

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences

**Entwicklung eines Konzepts zur energetischen Inspektion von Lüftungs- und
Klimaanlagen in Nichtwohngebäuden gemäß § 12 der EnEV 2009**

Bachelorarbeit

im Studiengang Umwelttechnik

vorgelegt von

Henning Voss



Hamburg

am 10. August 2012

1. Gutachter: Prof. Dr. Heiner Kühle (HAW Hamburg)
2. Gutachter: Dipl. Wirtsch. Ing. Roman Fritsches (Averdung Ingenieurgesellschaft)

Die Abschlussarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Averdung Ingenieurgesellschaft erstellt.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
Abstract.....	8
1. Einleitung und Ziel der Arbeit.....	9
2. Vorgaben aus § 12 der Energieeinsparverordnung 2009.....	11
2.1. Inhalt und Bedeutung von § 12.....	11
2.2. Definition Klimaanlage.....	12
3. Umfang der energetischen Inspektion.....	14
3.1. Prüfung der Dokumentation.....	14
3.2. Prüfung der Anlagendimensionierung.....	16
3.2.1. Kühllast.....	16
3.2.2. Außenluftvolumenströme.....	17
3.2.3. Raumklimaparameter.....	21
3.2.4. Komponentendimensionierung.....	24
3.2.5. Betriebsweise und Regelung.....	24
3.3. Prüfung der Komponenteneffizienz.....	27
3.3.1. Luftförderung.....	27
3.3.2. Wärmerückgewinnung.....	33
3.3.3. Heizen.....	42
3.3.4. Kältetechnik.....	43
3.3.5. Befeuchtung und Entfeuchtung.....	49
3.3.6. Luftdichtheit des Kanalsystems.....	51
3.3.7. Energiekennwert.....	53
3.4. Entwicklung von Alternativlösungen.....	55
3.5. Empfehlungen für den Anlagenbetreiber.....	56
3.6. Konsequenzen und Ausblick.....	57
4. Praxisbeispiel und Erkenntnisse aus der Praxis.....	59
4.1. Anlagen- und Objektbeschreibung.....	59
4.2. Beschreibung und Bewertung von Anlagendimensionierung und Komponenteneffizienz.....	62
4.2.1. Lüftungstechnik.....	62

4.2.2. Kältetechnik	64
4.2.3. Luftdichtheit und Energiekennwert.....	67
4.3. Zusammenfassung und Empfehlungen	69
5. Schlussbetrachtung und Ausblick	73
6. Literaturverzeichnis.....	75
I. Anhang	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundarten der RLT-Anlagen nach Funktionen	13
Tabelle 2: Überschlägige Ermittlung der Kühllast.....	17
Tabelle 3: Raumluftqualität nach DIN EN 13779.....	18
Tabelle 4: Außenluftvolumenströme je Person nach DIN EN 13779.....	18
Tabelle 5: Außenluftvolumenströme je Netto-Bodenfläche nach DIN EN 13779	18
Tabelle 6: CO ₂ -Konzentration in Räumen nach DIN EN 13779	20
Tabelle 7: Temperatur und Luftgeschwindigkeit in Räumen unterschiedlicher Gebäudetypen nach DIN EN ISO 7730	22
Tabelle 8: Klassierung der spezifischen Ventilatorleistung nach DIN EN 13779.....	28
Tabelle 9: Zuschläge für zusätzliche Bauteile nach DIN EN 13779	29
Tabelle 10: Richtwerte für SFP-Klassen bei Bestandsanlagen nach VDI 3803	29
Tabelle 11: Standardwerte für Ventilatoren nach DIN EN 13779.....	30
Tabelle 12: Ventilator-Systemwirkungsgrade.....	30
Tabelle 13: Wirkungsgrade einzelner Luftförderungsbauteile nach DIN EN 13779	31
Tabelle 14: Rückwärmzahl und Druckverlust in WRG-Einheiten nach DIN EN 13053	34
Tabelle 15: Klassen des WRG-Grades und Druckverluste nach DIN EN 13053	35
Tabelle 16: Standardwerte für Rückwärmzahlen nach DIN V 18599-7	38
Tabelle 17: Standardwerte für WRG-Nebenantriebe nach DIN V 18599-7	40
Tabelle 18: WRG-Klassen nach DIN EN 13053:2011	41
Tabelle 19: Energiefaktoren Heizenergie.....	43
Tabelle 20: Kältefaktoren nach DIN V 18599-7.....	48
Tabelle 21: Kennwerte für Dampferzeugung.....	50
Tabelle 22: Kennwerte Wasserbefeuchter	50
Tabelle 23: Leckagefaktor nach DIN EN 15242.....	51
Tabelle 24: Luftdichtheit nach DIN EN 15780.....	52
Tabelle 25: Luftgeschwindigkeiten im Kanalsystem.....	52
Tabelle 26: Luftgeschwindigkeitsklassen im RLT-Gerät nach DIN EN 13053	52
Tabelle 27: Randbedingungen für den Energiekennwert des RLT-Gerätes	53
Tabelle 28: Referenzwerte für RLT-Anlagen	57
Tabelle 29: Zusammenfassung der energetischen Inspektion.....	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flächenanteile des Gebäudebestands in Deutschland.....	9
Abbildung 2: Behaglichkeit - Zusammenhang von Luftfeuchtigkeit und Temperatur...	21
Abbildung 3: Aufbau einer RLT-Anlage	27
Abbildung 4: Abschätzung der Rückwärmzahl bei Plattenwärmeübertragern	36
Abbildung 5: Abschätzung der Rückwärmzahl bei Rotationswärmeübertragern.....	37
Abbildung 6: Abschätzung der Rückwärmzahl bei Kreislaufverbundsystemen.....	38
Abbildung 7: Aufbau einer Kompressions-Kältemaschine mit angeschlossenem Kaltwassersatz	44
Abbildung 8: Anlagenschema der RLT-Anlage	61
Abbildung 9: Anlagenschema Kältetechnik	65
Abbildung 10: Stärken, Schwächen, Chancen und Hemmnisse der Energieeffizienz der RLT-Anlage.....	69

Abkürzungsverzeichnis

ABL	Abluft
AUL	Außenluft
BHKS	Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of Performance
DIN	Deutsches Institut für Normung
DN	Diameter Nominal
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EER	Energy Efficiency Ratio
EFH	Einfamilienhaus
EG	Europäische Gemeinschaft
E _{KK}	Energieteilkennwert Kälteerzeugung
EN	Europäische Norm
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
E _{RLT}	Energiekennwert Luftaufbereitungsgerät
ESEER	European Seasonal Energy Efficiency Ratio
FGK	Fachverband Gebäude-Klima
FU	Frequenzumrichter
GLT	Gebäudeleittechnik
HEPA	High Efficiency Particulate Airfilter
HLK	Heizung, Lüftung, Klima
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IDA	Indoor Air
ISO	Internationale Organisation für Normung

KVS	Kreislaufverbundsystem
MFH	Mehrfamilienhaus
NHRS	Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik
NO ₂	Stickstoffdioxid
NWG	Nichtwohngebäude
O ₃	Ozon
PLV	part load value
PM ₁₀	Particulate Matter
ppm	parts per million
RH	Reihenhaus
RLT	Raumluftechnik
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
SFP	Specific Fan Power
SO ₂	Schwefeldioxid
SPEC	Spezifikation
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
WG	Wohngebäude
WRG	Wärmerückgewinnung
ZUL	Zuluft

Abstract

Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) schreibt für Lüftungs- und Klimaanlage mit einer Nennkälteleistung von mehr als 12 kW die regelmäßige Durchführung von energetischen Inspektionen vor. Ziel dieser Inspektionen ist es, dem Anlagenbetreiber Hinweise auf Maßnahmen zu geben, die zu kostengünstigen Verbesserungen der Energieeffizienz führen. Da die Inspektionsinhalte in der EnEV nicht exakt definiert sind, wird ein Konzept mit notwendigen Arbeitsinhalten entworfen, das die einzelnen Inspektionsschritte konkretisiert und Richtwerte oder Berechnungsgrundlagen gibt. Die Verwendung der Vergleichskennwerte ermöglicht eine hinreichend genaue Beurteilung des Anlagenzustands und erspart dem Anlagenbetreiber höhere Kosten für die Durchführung der Inspektion.

Bei der Prüfung der Anlagendokumentation werden die Kerndaten der Anlage und der klimatisierten Räume zusammengetragen und die Regelmäßigkeit von Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten aufgenommen.

In der darauf folgenden Prüfung der Anlagendimensionierung wird festgestellt, ob die Auslegung der Klimaanlage dem eigentlichen Bedarf entspricht. Dabei werden die Kühllast des Raumes, Luftvolumenströme, Raumklimaparameter und Regelung und Betriebsweise der Anlage erfasst und Vergleichskennwerten aus Normen und Richtlinien gegenübergestellt.

