- Mo. – Do. 08:00 – 17:00 Uhr
- Fr. 08:00 – 15:00 Uhr

Die eingestellten Betriebszeiten der Lüftungsanlage sind:

- Mo. – Do. 08:00 – 17:00 Uhr
- Fr. 08:00 – 15:00 Uhr
- Sa. – So. aus
- Feiertage wie Wochentage
- Betriebsferien wie Wochentage

A 4.2 Lüftungsanlage

Die zentrale Lüftungsanlage für das Bürogebäude ist in einem Technikraum im EG untergebracht. Das Herstelljahr ist 1992. Die techn. Daten der Komponenten sind in der Checkliste gem. VDMA 24197-1:2012-07 aufgenommen worden.

Die Zuluft besteht aus den Sektionen:

1. Außenluftkammer mit Außenluftfilter F7
2. Wärmerückgewinnung (Röhrenwärmetauscher)
3. Erhitzer
4. Kühler
5. Schalldämpfer
6. Ventilator mit Rückwärtsgekrümmte Schaufeln, Keilriemenantrieb

Die Abluft besteht aus den Sektionen:

1. Schalldämpfer
2. Ventilator mit Rückwärtsgekrümmte Schaufeln, Keilriemenantrieb
3. Leerkammer
4. Wärmerückgewinnung (Röhrenwärmetauscher)
5. Schalldämpfer

Die Lüftungsanlage ist in einem gepflegten Zustand. Jedoch ist die Filterüberwachung defekt.

Nachfolgend Auszüge der Bilddokumentation:



Abbildung A1: Bedieneite RLT-Gerät



Abbildung A2: Abluftventilator mit Antrieb, guter Reinigungszustand



Abbildung A3: Heizregister, Abströmseite im guten Reinigungszustand



Abbildung A4: Fortluftklappe, geschlossen.
Umluftklappe, 100% offen



Abbildung A5: Außenluftfilterüberwachung, defekt

Abbildung A6: FU-Steuerung der Abluft und Zuluft, nachgerüstet



Abbildung A7: Schaltschrank Innenansicht, Saia-Steuerung nachgerüstet

Abbildung A8: Schaltschrankanlage



Abbildung A9: Außenluftfilter, Wartungszustand gut



Abbildung A10: Beschriftung an Revisionstür RLT-Gerät, letzte Wartung 05/2013



Abbildung A11: Abluftventilator WC, Duschen und Küche

A 4.2.1 Effizienzkennwert E_{RLT}

Der ermittelte Energiekennwert beträgt 13,4 kWh/m³/h und liegt damit, in Anbe-tracht des Anlagenalters, auf einem guten Niveau. Insbesondere röhrt dies von der mäßigen Luftleistung und der vorhandenen WRG her.

Der Differenzdruck der Ventilatoren konnte nicht gemessen werden ohne Druckmess-stopfen in die Gerätewand einzubohren. Daher wurde auf eine Messung verzichtet. Zur Berechnung des Systemwirkungsgrades der Ventilatoren wurden die Hersteller-daten verwendet.

Der Systemwirkungsgrad für die Ventilatoren beträgt:

$\eta_{fas,Zuluft}$ 81 %

$\eta_{fas,Abluft}$ 79 %

Somit liegt der Wirkungsgrad des Zuluftventilators im Vergleich zu anderen Riemen-antrieben im normalen Bereich.

Der Wirkungsgrad des Abluftventilators kann nach DIN EN 13779:2007-09 als >hoch< eingestuft werden.