Zur Bewertung der Komponenteneffizienz werden für die wichtigsten Bauteile der Anlage (Ventilator, Wärmerückgewinnung-Einheit, Heizregister, Kältetechnik, Befeuchter und Luftkanalsystem) Kennwerte ermittelt. Diese dienen dann als Grundlage für die Ermittlung des Energiekennwertes des Luftaufbereitungsgerätes (E_{RLT}). Da bei der Berechnung des E_{RLT} -Wertes für das Nutzerverhalten und die Betriebszeiten der Anlage Randbedingungen definiert werden, die nicht zwingend mit den tatsächlichen Bedingungen übereinstimmen, ist der E_{RLT} -Wert alleine nicht ausreichend, um eine Gesamt-Bewertung der Anlageneffizienz vorzunehmen. Daher sind ergänzende, anlagenspezifische Details für die energetische Inspektion unverzichtbar.

Aufbauend auf den Ergebnissen der einzelnen Inspektionspunkte werden dem Anlagenbetreiber abschließend kostengünstige Varianten zur Erhöhung der Energieeffizienz aufgezeigt. Da die inspizierte Anlage unter Bestandsschutz steht und keine Nachrüstpflicht besteht, liegt es am Anlagenbetreiber, die empfohlenen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz der Klimaanlage umzusetzen.

1. Einleitung und Ziel der Arbeit

In Deutschland werden pro Jahr ca. 61.000 zentrale Raumluftechnische-Geräte (RLT-Geräte) installiert, die eine Leistungsaufnahme von 724 MW haben (Kaup, 2010 S. 37). Der Großteil der installierten Anlagen sind kombinierte Zu- und Abluftgeräte (80,9 %), gefolgt von reinen Zuluftgeräten (13,3 %) und Abluftanlagen (5,8 %). Der Anteil für den Betrieb von Kälte-, Klima- und Lüftungsanlagen am gesamten Primärenergieeinsatz der Bundesrepublik Deutschland beträgt ca. 14 % (Pohlmann, 2010).

Mehr als 50 % der RLT-Anlagen wurden vor dem Jahr 1987 in Betrieb genommen und weisen im Vergleich zu Neugeräten geringere Gesamtwirkungsgrade auf (Schiller, 2009 S. 193). Ineffizient laufende Bestandsanlagen stellen somit ein großes Einsparpotential dar und Verbesserungen hinsichtlich der Energieeffizienz können dabei helfen, die politisch vorgegebenen Ziele für eine CO₂-Reduktion und die Senkung des Primärenergieverbrauchs zu erreichen.

Insgesamt gibt es in Deutschland etwa 17,3 Mio. Wohngebäude (WG)¹ und ca. 1,5 Mio. Nichtwohngebäude (NWG). Trotz unterschiedlicher Anzahl der Gebäude, weisen Wohn- und Nichtwohngebäude in Summe etwa die gleiche Nutzfläche auf (Kaup, 2009 S. 3). Zwar gelten die Regelungen aus § 12 der EnEV für Wohn- ebenso wie für Nichtwohngebäude, da sich ein Großteil der ineffizienten, älteren RLT-Anlagen aber in Nichtwohngebäuden befindet, beschränkt sich diese Arbeit auf diesen Bereich (Donnerbauer, 2012 S. 18).

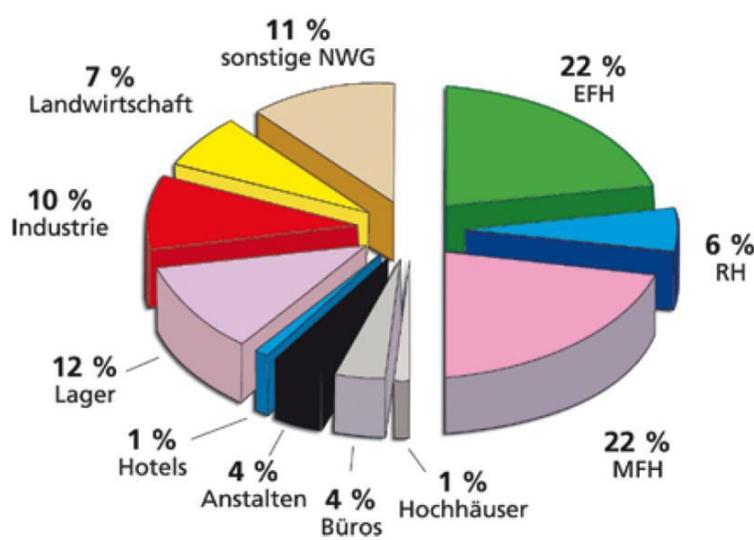


Abbildung 1: Flächenanteile des Gebäudebestands in Deutschland (Kaup, 2009)

¹ WG: Ein Gebäude, dessen Gesamtnutzfläche zu mehr als der Hälfte für Wohnzwecke genutzt wird, wird als Wohngebäude bezeichnet (Pistohl, 2009).

Ein politisches Instrument zur Reduzierung von Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß stellt Paragraph 12 der Energieeinsparverordnung (EnEV) dar, in dem für Kühl- und RLT-Anlagen mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 12 kW eine regelmäßige energetische Inspektion gefordert wird. Schätzungen zufolge sind in Deutschland etwa 450.000 Bestandsanlagen von der Inspektionspflicht betroffen (Schiller, 2009 S. 193), bei weniger als 2 % der betroffenen Anlagen wurde bis Oktober 2011 tatsächlich eine Inspektion durchgeführt (Donnerbauer, 2012 S. 18). Grund für diesen bislang geringen Erfolg des Instrumentes *Energetische Inspektion* ist unter anderem, dass es seitens der zuständigen Länderbehörden „noch keine Kontrolle des Vollzuges“ (Händel, 2010 S. 19) gibt.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Konzept mit den notwendigen Arbeitsinhalten gemäß den aktuellen Regeln der Technik zu erstellen, das die energetische Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlageanlagen in Nichtwohngebäuden gemäß § 12 der EnEV für die zur Durchführung berechtigten Personen erleichtert. Dabei wird zuerst erläutert, welche Vorgaben sich für die energetische Inspektion aus der EnEV ableiten lassen und welche RLT-Anlagen betroffen sind. Weiter werden konkrete Hinweise auf Inspektionspunkte und die Vorgehensweise bei der Inspektion gegeben und Richtwerte oder Berechnungsgrundlagen für die einzelnen Inspektionspunkte genannt. Schließlich wird anhand eines Praxisbeispiels die Durchführung einer energetischen Inspektion verdeutlicht. Das im Rahmen dieser Bachelorarbeit untersuchte Nichtwohngebäude erlaubt die Ableitung und Darstellung von Empfehlungen zur energetischen Inspektion von Klimaanlageanlagen.

2. Vorgaben aus § 12 der Energieeinsparverordnung 2009

Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte aus § 12 der EnEV genannt und erklärt, welche Bedeutung diese für die energetische Inspektion von Klimaanlage haben. Weiter wird der Begriff *Klimaanlage* definiert und gezeigt, welche RLT-Anlagen von § 12 der EnEV betroffen sind.

2.1. Inhalt und Bedeutung von § 12

In Paragraph 12 der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV) werden „Betreiber von in Gebäuden eingebauten Klimaanlage mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als zwölf Kilowatt [...]“ (EnEV §12 Abs. 1) dazu aufgefordert, die Anlagen von fachkundigen Personen innerhalb einer bestimmten Frist einer energetischen Inspektion unterziehen zu lassen. Inspektionsinhalte sind dabei die

1. Prüfung der Komponenten, die den Wirkungsgrad der Anlage beeinflussen: Hier soll die Effizienz der wesentlichen Komponenten der Klimaanlage festgestellt werden.
2. Prüfung der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf des Gebäudes: Hierbei ist festzustellen, ob sich wichtige Parameter für die Auslegung der Anlage wie z.B. Raumnutzung und -belegung, innere Wärmequellen, relevante bauphysikalische Eigenschaften des Gebäudes, Sollwerte für Luftmengen / Temperatur / Feuchte / Betriebszeit und Toleranzen verändert haben.

Ziel der energetischen Inspektion ist es, dem Betreiber der Klimaanlage Empfehlungen „zur kostengünstigen Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage, für deren Austausch oder für Alternativlösungen zu geben“ (EnEV §12 Abs. 2 Satz 2), ohne dabei die Qualität der originären Aufgabe der Anlage zu verringern.

Nach der Erstinspektion sind weitere Inspektionen mindestens alle 10 Jahre vorgeschrieben. Auch bei der Erneuerung wesentlicher Bauteile der Anlage muss eine Inspektion durchgeführt werden (EnEV §12 Abs. 3 ff), deren Bescheinigung der „zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen [...]“ ist (EnEV §12 Abs. 6). Bei Nichtbeachtung der EnEV können Bußgelder von 5.000 € bis 50.000 € verhängt werden (Händel, 2010 S. 21).

Insgesamt wurden in der EnEV die Anforderungen an Klimaanlage um 30 % gegenüber der EnEV 2007 verschärft. Zudem sind die Anforderungen an die Qualifizierung der durchführenden Personen sehr hoch (Schiller, 2010 S. 13), da ein berufsqualifizierender Hochschulabschluss in einer technischen Fachrichtung und Berufserfahrung vorausgesetzt werden. Die Unabhängigkeit der durchführenden Personen ist nicht gewährleistet, da die Inspektion sowohl von externen Dienstleistern als auch von qualifiziertem Eigenpersonal des Anlagenbetreibers durchgeführt werden kann (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 13).

Ein weiterer Kritikpunkt ist die fehlende Konkretisierung der Vorgehensweise bei der energetischen Inspektion und das Fehlen von Verweisen auf Normen oder Richtlinien, die die Inspektionstätigkeit exakter definieren (Händel, 2010 S. 22). Allerdings sind Leitlinien für die Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlage (DIN EN 15239, DIN EN 15240) sehr unverbindlich formuliert und haben eher einen „Lehrbuchcharakter“ (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 6-7).

Daher wird in *Abschnitt 3: Umfang der energetischen Inspektion* diskutiert, wie die energetische Inspektion im Detail durchzuführen ist und welche Normen und Richtlinien dabei hilfreich sind. Auf die genauen Fristen für die Inspektion wird nicht weiter eingegangen, da der Fokus dieser Arbeit auf dem Inspektionsumfang liegt.

2.2. Definition Klimaanlage

Die EnEV bedient sich bei der Definition einer „Klimaanlage“ an Artikel 2 der *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), in der eine Klimaanlage als „eine Kombination sämtlicher Bauteile, die für eine Form der Luftbehandlung erforderlich sind, bei der die Temperatur, eventuell gemeinsam mit der Belüftung, der Feuchtigkeit und der Luftreinheit, geregelt wird oder gesenkt werden kann“ definiert wird (Händel, 2010 S. 24). Davon eingeschlossen sind somit Klima- und Teilklimaanlagen C3 bis C5 nach Tabelle 1 mit mehr als 12 kW Nennkühlleistung und Raumklimageräte und Raumkühlsysteme ohne Lüftungsfunktion ab 12 kW Nennkühlleistung (Händel, 2010 S. 24). Die Nennkühlleistung wird dabei als „die vom Hersteller festgelegte und unter Beachtung des vom Hersteller angegebenen Wirkungsgrades als einhaltbar garantierte

größte Kälteleistung (sensibel² und latent³) [...]“ (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2007 S. 9) definiert.

Kategorie	Filterung	Thermodynamische Funktion					Bezeichnung
		Lüftung	Heizung	Kühlung	Befeuchtung	Entfeuchtung	
THM – C0	x	x	-	-	-	-	Einfache Lüftungsanlage
THM – C1	x	x	x	-	-	-	Lüftungsanlage mit der Funktion Heizen oder Luftheizung
THM – C2	x	x	x	-	x	-	Teilklimaanlage mit den Funktionen Lüften, Heizen, Befeuchten
THM – C3	x	x	x	x	-	(x)	Teilklimaanlage mit den Funktionen Lüften, Heizen, Kühlen
THM – C4	x	x	x	x	x	(x)	Teilklimaanlage mit den Funktionen Lüften, Heizen, Kühlen und Befeuchten
THM – C5	x	x	x	x	x	x	Klimaanlage mit den Funktionen Lüften, Heizen, Kühlen und Be- und Entfeuchten
Legende		<p>- von der Anlage nicht beeinflusst</p> <p>x von der Anlage geregelt und im Raum sichergestellt</p> <p>(x) durch die Anlage beeinflusst, jedoch ohne Garantiewerte im Raum</p>					

Tabelle 1: Grundarten der RLT-Anlagen nach Funktionen (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 8)

Nicht von § 12 betroffen sind allerdings RLT-Anlagen, durch deren Einsatz „keine Konditionierung des Raumklimas bezweckt [wird]“ (Schiller, 2010 S. 8). So fällt der Energieeinsatz für Produktionsprozesse oder Tiefkühlhäuser nicht in den Anwendungsbereich der EnEV.

² Sensible Wärme: thermische Energie, die sich bei Zu- oder Abfuhr unmittelbar in Temperaturänderung äußert (Recknagel, 2009).

³ Latente Wärme: Aufnahme oder Abgabe von Energie ohne Temperaturänderung (Recknagel, 2009).

3. Umfang der energetischen Inspektion

Im Folgenden wird auf die verschiedenen Inspektionsinhalte eingegangen und deren Umfang und Sinnhaftigkeit diskutiert. Grundlagen dabei sind Vorschriften und Richtlinien des *Fachverbands Gebäude-Klima e.V.*, des *Bundesindustrieverbands Technische Gebäudesysteme e.V.* und der *Bundesprüfstelle Technische Gebäudeausstattung e.V.* Auch Leitlinien für die Erstellung des nationalen Anhangs zur DIN SPEC 15240, die als Umsetzungsrichtlinie zu § 12 der EnEV im Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik des *DIN Deutsches Institut für Normung* erarbeitet wird, werden beachtet. Beim Umfang der energetischen Inspektion sollte der Maßstab gelten, eine effiziente, aber hinreichend detaillierte energetische Inspektion durchzuführen. Der Aufwand sollte nicht zu groß sein, aber trotzdem alle wichtigen Details enthalten. So werden hohe Kosten für die Durchführung der Inspektion für den Betreiber vermieden und trotzdem eine wirtschaftliche und ökologisch sinnvolle Verbesserung der Anlagentechnik erreicht.

3.1. Prüfung der Dokumentation

Den ersten Teil der energetischen Inspektion stellt die Prüfung der Anlagen-Dokumentation dar. Dabei wird überprüft, ob Wartungs- und Inspektionsarbeiten an der Klimaanlage nach VDMA 24186 bzw. VDMA 24176 durchgeführt wurden (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 3). Die vorhandenen Protokolle werden auf Inhalt, Richtigkeit und Vollständigkeit geprüft und die Regelmäßigkeit der Wartungen und Inspektionen notiert. Änderungen an der Anlagentechnik sollten ebenso nachvollziehbar sein wie durchgeführte Messungen (z.B. Druckerhöhung am Ventilator, Dichtigkeit des Luftkanalnetzes oder Effizienz der Wärmerückgewinnung / Ventilatoren / Kälteerzeuger).

Zudem ist zu erfassen, welche technischen Anlagendaten (Leistungsdaten der Komponenten, Datenblätter, Typenschildangaben) beim Gebäudebetreiber vorliegen und ob eine Beschreibung der Versorgungsaufgabe der Klimaanlage vorhanden ist (Schiller, 2010 S. 15). Diese Beschreibung kann Details enthalten zu:

- Gebäude (Anschrift, Nutzungsart, Baujahr, Fläche, Bauart, Ausrichtung)
- Energieversorgung (Verbrauchsdaten, Lastgänge, Wärme-, Kälte-, Stromversorgung)

- Raumklima (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Außenluftvolumenstrom)
- Nutzungszeiten
- Personenbelegung
- Wärme- und Schadstoffquellen
- Bauphysikalische Daten (Fassade, Sonnen- und Wärmeschutz, Fenster)

Eine Vor-Ort-Begehung ermöglicht eine Überprüfung der gesammelten Informationen und ist zudem nützlich, um eigene Eindrücke zum Zustand der Anlage zu sammeln.

Die wesentlichen aufgenommenen Daten werden im Folgenden für die Prüfung der Dimensionierung und der Effizienz der Klimaanlage verwendet und fließen später in den Inspektionsbericht ein (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 9).

Zwischenfazit:

Hauptaugenmerk bei der Prüfung der Dokumentation liegt auf dem Zusammentragen der Kerndaten. Falls die Dokumentation nur teilweise vorliegt, können fehlende Daten ergänzt werden, sofern deren Beschaffung nicht unangemessen aufwendig ist. Bei sehr unvollständigen Dokumentationsunterlagen ist es ratsam, auf eine allzu detaillierte Anlagenbeschreibung zu verzichten und nur diejenigen Daten aufzunehmen, die zur Überprüfung der Anlagendimensionierung und der Effizienz der Komponenten benötigt werden.

3.2. Prüfung der Anlagendimensionierung

§ 12 der EnEV schreibt eine Prüfung der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf vor. So wird erfasst, ob die ursprüngliche Anlagenauslegung dem tatsächlichen Bedarf entspricht (Schiller, 2009 S. 192). Im weiteren Verlauf werden Aspekte genannt, die Einfluss auf die Anlagendimensionierung haben und es wird erläutert, wie viel Aufwand für die Überprüfung der jeweiligen Aspekte betrieben werden sollte. Folgende Aspekte werden geprüft:

- Kühllast
- Außenluftvolumenströme
- Raumklimaparameter
- Komponentendimensionierung
- Betriebsweise und Regelung

3.2.1. Kühllast

Im ersten Schritt wird zunächst geprüft, ob Veränderung bei Intensität und Dauer der internen Wärmequellen gegenüber dem Planungsstand eingetreten sind. Hierbei wird die Anschlussleistung von z.B. Beleuchtung oder Geräten und Maschinen erfasst und beurteilt, ob Wärmebelastungen durch Einsatz energieeffizienter Beleuchtung oder stromsparende Geräte reduziert werden können (Schiller, 2010 S. 18). Auch eine Veränderung der Personenbelegung des von der Klimaanlage versorgten Raumes wird vermerkt. Zur Abschätzung der äußeren Wärmeeinträge ist es ratsam, bauphysikalische Eigenschaften wie Flächen, Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) und Ausrichtung (z.B. Nord-Ost, Süd) von Wänden und Fenstern aufzunehmen und ggf. Vorschläge zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes durch Sonnenschutzanlagen, Sonnenschutzgläser o.ä. zu unterbreiten (Schiller, 2010 S. 18). Weiter muss die Frage geklärt werden, ob sich Kühllasten ganz oder teilweise durch natürliche Lüftung abführen oder durch eine Sommernachtlüftung reduzieren lassen. Mit den gesammelten Daten wird nun eine stichprobenartige Ermittlung der Kühllasten für repräsentative Zonen nach VDI 2078:1996 durchgeführt. Zur überschlägigen Ermittlung können auch Werte aus Tabelle 2 verwendet werden, sofern die Raumnutzung übereinstimmt.