Berechnung des Energiekennwertes RLT

FGK Status-Report Nr. 5.1 Version 3.0 BETA

Eingabewerte
Auswahlfelder



Angaben zur RLT-Anlage:		Büro Lüftungsanlage	Bearbeiter: Löwen
			Datum: 25.05.2015
Nennluftvolumenstrom:		6.048 m ³ /h	
El. Leistung Zuluftventilator		1.710 kW	P SFP Zuluft 1.018 W/m³/s
Abluftvolumenstrom		3.780 m ³ /h	
El. Leistung Abluftventilator		0,690 kW	P SFP Abluft 657 W/m³/s
Wärmerückgewinnung	Wärmerückgewinnung		Luftförderung:
Rückwärmzahl		40 %	
Nebenantrieb WRG		kein	$\Delta_{pstat,Zuluft}$ Pa
Heizmedium		70	$\Delta_{pstat,Abluft}$ Pa
Kühlung		Ja	
Kühlmedium		6/12	
Befeuchtung		ohne Befeuchtung	Systemwirkungsgrad Ventilator
Befeuchtertyp		ohne Befeuchtung	$\eta_{fas,Zuluft}$ 0 %
Befeuchterenergie (Dampf)		kein	$\eta_{fas,Abluft}$ 0 %
Befeucherregelung (Wasser)		kein	
Energiebedarf für Nennluftvolumenstrom:		Energie:	Bedarf Wh/m ³ /h Prim Wh/m ³ /h
Wärme:	28.933 kWh	Wärme	4.784 7.104
Kälte:	10.561 kWh	Kälte	1.746 1.585
Dampf:	0 kWh	Dampf	0 0
Strom für Ventilatoren + Neben:	10.512 kWh	Ventil+Neb.	1.738 4.693
Energiekennwert Typ		Leckluftvolumenstrom	c leak
ERLT-C3		Klasse B	1,02
Energiekennwert ERLT			
13,4 kWh/m³/h Jahr			
Bestand	27,6		
EnEV 2007	17,3		
EnEV 2009	11,9 kWh/m ³ /h Jahr		
0,0	10,0	20,0	30,0
Maximalwert		29,13	40,0

Tabelle A8: Energiekennwert Berechnung Lüftungsanlage gem. FGK [Fachinstitut Gebäude-Klima e. V. (2004)]

A 4.3 Kälteanlage

Die Kälteanlage ist auf einer Stahlbühne in der Fertigungshalle aufgestellt. Das Baujahr der Anlage ist 2011. Die Anlage wird mit R407C betrieben.

Eine Wartung an der Kältemaschine selber ist bisher nicht erfolgt. Der hydraulische Anschluss erfolgte nicht gem. den Herstellerangaben. Es fehlen Schmutzfänger, Manometer RL, Thermometer RL+VL sowie Kompensatoren.

Ein Anlagenhandbuch ist nicht vorhanden.



Abbildung A12: Gesamtansicht
Kältemaschine



Abbildung A13: Detailansicht des
Scrollverdichters



Abbildung A14: Au&senluftansaugung durch
zwei Wickelfalzrohre



Abbildung A15: Pufferspeicher, links
Sekundärpumpe mit Umlenkventil, rechts
Primärpumpe



Abbildung A16: Anströmseite Verflüssiger



Abbildung A17: Umluftkühlgerät
(Anschluss an VL Sekundärpumpe)

A 4.3.1 Effizienzkennwerte für das Kälteerzeugungssystem E_{KK}

Der Effizienzkennwert für das Kälteerzeugungssystem wurde mithilfe des Excel-Tools FGK Status-Report Nr. 6 ermittelt. Hierdurch wird die Effizienz des Kälteerzeugungssystems einer Standardnutzung gegenübergestellt.

Im Ergebnis liegt das Kälteerzeugungssystem im oberen Mittelfeld.