W/m²	min	max	mittel
Büro	22	56	32
Hotel	6	35	17
Bettzimmer	15	45	28

Tabelle 2: Überschlägige Ermittlung der Kühllast (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 15)

Zwischenfazit:

Gegenstand der energetischen Inspektion sollte nicht die komplette Kühllastberechnung für die von der RLT-Anlage versorgten Räumlichkeiten sein. Bei der stichprobenartigen Ermittlung kann sich zum einen auf die aktualisierte VDI Norm zur Kühllastberechnung (VDI 2078:2012-03) berufen werden, die sich noch in der Entwurfsphase befindet. Sie enthält kein Handrechenverfahren für die Kühllastbestimmung, sondern verweist auf Verfahren, die aufgrund ihrer Komplexität für den EDV-Einsatz prädestiniert sind. Zur überschlägigen Berechnung wird ein Kühllastschätzverfahren angegeben, welches der DIN V 18599-2 angelehnt ist.

Zum anderen kann das Kurzverfahren zur Kühllastbestimmung nach VDI 2078:1996 durchgeführt werden. Dieses hat sich in der Praxis bewährt und ist der aktualisierten Version vorzuziehen, da bei dieser noch bis Ende August 2012 Einsprüche erhoben und somit Veränderungen nicht ausgeschlossen werden können.

Wichtiger als die Kühllastbestimmung ist die Erarbeitung von einfachen, kostengünstigen Maßnahmen zur Reduzierung der inneren und der äußeren Wärmelasten, auf der der Fokus dieses Inspektionspunktes liegen sollte.

3.2.2. Außenluftvolumenströme

Bei der Prüfung der Außenluftvolumenströme wird zuerst überprüft, ob sich gegenüber dem Planungsstand Veränderungen der Belegung oder Nutzung ergeben haben, die Auswirkungen auf die Mindestaußenluftraten haben (Schiller, 2010 S. 19). Zudem muss geprüft werden, ob seit der Planung der Klimaanlage Verordnungen, Normen oder Richtlinien verändert wurden, nach denen die Mindestaußenluftraten zu dimensionieren sind.

Für Nichtwohngebäude bieten sich zur stichprobenartigen Überprüfung der Volumenstromraten Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 an. Dabei ist zuerst festzustellen, welche Raumluftqualität (Indoor Air = IDA) nach Tabelle 3 vorliegt und ob diese Qualität im Sinne des Betreibers ist.

Kategorie	Beschreibung
IDA 1	Hohe Raumlufthqualität
IDA 2	Mittlere Raumlufthqualität
IDA 3	Mäßige Raumlufthqualität
IDA 4	Niedrige Raumlufthqualität

Tabelle 3: Raumlufthqualität nach DIN EN 13779

Richtwerte nach Tabelle 4 kommen dann zur Anwendung, wenn Räume betrachtet werden, in denen sich üblicherweise Personen aufhalten. Die aufgeführten Werte sind Mindestwerte für die Außenluftvolumenströme je Person und berücksichtigen auch „Emissionen aus anderen Quellen wie Baustoffen oder Möbeln“ (DIN EN 13779, 2007).

Kategorie	Einheit	Außenluftvolumenstrom je Person			
		Nichtraucherbereich		Raucherbereich	
		Üblicher Bereich	Standardwert	Üblicher Bereich	Standardwert
IDA 1	$l \cdot s^{-1} \cdot Person^{-1}$	> 15	20	> 30	40
IDA 2	$l \cdot s^{-1} \cdot Person^{-1}$	10 – 15	12,5	20 – 30	25
IDA 3	$l \cdot s^{-1} \cdot Person^{-1}$	6 – 10	8	12 – 20	16
IDA 4	$l \cdot s^{-1} \cdot Person^{-1}$	< 6	5	< 12	10

Tabelle 4: Außenluftvolumenströme je Person nach DIN EN 13779

Werden allerdings Räume betrachtet, „die nicht für den Aufenthalt für Personen bestimmt sind“ (DIN EN 13779, 2007), wird Tabelle 5 zu Rate gezogen. Bei den angegebenen Werten wird die Annahme getroffen, dass die Klimaanlage eine Laufzeit von 50 % und der betrachtete Raum eine Höhe von 3 Metern hat.

Kategorie	Einheit	Volumenstrom der Außen- oder Überströmluft je Bodenflächeneinheit	
		Üblicher Bereich	Standardwert
IDA 1	$l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$	a	a
IDA 2	$l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$	> 0,7	0,83
IDA 3	$l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$	0,35 – 0,7	0,55
IDA 4	$l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$	< 0,35	0,28

^a Für IDA 1 ist dieses Verfahren nicht ausreichend.

Tabelle 5: Außenluftvolumenströme je Netto-Bodenfläche nach DIN EN 13779

Weitere Richtwerte für bestimmte Räume wie z.B. Büros, Sitzungszimmer, Hörsäle, Kantinen oder Sporthallen sind aus Anhang A der DIN V 18599-10 zu entnehmen, in dem detaillierte Nutzungsprofile von Nichtwohngebäuden beschrieben werden.

Anhand der ermittelten Außenluftstraten wird nun dargestellt, ob ein Minderungspotential besteht. Des Weiteren sind nach Schiller (Schiller, 2010 S. 19) die Fragen zu beantworten, ob

- die Raumlufqualität auch durch natürliche Lüftung gewährleistet werden kann
- durch eine veränderte Raumlufströmung, z. B. durch Quellerfassungen, die gleiche Raumlufqualität auch mit reduzierten Außenluftstraten realisiert werden kann
- durch Änderung der Raumlufströmung, z. B. durch Quellerfassungen, die wirksame Temperaturdifferenz im Raum erhöht und dadurch der Luftvolumenstrom reduziert werden kann, was vor allem bei hohen Räumen sinnvoll sein kann.

Zwischenfazit:

Auch bei der Inspektion der Außenluftvolumenströme ist es nicht sinnvoll, eine neue Auslegung der geförderten Luftmenge vorzunehmen. Die in Tabelle 3 genannten Raumlufqualitäten reichen aus, um die Dimensionierung der Luftvolumenströme nachzuvollziehen. Andere Luftqualitätskriterien aus älteren DIN-Normen, wie z.B. die *empfundene Luftqualität im Aufenthaltsbereich, in decipol* aus DIN EN 13779:2004 sind schwieriger festzustellen und daher weniger geeignet.

Sofern die RLT-Anlage über eine CO₂-Steuerung mit CO₂-Sensoren in Zu- und Abluftseite verfügt, kann auch eine Bestimmung der Raumlufqualität über die CO₂-Konzentration in parts per million (ppm) erfolgen. Dabei wird die CO₂-Konzentration im betrachteten Raum mit der Außenluft-CO₂-Konzentration verglichen und Bereiche für die Erhöhung der Konzentration festgelegt (s. Tabelle 6).

Als Richtwerte für die Außenluft-CO₂-Konzentration können folgende Daten gemäß DIN EN 13779 dienen:

- ländliche Gebiete ohne bedeutende Emissionsquelle: 350 ppm
- kleinere Städte: 375 ppm
- verschmutzte Stadtzentren: 400 ppm

Kategorie	CO ₂ -Gehalt über dem Gehalt in der Außenluft, in ppm	
	Üblicher Bereich	Standardwert
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1 000	800
IDA 4	> 1 000	1 200

Tabelle 6: CO₂-Konzentration in Räumen nach DIN EN 13779

Bei diesem Inspektionspunkt wird auch festgestellt, ob die Anlagenauslegung über Luftwechselraten erfolgt ist. Dabei wird neben der Fläche auch die Raumhöhe beachtet und festgelegt, wie häufig das Luftvolumen des Raumes innerhalb einer Stunde ausgetauscht werden soll. So wird z.B. für Büroräume eine Luftwechselrate von 2 h⁻¹ bis 6 h⁻¹ empfohlen (Pistohl, 2009). Weitere Beispielwerte sind in Anhang A zu finden. Die Auslegung des geförderten Luftvolumenstroms über die Luftwechselrate entspricht allerdings nicht dem heutigen Stand der Technik. Dies trifft insbesondere in den Fällen zu, wenn der Raum für den Aufenthalt von Personen bestimmt ist, da der Raum keine Luft braucht, sondern die sich im Raum befindenden Personen. Bei speziellen Anwendungen wie z.B. in Küchen oder Rechenzentren kann eine Auslegung über Luftwechselraten allerdings immer noch sinnvoll sein.

Von der Überprüfung der Dimensionierung der Außenluftvolumenströme nach DIN EN 15251 wird ebenfalls abgeraten, da diese eher für die Planungsphase bei der Errichtung von Neubauten bestimmt ist. In dieser Norm erfolgt die Auslegung der Lüftungsraten über einen personenabhängigen und einen gebäudeabhängigen Teil. Allerdings muss bei der Betrachtung des gebäudeabhängigen Teils herausgefunden werden, wie umweltfreundlich das Gebäude ist. Anhaltspunkte sollen dabei Emissionen von z.B. Formaldehyd, Ammoniak, flüchtigen organischen Verbindungen oder karzinogener Verbindungen der verwendeten Baustoffe und Materialien sein. Auch die Qualität der angesaugten Luft wird dabei über die Parameter SO₂-, O₃-, NO₂- und PM₁₀⁴-Konzentration bewertet. Da der Aufwand für die Beschaffung dieser Daten sehr groß ist, wird für die energetische Inspektion nach § 12 der EnEV empfohlen, die Dimensionierung der Anlage anhand den oben genannten Richtwerten aus DIN EN 13779 und DIN V 18599-10 zu überprüfen. Weitere spezifische Richtwerte können z.B. den folgenden Normen und Richtlinien entnommen werden (Schiller, 2010 S. 19):

⁴ PM₁₀: Feinstaubpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 maximal Mikrometern (Recknagel, 2009).

- DIN 1946 (Krankenhäuser, Laboratorien)
- DIN 18032 (Sporthallen)
- VDI 3802 (Fertigungsstätten)
- VDI 2089 (Schwimmhallen)

Schließlich ist zu beachten, dass für die energetische Bewertung kein Nachteil daraus entstehen darf, wenn Außenluftvolumenströme aufgrund anderer Normen oder Richtlinien größer bemessen werden, deren Ziel der Gesundheits- und Arbeitsschutz ist (Schiller, 2009).

3.2.3. Raumklimaparameter

Ziel der Überprüfung der Raumklimaparameter ist, durch die passende Einstellung der Sollwerte für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit ein behagliches Raumklima bei gleichzeitigen Energieeinsparungen herzustellen. In Abbildung 2 sind verschiedene Behaglichkeitsbereiche dargestellt. Dabei ist auf der Abszisse die Temperatur und auf der Ordinate die relative Luftfeuchtigkeit aufgetragen. Es wird ersichtlich, dass eine große Behaglichkeit vorliegt, wenn sich die Temperaturen im Bereich 20 °C bis 26 °C befinden und die relative Luftfeuchtigkeit 35 - 70 % beträgt.

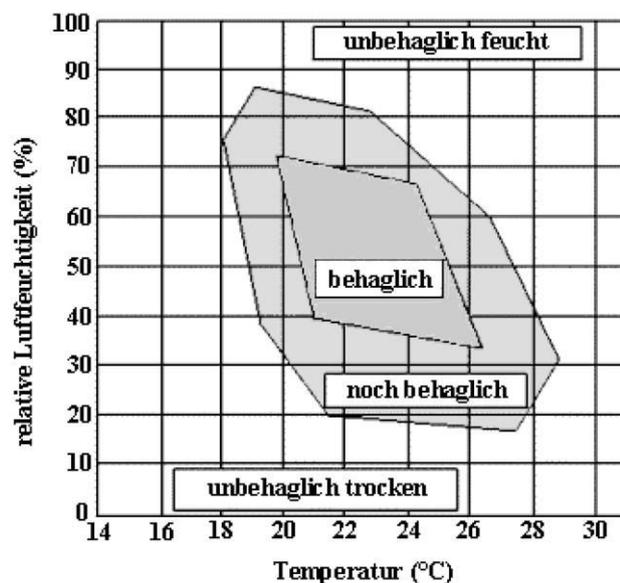


Abbildung 2: Behaglichkeit - Zusammenhang von Luftfeuchtigkeit und Temperatur
(Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 16)

Für die Feinjustierung der Raumklimaparameter ist zuerst eine einfache Messung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit durchzuführen. Bei vorhandenen Sensoren können die Parameter auch erfragt werden (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 16). Dabei ist darauf zu achten, dass die Sensoren keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind oder sich in der Nähe von Wärme- oder Feuchtigkeitsquellen befinden.

Nach dem Feststellen der Ist-Werte sind diese dann mit einschlägigen Literaturwerten aus DIN EN 15251, DIN V 18599-10, DIN EN 13779 oder der Arbeitsstättenrichtlinie zu vergleichen. In Büroräumen wird beispielsweise eine Raumlufthtemperatur von 19 °C bis 21 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 50 - 60 % empfohlen (Pistohl, 2009). Weitere Beispielwerte sind in Anhang B bis E zu finden.

Für eine optimale Behaglichkeit im Raum ist die Kombination von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit von entscheidender Bedeutung (Trogisch, 2009). Daher sind in Tabelle 7 Beispielwerte für verschiedene Raumtypen aufgeführt. Weitere Referenzwerte sind in DIN EN ISO 7730 zu finden.

Gebäude-/Raumtyp	Aktivität [met]	Kategorie	Operative Temperatur [°C]		max. mittlere Luftgeschwindigkeit [m/s]	
			Kühlperiode	Heizperiode	Kühlperiode	Heizperiode
Büro Restaurant Klassenraum	1,2	A	24,5±1,0	22,0±1,0	0,12	0,10
		B	24,5±2,0	22,0±2,0	0,19	0,16
		C	24,5±3,0	22,0±3,0	0,24	0,21
Kindergarten	1,4	A	23,5±1,0	20,0±1,0	0,11	0,10
		B	23,5±2,0	20,0±2,5	0,18	0,15
		C	23,5±2,5	20,0±3,5	0,23	0,19
Kaufhaus	1,6	A	23,0±1,0	19,0±1,5	0,16	0,13
		B	23,0±2,0	19,0±3,0	0,20	0,15
		C	23,0±3,0	19,0±4,0	0,23	0,18

Tabelle 7: Temperatur und Luftgeschwindigkeit in Räumen unterschiedlicher Gebäudetypen nach DIN EN ISO 7730

Sollten keine besonderen Anforderungen an die Luftfeuchtigkeit vorliegen, ist ein Verzicht auf die Luftbe- und -entfeuchtung an Nacht- und Wochenendstunden oder ein genereller Verzicht sinnvoll. Beim Betrieb von Be- und Entfeuchtern ist darauf zu achten, dass in der Hauptbetriebszeit Toleranzen für die Raumlufffeuchte (Totzone zwischen Befeuchten und Entfeuchten) zulässig sind (Schiller, 2010 S. 20). Hilfreich sind zudem Vorschläge für mögliche Veränderungen der Raumklima-Sollwerte in Haupt- und Nebenbetriebszeit oder Sommer-, Winter- und Übergangszeiten.

Auch bei den Temperatur-Sollwerten wird empfohlen, eine Totzone zwischen Heiz- und Kühlbetrieb einzurichten, um gleichzeitiges Heizen und Kühlen zu vermeiden.

Schiller schlägt zusätzlich vor, folgende Fragen zu beantworten (Schiller, 2010 S. 19):

- Haben sich Veränderungen der Belegung / Nutzung gegenüber dem Planungsstand ergeben, die zu einer Neubewertung der Anforderungen an die Raumlufffeuchte führen?
- Haben sich die Anforderungen an die Feuchtetoleranzen von EDV-Anlagen oder anderer Prozesstechnik ergeben?
- Gibt es im Versorgungsbereich einer Anlage mit Be- und / oder Entfeuchtung Raumzonen, für die keine Feuchteanforderungen bestehen und die besser einer anderen Anlage zuzuordnen wären?

Zwischenfazit:

Die richtige Wahl der Raumklima-Sollwerte ist ein wichtiger Bestandteil der energetischen Inspektion. Da die Behaglichkeit sehr subjektiv ist, muss die Einstellung der Parameter Luftfeuchtigkeit und Temperatur eng mit dem Gebäudebetreiber abgestimmt werden. Dabei dürfen zum einerseits bauphysikalische Anforderungen wie Kondensation und Schimmelpilzbefall, andererseits aber Trockenheit und Reizung der Augen und Atemwege nicht vergessen werden (DIN EN 15251, 2007).

Da Luftbe- und -entfeuchtung einen großen Energiebedarf haben, ist deren Einsatz nach Möglichkeit zu beschränken (DIN EN 15251, 2007). Zusätzlich bieten sich unterschiedliche Soll-Werte für Sommer-, Winter- und Übergangsmonate sowohl für Luftfeuchtigkeit, als auch für Raumlufftemperatur an. So werden im Sommer durch höhere Temperatur- und Luftfeuchtigkeits-Sollwerte ein energieintensives Herunterkühlen und eine übermäßige Entfeuchtung der warmen Außenluft mit hohem Wasserdampfgehalt und anfallendem Kondensat vermieden. Im Winter hingegen kann zum einen durch eine niedrig eingestellte Luftfeuchtigkeit die Kondensation der Raumluff an der kühlen Außenwand reduziert werden. Zum anderen ermöglichen niedrigere Soll-Temperaturen Einsparungen beim energieintensiven Erhitzen der kühlen Außenluft.