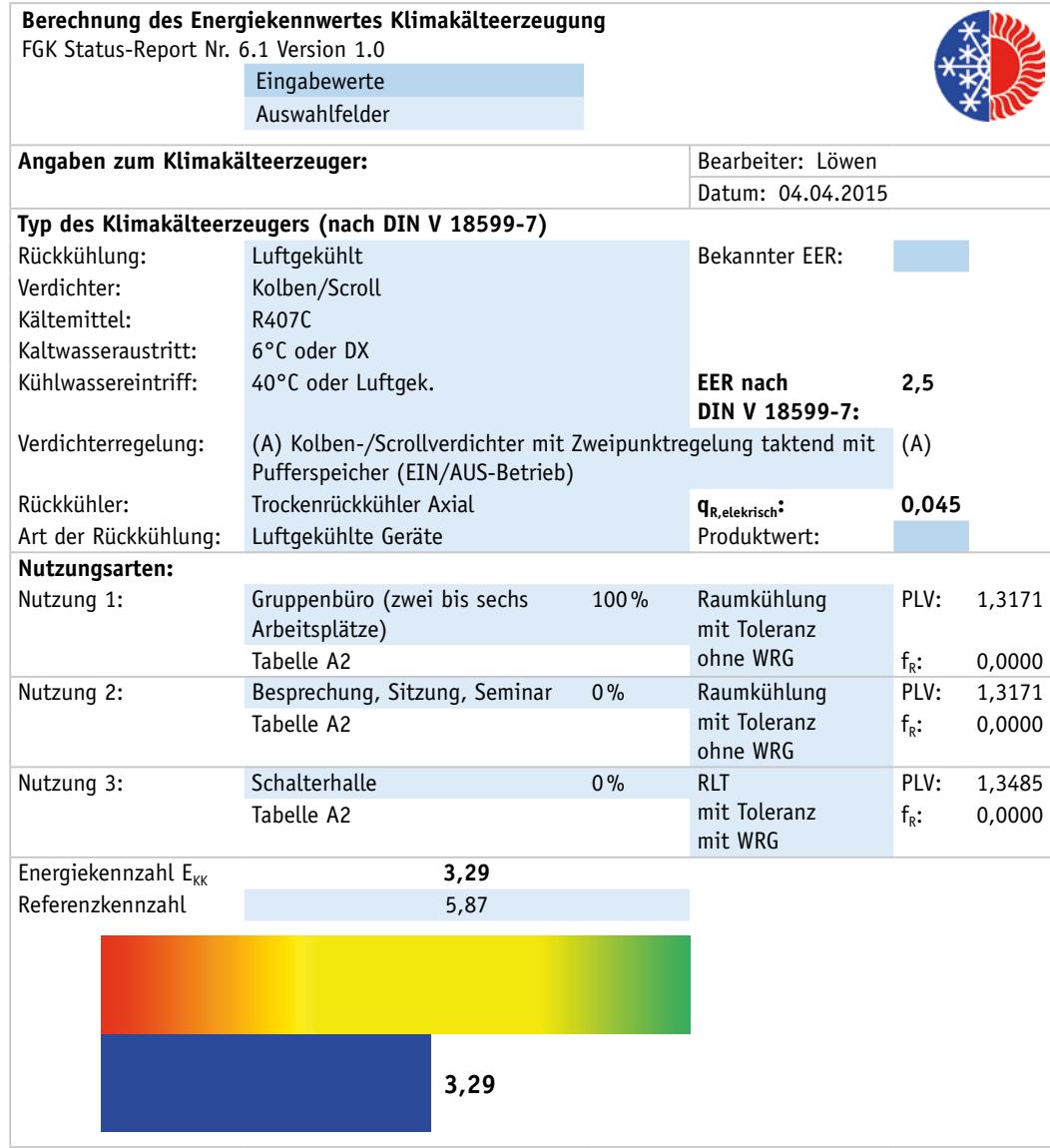


Tabelle A9: Ermittlung des Effizienzkennwert für das Kälteerzeugungssystem

Aufgrund des Anlagenalters, der aufgezeigten Effizienz und der Bauweise sind keinerlei energetische Verbesserungen möglich.

A 4.4 Kaltwasserverteilung

Der spez. Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung wurde nach der Formel (4) ermittelt und beträgt bei intermittierender Betriebsweise ($2.200 \text{ h/a} \times 540 \text{ W}$) für den Sekundärkreis rund 34 (kWh/a)/kW . Da die Pumpe im Primärkreis die gleiche Bau- und Betriebsweise hat, beträgt auch hier der spez. Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung 34 (kWh/a)/kW .

$$q_{\text{Verteilung}} = \frac{Q_{Z,\text{aux},d,a}}{\dot{Q}_{C,\text{out},g}} \quad (4)$$

$q_{\text{Verteilung}}$	spez. Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung	[W/kW]
$Q_{Z,\text{aux},d,a}$	Summe Hilfsenergiebedarf Pumpen im Kälteverteilnetz	[kWh/a]
$\dot{Q}_{C,\text{out},g}$	Nennkälteleistung der Kältemaschine	[kW]

	spez. Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung	Typischer Wert nach DIN V 18599-7:2011-12	Relative Abweichung	Zulässiger Wert nach EnEV 2014	Relative Abweichung
	[(kWh/a)/kW]	[(kWh/a)/kW]	[%]	[(kWh/a)/kW]	[%]
Sekundärkreis	34	20	+70	30	+13
Primärkreis	34	5	+580	20	+70

Tabelle A10: Vergleich der spez. Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung

A 5 Handlungsempfehlungen

Aus der Analyse zahlreicher energetischer Inspektionen (2007 – 2013) wurde in einer Studie die am häufigsten empfohlenen Einsparpotenziale zusammengetragen.

Nachfolgend sind die Einsparpotenziale aufgelistet um die grundsätzlichen Handlungsmöglichkeiten mit der jeweiligen Wirkung aufzuzeigen.