3.2.4. Komponentendimensionierung

Bei der Inspektion der Dimensionierung der in der RLT-Anlage verbauten Komponenten steht der Vergleich der vom Ventilator geförderten Luftmenge mit dem nach DIN EN 13779 erforderlichen Außenluftvolumenstrom im Vordergrund. Die daraus ermittelte notwendige Ventilatorleistung ist mit der installierten Ventilatorleistung zu vergleichen. Auf die Effizienz des Ventilators wird in *Abschnitt 3.3.1* näher eingegangen.

Zusätzlich erfolgt die Nachrechnung der Kühlerleistung im maximalen Kühlfall und kann der in *Abschnitt 3.2.1* ermittelten Kühllast gegenübergestellt werden. Auch die notwendige Erhitzer- und Befeuchterleistung für den maximalen Heizfall sollte z.B. über das Mollier-h,x-Diagramm nachgerechnet werden (Schiller, 2010 S. 21) und wird in *Abschnitt 3.3* detailliert betrachtet.

Zwischenfazit:

Ziel dieses Inspektionpunktes ist die Gegenüberstellung der ermittelten Soll- und Ist-Werte. Das ermöglicht die Beurteilung, ob konditionierte Flächen überhaupt durch Lüftungs- oder Klimaanlage versorgt werden müssen oder ob zumindest auf bestimmte Luftbehandlungsarten wie Kühlen / Heizen / Befeuchten / Entfeuchten verzichtet oder deren Nutzung eingeschränkt werden kann.

3.2.5. Betriebsweise und Regelung

Hier gilt es herauszufinden, wie und in welchen Zeiträumen die RLT-Anlage betrieben wird und welche Regelungsmöglichkeiten der Anlagenbetreiber hat. Es sollte geklärt werden, ob die Nutzungszeit des Gebäudes gleich der Betriebszeit der RLT-Anlage ist, oder ob der Betrieb der Anlage zeitlich verschoben sein soll. Dies kann z.B. über Zeitschaltuhren (Nachtabsenkung) vorgenommen werden (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 18). Generell ist zu prüfen, ob auf den Einsatz des RLT-Gerätes oder einzelner Bauteile, wie z.B. dem Befeuchter, zu bestimmten Zeiten verzichtet werden kann und ob die vorgefundenen Zeiteinstellungen sinnvoll sind.

Der Durchführende der energetischen Inspektion hat darauf zu achten, ob der Anlagenbetreiber die Möglichkeit hat, variable Sollwerte bzgl. Raumtemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit oder Luftvolumenströmen für verschiedene Tages- oder

Jahreszeiten einzustellen. Richtwerte zu den einzelnen Parametern sind *Abschnitt 3.2.2* und *Abschnitt 3.2.3* zu entnehmen.

Zudem ist zu überprüfen, ob die Steuerung der Anlage automatisch oder manuell erfolgt und ob die Nachrüstung von Anwesenheits- oder CO₂-Sensoren sinnvoll ist. Bei einer Luftqualitätsüberwachung mit CO₂ als Indikator kann auf die Richtwerte aus Tabelle 6 aus *Abschnitt 3.2.2* zurückgegriffen werden.

Außerdem ist zu überprüfen, ob für die in *Abschnitt 3.2.3* erwähnten Totzonen im Heiz- und Kühlfall und für Befeuchtung und Entfeuchtung sinnvolle Einstellungen vorgenommen wurden (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 18).

Ein weiterer Bestandteil der energetischen Inspektion ist die Regelung der Kälteerzeugung, auf die im weiteren Verlauf in *Abschnitt 3.3.4* eingegangen wird. Zusätzlich sollte geprüft werden,

- ob eine Gebäudeleittechnik (GLT) vorhanden ist
- welche GLT-Daten verfügbar sind
- ob diese Daten sinnvoll verwendet werden
- ob die Gebäudeleittechnik weitere Energie-Managementfunktionen übernehmen könnte.

Zwischenfazit:

Optimierungen in der Betriebsführung zählen, wie Fehlerbeseitigungen und Drosselungen in der Anlagentechnik, zu den äußerst geringinvestiven Maßnahmen, die im Zuge der energetischen Inspektion nach § 12 der EnEV durchgeführt werden. Sie können bei vielen Anlagen für Energieeinsparungen von ca. 30 % führen (Donnerbauer, 2012). So sind nach Schiller (Schiller, 2010 S. 30) die Fragen zu beantworten,

- ob die Nutzung des Gebäudes einen zeitlich veränderlichen Außenluftbedarf zulässt
- ob dieser über Zeitprogramme oder Luftqualitätssensoren gesteuert werden kann
- welcher technische und wirtschaftliche Aufwand nötig wäre, um die Anlage auf einen variablen Volumenstrombetrieb umzurüsten
- welche Konsequenzen das für Betriebsdauer und Energieeinsparungen hätte.

Für den Einbau neuer RLT-Anlagen oder bei Erneuerungen wird in § 15 der EnEV gefordert, „Einrichtungen zur selbsttätigen Regelung der Volumenströme in Abhängigkeit von den thermischen und stofflichen Lasten [...]“ (EnEV § 15 Abs. 3) einzusetzen, wenn der Zuluftvolumenstrom den Wert $9 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ übersteigt. Die Quadratmeterzahl ist auf die von der RLT-Anlage versorgte Nettogrundfläche bezogen. An diesen Wert sind Gebäudebetreiber, die eine energetische Inspektion ihrer Lüftungs- und Klimaanlage nach § 12 der EnEV durchführen und keine Erneuerung an ihrer Bestandsanlage vornehmen, zwar nicht gebunden, er kann allerdings als Richtwert beachtet werden.

Da Raumlasten über den Tages- bzw. Jahresgang starken Schwankungen unterliegen können, ermöglichen variable Volumenstromsysteme die Versorgung mit dem tatsächlichen Luftbedarf (Pehnt, 2010). Voraussetzungen für eine variable Volumenstromregelung sind die schon oben genannten geeigneten Indikatoren wie Zeit, Belegung, Last oder CO_2 -Gehalt. So kann sich die Nachrüstung von Einrichtungen, die die Einstellung variabler Sollwerte (Temperatur, Luftvolumenstrom und Be- und Entfeuchtung) ermöglichen, trotz höherer Investitionskosten schnell amortisieren, da variable Volumenstromsysteme „Energieeinsparungen von bis zu 70 % und mehr gegenüber Konstantvolumenstromsystemen aufweisen“ (Pehnt, 2010).

3.3. Prüfung der Komponenteneffizienz

In Paragraph 12 der EnEV wird „die Prüfung der Komponenten, die den Wirkungsgrad der Anlage beeinflussen [...]“ (EnEV § 12 Abs. 2) gefordert. Ziel dabei ist die Identifikation von ineffizienten Komponenten als Basis für Vorschläge zur Verbesserung der Energieeffizienz der Anlage. Im Folgenden wird auf die wichtigsten Bauteile von RLT-Anlagen eingegangen und anhand von Kennwerten beschrieben, welchen Einfluss diese auf die Energieeffizienz haben (s. Abbildung 3). In *Abschnitt 3.3.7* werden dann die einzelnen Kennwerte zum Energiekennwert des Luftaufbereitungsgerätes (E_{RLT}) zusammengefasst. Folgende Komponenten werden detailliert betrachtet:

- Ventilatoren
- Wärmerückgewinnung
- Heizregister
- Kältetechnik und Kühlregister
- Befeuchter und Entfeuchter
- Luftkanalsystem mit Filtern und Klappen

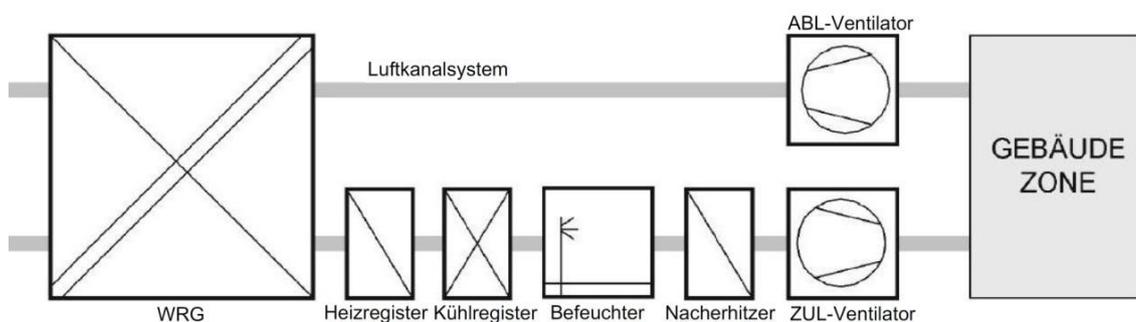


Abbildung 3: Aufbau einer RLT-Anlage (eigene Darstellung)