Nr.		Einsparpotenziale		Bemerkung
		Wärme	Strom	
1	Volumenstromreduzierung bis 20 %	10 %	15 %	
2	Volumenstromreduzierung > 20 %	25 %	30 %	
3	Reduzierung der Betriebszeit	8 %	8 %	
4	zus. Klappen, Volumenstromregler für Zonierung	0 %	0 %	siehe bedarfsgerechte Volumenstromregelung
5	bedarfsgerechte Volumenstromregelung	20 %	25 %	
6	Absenkbetrieb	15 %	20 %	
7	Sollwerte optimieren Temperaturen	5 %	2 %	
8	Sollwerte optimieren Feuchte	5 %	0 %	
9	Optimierte Regelstrategie	10 %	10 %	
10	Nachtlüftung	0 %	3 %	
11	natürliche Lüftung	0 %	10 %	
12	freie Kühlung vorsehen	0 %	10 %	
13	Ventilatortausch	0 %	x %	individuelle Berechnung mit Systemwirkungsgrad neu= 60 %
14	WRG nachrüsten	70 %	- 6 %	
15	WRG verbessern	30 %	- 3 %	
16	MSR verbessern	0 %	0 %	siehe optimierte Regelungsstrategie
17	Wartungsmängel beseitigen	3 %	3 %	
18	Luftdichtigkeit Kanalnetz	5 %	5 %	
19	grundsätzliche Systemänderungen	30 %	40 %	
20	Rückbau/Alternativlösungen	30 %	40 %	

Tabelle A11: Faktoren zur Einschätzung der Potenziale zu einzelnen Maßnahmen
[Schiller (2014), S. 62]

A 5.1 Alternativlösungen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage

Das Alter der Lüftungsanlage beträgt nunmehr 23 Jahre. Die rechnerische Nutzungsdauer ist somit nach VDI 2067:2012-09 überschritten. Daher sind alle energetischen Verbesserungsmaßnahmen insbesondere dem Anlagenalter angemessen zu bewerten.

Grundsätzlich kann die jetzige Systemlösung mit Kältemaschine und RLT-Anlage beibehalten werden.

A 5.2 Austausch zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage

A 5.2.1 Pumpenaustausch

Die wesentlichen Parameter für den elektrischen Energieaufwand bei Pumpen im Kühlkreislauf sind nach DIN EN V 18599-7:2011-12:

- Güte der Auslegung
- Pumpenbauart und -wirkungsgrad
- Einsatz ungeregelter oder geregelter Pumpen
- Regelungsart der Pumpen
- Lamellenteilung < 2 mm

Gemäß den Darstellungen in Kap. 4.4 ist die Primärpumpe offensichtlich deutlich überdimensioniert und kann durch eine kleinere sowie effizientere Pumpe ersetzt werden. Hierdurch lassen sich schätzungsweise rund 1.200 kWh/a reduzieren.

Die Pumpe im Sekundärkreis ist angemessen dimensioniert. Der Energieverbrauch kann um rund 20 % durch eine effizientere Pumpe gesenkt werden. Hierdurch lassen sich jährlich rund 240 kWh einsparen.

A 5.2.2 Austausch des Röhrenwärmetauschers gegen ein KV-System

Ein besonderer Nachteil des Röhrenwärmetauschers ist, dass im Sommer keine Kälterückgewinnung erfolgen kann.

Mit kapillarer Funktion beträgt die Rückwärmezahl 0,5 bis 0,8. Bei der Funktion durch Schwerkraft beträgt die Rückwärmezahl 0,2 bis 0,4. Vor Ort konnte die Funktionsweise nicht festgestellt werden. Technische Unterlagen des Gerätes liegen nicht vor. Es wird eine Rückwärmezahl von 0,4 angenommen.

Ist der Röhrenwärmetauscher mit der Funktion durch Schwerkraft ausgestattet, sollte dieses durch ein effektiveres System erneuert werden. Aufgrund der beschränkten Bausituation ist nur ein KV-System möglich. Hier ist der Einsatz eines Gegenstrom-Schichtwärmtauschers sinnvoll. Hierdurch lassen sich Rückwärmezahlen von 0,7 bis 0,8 erreichen. Der mögliche Einbau ist zu prüfen.

Bei Einsatz eines KV-Systems mit der Rückwärmezahl 0,7 lassen sich rund 90 % der bisherigen Wärmekosten einsparen, was rund 26.000 kWh entspricht. Die Betriebskosten für die Pumpe steigen als erforderliche Hilfsenergie um rund 400 kWh/a.