3.3.1. Luftförderung

Da Ventilatoren für bis zu 50 % der Energiekosten des RLT-Gerätes aufkommen können (Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., 2005), kommt deren energetischen Inspektion eine große Bedeutung zu. In einem ersten Schritt wird geprüft, ob die Ventilatoren regelmäßig gewartet wurden und ob dies durch Wartungsprotokolle ordnungsgemäß nachgewiesen wurde. Danach erfolgt die Messung oder, wenn es die Gebäudeleittechnik-Daten zulassen, das Ablesen von Stromaufnahme, statischen

Druckerhöhung sowie Luftvolumenstrom. Nach Gleichung (1) kann mit der gemessenen Stromaufnahme die elektrische Wirkleistung von Zu- und Abluftventilator ermittelt werden (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 22).

$$P_{el,Wirk,ZUL/ABL} = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

Mit der ermittelten elektrischen Wirkleistung des Ventilators wird daraufhin die in Gleichung (2) dargestellte spezifische Ventilatorleistung (*SFP-Wert*) errechnet (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 17-18), die den „Bedarf an elektrischer Leistung am Ventilatorantrieb pro gefördertem Luftvolumenstrom“ (Pehnt, 2010) im Auslegungsfall angibt.

$$P_{SFP,ZUL/ABL} = \frac{P_{el,Wirk,ZUL/ABL}}{\dot{V}_{Nenn,ZUL/ABL}} \quad (2)$$

Kennwerte für die jeweiligen SFP-Klassen sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Kategorie	P_{SFP} in W/m ³ /s
SFP 1	< 500
SFP 2	500-750
SFP 3	750-1250
SFP 4	1.250-2.000
SFP 5	2.000-3.000
SFP 6	3.000-4.500
SFP 7	> 4.500

Tabelle 8: Klassierung der spezifischen Ventilatorleistung nach DIN EN 13779

Allerdings können nach Tabelle 9 Zuschläge für bestimmte verwendete Bauteile wirksam werden, die zu den Grundwerten aus Tabelle 8 addiert werden. Das hat zur Folge, dass je nach RLT-Gerät unterschiedliche Grenzwerte für gleich SFP-Klasse auftreten. So kann beispielsweise ein Ventilator, der in einem RLT-Gerät mit einer zusätzlichen mechanischen Filterstufe verbaut ist, der Kategorie SFP 3 zugeordnet werden, wenn er eine spezifische Leistungsaufnahme von bis zu 1.550 W/(m³/s) aufweist.

Bauteil	P_{SFP} in W/(m ³ /s)
Zusätzliche mechanische Filterstufe	+300
HEPA-Filter	+1 000
Gasfilter	+300
Wärmerückführungsstufe H2 oder H1 ^a	+300
Hochleistungskühler	+300
^a Klasse H2 oder H1 nach EN 13053:2006	

Tabelle 9: Zuschläge für zusätzliche Bauteile nach DIN EN 13779

In Paragraph 15 der EnEV wird für den Neubau oder die Erneuerung von RLT-Anlagen, deren Zuluft-Volumenstrom größer als 4.000 m³/h ist und die einen Kältebedarf von 12 kW oder mehr decken können, gefordert, die spezifische Ventilatorleistung auf mindestens SFP 4 nach DIN EN 13779 zu begrenzen. Die Kategorie SFP 4 kann somit als Richt- und Vergleichswert für die energetische Inspektion der Luftförderung hinzugezogen werden.

Sofern die Einbausituation der RLT-Anlage keine Messung der oben genannten Parameter ermöglicht und auch keine Datenblätter, Typenschilder oder Anlagenbeschreibung vorhanden sind, kann der SFP-Wert notfalls auch über Tabelle 10 oder Tabelle 11 geschätzt werden.

Volumenstrom [m ³ /h]	Anlagen ohne thermod. Luftbeh.	Anlagen mit Luft-erwärmung	Anlagen mit weiteren Funktionen
2.000-10.000	SFP 5	SFP 6	SFP 6
10.001-25.000	SFP 5	SFP 5	SFP 6
25.001-50.000	SFP 4	SFP 5	SFP 5
über 50.000	SFP 3	SFP 4	SFP 4

Tabelle 10: Richtwerte für SFP-Klassen bei Bestandsanlagen nach VDI 3803

Anwendung	SFP-Kategorie für jeden Ventilator	
	Üblicher Bereich	Standardwert
Zuluftventilator		
— Klimaanlage	SFP 1 bis SFP 5	SFP 4
— Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung	SFP 1 bis SFP 4	SFP 3
Abluftventilator		
— Klimaanlage oder Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	SFP 1 bis SFP 5	SFP 3
— Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung	SFP 1 bis SFP 4	SFP 2

Tabelle 11: Standardwerte für Ventilatoren nach DIN EN 13779

Neben dem SFP-Wert ist über die vorhandenen Messwerte auch der Systemwirkungsgrad von Zu- und Abluftventilator nach Gleichung (3) zu bestimmen (Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e.V., 2009 S. 4).

$$\eta_{ZUL/ABL} = \frac{\dot{V}_{Nenn,ZUL/ABL} \cdot \Delta p_{ZUL/ABL}}{P_{el,Wirk,ZUL/ABL}} = \frac{\Delta p_{intern} + \Delta p_{extern}}{P_{SFP,ZUL/ABL}} \quad (3)$$

Der Vergleich des ermittelten Systemwirkungsgrads mit für die jeweilige Größenordnung typischen Ventilator-Systemwirkungsgrade nach Tabelle 12 ermöglicht eine differenzierte Einordnung des Bestandsventilators.

Ventilator-Effizienzklassen - Systemwirkungsgrade				
Effizienzklasse	Motor - Nennleistung			
	< 2 kW	< 5 kW	< 10 kW	> 10 kW
1	55 %	60 %	65 %	70 %
2	50 %	55 %	60 %	65 %
3	45 %	50 %	55 %	60 %
4	40 %	45 %	50 %	55 %

Tabelle 12: Ventilator-Systemwirkungsgrade (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 18)

Bei Hinzuziehen von Gleichung (4) wird deutlich, dass einzelne Ventilatorbauteile und die Einbausituation der Ventilatoreinheit ebenfalls Einfluss auf den Systemwirkungsgrad haben (Schiller, 2010 S. 23).

$$\eta_{ZUL/ABL} = \eta_{Ventilator} \cdot \eta_{Motor} \cdot \eta_{Riemenantrieb} \cdot \eta_{Einbau} \cdot \eta_{Regler} \quad (4)$$

Die einzelnen Teilwirkungsgrade nach DIN EN 13779 sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Bauteil	Wirkungsgrad, in %		
	niedrig	normal	hoch
Ventilator, basierend auf Gesamtdruck	65	75	80
Ventilator, basierend auf statischem Druck	55	65	70
Motor <1,1 kW	70	77	80
Motor <3,0 kW	75	82	85
Motor <7,5 kW	80	87	90
Motor >7,5 kW	82	89	92
Riemenantrieb <1,1 kW	70	75	80
Riemenantrieb <3,0 kW	75	80	85
Riemenantrieb <7,5 kW	80	85	90
Riemenantrieb >7,5 kW	85	90	95
Flachriemen	90	93	97
Frequenzumrichter	88	92	97
Gesamte Ventilatoreinheit	50	55	60

Tabelle 13: Wirkungsgrade einzelner Luftförderungsbauteile nach DIN EN 13779

An dieser Stelle ist zu bewerten, ob die Laufradgeometrie dem Stand der Technik und den Einsatzbedingungen entspricht (Schiller, 2010 S. 22) und ob der Einsatz von direkt angetriebenen Ventilatoren oder Flachriemenantriebe anstelle von Keilriemenantriebe möglich und sinnvoll ist. Letztere müssen einer regelmäßigen Wartung unterzogen werden und weisen einen niedrigeren Wirkungsgrad auf (Pehnt, 2010).

Auch die Einbausituation spielt eine große Rolle. So ist z.B. bei Radialventilatoren darauf zu achten, dass der Abstand zwischen der seitlichen Luftansaugung und der Seitenwand des RLT-Gerätes oder des Kanals mindestens einen halben Laufraddurchmessers des Ventilators beträgt, da sich sonst der Systemwirkungsgrad um mehr als 50 % reduzieren kann (Pehnt, 2010).

Weiter ist zu prüfen, ob der Ventilator eine Drehzahlregelung hat und ob diese dem Stand der Technik entspricht.

Eine Gegenüberstellung der gemessenen Ventilatorwerte mit vorhandenen Auslegungsdaten und Richtwerten aus Tabelle 8-13 ermöglicht eine detailliertere Effizienz-Bewertung der Luftförderung.