A 5.2.3 Austausch des Keilriemenantriebs gegen einen Flachriemenantrieb

Der Typische Systemwirkungsgrad eines Keilriemenantriebs mit <3,0 kW kann mit 80 % angenommen werden. Hingegen erreicht der Systemwirkungsgrad eines Flachriemenantriebs 93 %.

Hierdurch lassen sich die Kosten für Strom direkt um rund 13 % (rund 1.300 kWh) senken.

A 5.3 Maßnahmen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage

Die Filterüberwachung sollte erneuert werden. Hierdurch wird zwar keine Verbesserung der energetischen Eigenschaft der Anlage erreicht, jedoch kann nur so der Druckverlust überwacht und rechtzeitige Abhilfe geschafft werden.

Anlegen und Führen eines Anlagenhandbuches ist unerlässlich. Hierin sind die Wartungsprotokolle der Anlage und der Brandschutzklappen sowie Hygieneprüfungen abzulegen.

Die Umluftklappe ist bei Anlagenstillstand gem. VDI 6022 zu schließen. Die Anlagenabschaltung sollte auch an Feiertagen erfolgen.

A 6 Allgemeine Hinweise und Anmerkungen

Die Dokumentation ist ab der Vorinspektion in einem Ordner aufzubewahren und zu pflegen, damit diese für die nachfolgende Inspektion verfügbar ist.

Bei Anlage mit variablen Luftvolumenstrom wird bei Nichtwohngebäuden auf die Forderungen der DIN EN 12599 und bei Wohngebäuden auf die DIN EN 14134 hingewiesen.

Sind Verbrauchsmessgeräte vorhanden, wird jedoch der Verbrauch nicht aufgezeichnet, es wird eine regelmäßige Aufzeichnung der Zählerstände empfohlen.

A7 Abbildungsverzeichnis Inspektionsbericht

Abbildung A1: Bedienseite RLT-Gerät. *Seite 140*

Abbildung A2: Abluftventilator mit Antrieb, guter Reinigungszustand. *Seite 140*

Abbildung A3: Heizregister, Abströmseite im guten Reinigungszustand. *Seite 140*

Abbildung A4: Fortluftklappe, geschlossen. Umluftklappe, 100 % offen. *Seite 140*

Abbildung A5: Außenluftfilterüberwachung, defekt. *Seite 141*

Abbildung A6: FU-Steuerung der Abluft und Zuluft, nachgerüstet. *Seite 141*

Abbildung A7: Schaltschrank Innenansicht, Saia-Steuerung nachgerüstet. *Seite 141*

Abbildung A8: Schaltschrankanlage. *Seite 141*

Abbildung A9: Außenluftfilter, Wartungszustand gut. *Seite 142*

Abbildung A10: Beschriftung an Revisionstür RLT-Gerät, letzte Wartung 05/2013.
Seite 142

Abbildung A11: Abluftventilator WC, Duschen und Küche. *Seite 142*

Abbildung A12: Gesamtansicht Kältemaschine. *Seite 145*

Abbildung A13: Detailansicht des Scrollverdichters. *Seite 145*

Abbildung A14: Außenluftansaugung durch zwei Wickelfalzrohre. *Seite 146*

Abbildung A15: Pufferspeicher, links Sekundärpumpe mit Umlenkventil, rechts Primärpumpe. *Seite 146*

Abbildung A16: Anströmseite Verflüssiger. *Seite 146*

Abbildung A17: Umluftkühlgerät (Anschluss an VL Sekundärpumpe). *Seite 146*

A8 Tabellenverzeichnis Inspektionsbericht

Tabelle A1: Anlagenübersicht. *Seite 126*

Tabelle A2: Zusammenstellung der Grundfläche EG. *Seite 128*

Tabelle A3: Zusammenstellung der Grundflächen OG. *Seite 129*

Tabelle A4: Zusammenstellung der Grundfläche Fertigungshalle. *Seite 130*

Tabelle A5: Berechnung der inneren Kühllast über Benchmarks mit 17,8 kW.
Seite 133

Tabelle A6: Zusammenstellung des erforderlichen Luftvolumenstrom. *Seite 135*

Tabelle A7: Temperatur Sollwerte. *Seite 136*

Tabelle A8: Energiekennwert Berechnung Lüftungsanlage gem. FGK [Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. (2004)]. *Seite 142*

Tabelle A9: Ermittlung des Effizienzkennwert für das Kälteerzeugungssystem.
Seite 145

Tabelle A10: Vergleich der spez. Elektroenergiebedarf der Kaltwasserverteilung.
Seite 146

Tabelle A11: Faktoren zur Einschätzung der Potenziale zu einzelnen Maßnahmen [Schiller (2014), S. 62]. *Seite 147*

Stichwortverzeichnis

B

bedarfsgerechte Lüftung 66
Befeuchtungssystem 90
Betriebsoptimierung 18

D

Dichtheitsklasse 95, 96
Direktantrieb 79
Durchführungsfrist 10

E

Effizienzkennwert E_{RL} 38
Einbaufaktor 80
Energiekonzept 55

F

Filtertechnik 72
Flachriemen 79
Frequenzumformer 85

H

Hydraulischer Abgleich 58

I

Impulslüftung 69

K

Kaltwasserverteilung 52
Keilriemenantrieb 79
Klimakonzept 55
Konstantdruckregelung 64
Kühllast 33

L

Leistungsabgrenzung 31
Leistungsregelung 85
Leistungsumfang 29
Luftgeschwindigkeit 99

M

Mischlüftung 68
Motorwirkungsgrad 89

N

Nennkälteleistungszahl EER 53
Nennkühlleistung 25

P

Proportionaldruckregelung 64

Q

Qualifikationsanforderung 11
Quelllüftung 69

R

Registriernummer 26
Rückwärmzahl 47, 48

S

Saugtasche 83
SFP-Wert 44
Sollwertfeld 89
Sollwertpunkt 89
Stammdatenblatt 32
Systemtemperatur 58
Systemwirkungsgrad 46

T

Taupunktregelung 89

V

Ventilautorität 56
Vorinspektion 31

W

Wärmedämmung 49
Wirkungsgradverlauf 59

Energetische Inspektion von Lüftungs- und Kälteanlagen

Durchführung, Einsparpotenziale, Inspektionsbericht

Die Europäische Union hat ihren Willen zur Reduzierung der Umweltbelastung u.a. durch die EPBR-Richtlinie – und daraus folgend die EnEV im nationalen Recht – zum Ausdruck gebracht. Mit der energetischen Inspektion ist ein sinnvolles und pragmatisches Analysewerkzeug zur Offenlegung von Einsparpotenzialen im Bereich der Gebäudetechnik gefunden worden.

Studien konnten eine Reduktion des Schadstoffausstoßes aufgrund von Empfehlungen der Inspektoren in einem bemerkenswerten Ausmaß feststellen. So ist eine Reduktion von 12,9 Mio.t CO₂ allein bei Lüftungsanlagen mit Kühlfunktion zu erwarten. Gleichzeitig lässt sich jedoch auch feststellen, dass trotz der Verpflichtung zur Durchführung von energetischen Inspektionen, selbst unter Androhung von Bußgeldern, das Einsparpotenzial in der Praxis nicht genutzt wird. Gründe hierfür sind die mangelnde Kenntnis der gesetzlichen Vorgaben, persönliche Beweggründe der betroffenen Mitarbeiter und eine fehlende Prüfung der Kontrollorgane. So werden nur ca. 1,4 – 2,3 % der vorgeschriebenen Inspektionen veranlasst. Darüber hinaus fehlt eine durchgehend angemessene Honorierung der Inspektion. Da die Durchführung eine besondere Qualifikation und Expertise erfordert, ist der mögliche Personenkreis beschränkt. Auf Grund der geringen Honorierung bleibt befähigtes Personal der Thematik fern und Unternehmen zeigen kein Interesse daran, den Markt durch aktive Teilnahme zu beleben.

Das Buch stellt den Leistungsumfang einer Inspektion dar und ermöglicht das effektive Erstellen von Inspektionsberichten. Hierfür wurde beispielhaft ein Inspektionsbericht erstellt und beigelegt. Hierdurch können interessierte Fachleute schnell Zugang zum Thema finden und durch qualitativ hochwertige Inspektionsberichte zur Förderung der Einsparpotenziale beim Gebäudeenergieverbrauch beitragen.

Valentin Löwen

Dipl.-Ing. (FH) Krankenhaustechnikmanagement, Technischer Betriebswirt (SGD), M.Eng. Nachhaltiges Gebäude Energie-Design, seit 2007 Projekt ingenieur für technische Gebäudeausrüstung, Planung und Ausführung von lüftungs-, kalte-, feuerlösch-, heizungs- und sanitärtechnische Anlagen.