Über Gleichung (5) und (6) wird schließlich der elektrische Energiebedarf von Zu- und Abluftventilator bestimmt (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 17-18), der in die Berechnung des Energiekennwertes (E_{RLT}) einfließt. Eine genauere Beschreibung des Energiekennwertes mit dessen Randbedingungen folgt in *Abschnitt 3.3.7*.

$$q_{V,ZUL} = \frac{P_{SFP,ZUL} \cdot 4.380 \text{ h/a}}{3,6} \quad (5)$$

$$q_{V,ABL} = \frac{P_{SFP,ABL} \cdot 4.380 \text{ h/a}}{3,6} \quad (6)$$

Zwischenfazit:

Der energetischen Inspektion der Luftförderung kommt eine wichtige Rolle zu, da der Betrieb der Ventilatoren sehr energieintensiv ist. Die Mindestanforderungen der EnEV schreiben für Neuanlagen und bei Erneuerung der Altanlagen Grenzwerte der Kategorie SFP 4 vor. Bei den ca. 61.000 zentralen RLT-Geräten, die jährlich in Deutschland neu installiert werden, liegt der über die letzten 5 Jahre gewichtete mittlere SFP-Wert pro Ventilatoreinheit bei 1.764 W/(m³/s) (Kaup, 2010), was ohne Berücksichtigung von Zuschlägen nach Tabelle 9 SFP-Klasse 4 entspricht.

Aufgrund des größeren Apparateaufwands auf der Zuluftseite liegt dort der mittlere Zuluftventilator-SFP-Wert bei 1.916 W/(m³/s), während er auf der Abluftseite 1.571 W/(m³/s) beträgt. Tendenziell ist der SFP-Wert dank verbesserter Technik (direktgetriebene Ventilatorsysteme) seit Jahren rückläufig, obwohl auf der Abluftseite aufgrund zusätzlicher WRG-Maßnahmen oder Filter ein steigender Apparateaufwand nachweisbar ist (Kaup, 2012). Auf der Zuluftseite kommt zudem ein reduzierter Apparateaufwand hinzu.

Das hat zur Folge, dass der in Tabelle 12 dargestellte Systemwirkungsgrad der neu installierten RLT-Geräte mit ca. 54 % eine steigende Tendenz hat. Allerdings bleiben bei der Betrachtung des Systemwirkungsgrades nach Gleichung (3) und (4) die Effizienz von Regelung und Einbausituation unberücksichtigt, da sich dabei nur auf Herstellerangaben berufen wurde und nicht die tatsächlich verbauten RLT-Geräte untersucht wurden. Unter Berücksichtigung der mittleren Leistungsaufnahme von 7,30 kW pro Zuluftgerät und 5,77 kW pro Abluftgerät (Kaup, 2010) und Vergleich mit den in Tabelle 12 dargestellten typischen Systemwirkungsgraden fällt auf, dass die neu installierten Ventilatoren Effizienzklasse 3 von 4 erfüllen.

Die dargestellten Werte zeigen zwar eine Verbesserung der Energieeffizienz der neu verbauten Ventilatoren, es besteht aber weiterhin Verbesserungspotential. Über die Effizienz der Bestandsanlagen lassen sich zwar keine Aussagen treffen, allerdings können die oben genannten Werte als Richtwerte für den Vergleich mit den ermittelten Kennwerten der inspizierten Anlagen hinzugezogen werden.

Die *Leistungsaufnahme der Ventilatoren* gemäß Kapitel 6.3.2 der ab Februar 2012 gültigen, überarbeiteten DIN EN 13053 wird im Zuge der energetischen Inspektion

nicht weiter behandelt, da in der EnEV keinerlei Richtwerte vorgegeben sind und der Fokus dort auf den SFP-Werten liegt. Es sei allerdings darauf verwiesen, dass der SFP-Wert alleine nur eine ansatzweise Beurteilung der Ventilator-Effizienz zulässt, da nach Gleichung (3) dort neben den internen Druckverlusten am Gerät auch externe Druckverluste im Kanalsystem (z.B. Leckagen) bewertet werden. Der Einfluss dieser Druckverluste auf die Effizienz der Luftförderung wird im weiteren Verlauf der energetischen Inspektion in *Abschnitt 3.3.6* beschrieben. Dabei wird auch auf die Bedeutung von Luftgeschwindigkeiten im RLT-Zentralgerät und im Kanalnetz eingegangen.

3.3.2. Wärmerückgewinnung

Anlagen zur Wärmerückgewinnung sind zuerst daraufhin zu untersuchen, ob sie regelmäßig gewartet wurden und dies durch Wartungsprotokolle belegt ist. Auslegungsdaten oder Messwerte aus Abnahmemessungen sind zur Bewertung der Energieeffizienz der WRG-Anlagen zulässig, sofern sie nicht älter als 10 Jahre sind (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 19). Die Bewertung kann über die Leistungskennwerte Rückwärmzahl, Rückfeuchtezahl und Wärmerückgewinnungsgrad erfolgen. Die (trockene) Rückwärmzahl Φ (auch Temperaturübertragungsgrad, Temperaturänderungsgrad oder Wärmebreitstellungsgrad) gibt den Anteil der sensiblen Wärmemenge an, die im Heizbetrieb zurückgewonnen werden kann. Die Energie der feuchten Luft, die bei der Kondensation frei wird, wird bei diesem Kennwert nicht betrachtet (BauNetz Media GmbH).

Die Rückfeuchtezahl Ψ (auch Feuchteänderungsgrad) hingegen berücksichtigt zusätzlich noch die Übertragung von Feuchte x .

Der Wärmerückgewinnungsgrad h (auch Enthalpieübertragungsgrad) gibt schließlich sowohl sensible als auch latente Wärme an. Die Leistungskennwerte werden folgendermaßen definiert (Recknagel, 2009):

$$\Phi = \frac{\theta_{22} - \theta_{21}}{\theta_{11} - \theta_{21}} \quad (7)$$

$$\Psi = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}} \quad (8)$$

$$h = \frac{h_{22} - h_{21}}{h_{11} - h_{21}} \quad (9)$$

Dabei stehen die Indices 22 für *Zuluft*, 21 für *Außenluft* und der Index 11 steht für *Abluft*.

Zur Berechnung der Leistungskennwerte sind Messwerte bereits installierter Sensoren verwendbar, sofern die Sensoren ablesbar und auswertbar sind (z.B. über eine Gebäudeleittechnik). Eine vom Durchführenden der energetischen Inspektion eigene Messung der Leistungskennwerte ist „aufgrund des hohen Messaufwandes nicht vertretbar“ (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 19).

Eine andere Methode zur Berechnung der Rückwärmzahl wird in DIN EN 13053:2007-09 dargestellt. Dabei dienen der maximale Außenluftvolumenstrom im Winterbetrieb und die jährlichen Betriebsstunden der RLT-Anlage bei einem Massenstromverhältnis von Zu- und Abluft von 1:1 als Berechnungsgrundlage. Diese Methode ist in Tabelle 14 und Tabelle 15 dargestellt.

	max. Außenluftvolumenstrom im Winter [m ³ /h]				
Laufzeit [h/a]	2000 bis 5000	> 5000 bis 10000	> 10000 bis 25000	> 25000 bis 50000	> 50000
< 2000	- -	0,40 150 Pa	0,43 175 Pa	0,50 200 Pa	0,55 225 Pa
≥ 2000 bis 4000	0,40 175 Pa	0,43 200 Pa	0,47 225 Pa	0,53 250 Pa	0,58 275 Pa
> 4000 bis 6000	0,43 200 Pa	0,45 225 Pa	0,50 250 Pa	0,58 275 Pa	0,63 300 Pa
> 6000	0,45 225 Pa	0,50 250 Pa	0,55 275 Pa	0,63 300 Pa	0,68 325 Pa

Tabelle 14: Rückwärmzahl und Druckverlust in WRG-Einheiten nach DIN EN 13053:2007-09

Zur Klassifizierung der aus Tabelle 14 ermittelten Rückwärmzahlen werden diese Werte mit einem Faktor multipliziert. So ergeben sich unterschiedliche WRG-Klassen (s. Tabelle 15).

Klasse WRG	Min. Rückwärmzahl	Max. Druckverlust
H1	Werte x 1,15	Werte x 0,75
H2	Werte x 1,10	Werte x 0,90
H3	Werte x 1,00	Werte x 1,00
H4	Werte x 0,90	Werte x 1,10
H5	Keine Anforderung	Keine Anforderung

Tabelle 15: Klassen des WRG-Grades und Druckverluste nach DIN EN 13053:2007-09

So ergibt sich bei einer Anlage mit einem maximalen Außenluftvolumenstrom von 15.000 m³/h und einer Laufzeit von 5.000 h/a eine Rückwärmzahl von 0,50. Um bei gleichen Bedingungen der WRG-Klasse H1 zugeordnet zu werden, müsste die tatsächliche Rückwärmzahl der Anlage einen Wert von $0,50 \cdot 1,15 = 0,575$ aufweisen.

Paragraph 15 der EnEV schreibt bei Neuanlagen oder Erneuerungen beispielsweise Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung vor, die mindestens der Klasse H3 nach DIN EN 13053:2007-09 entsprechen.

Die in Abbildung 4 dargestellte Methode nach DIN V 18599-7 dient der Abschätzung der Rückwärmzahl bei Plattenwärmeübertragern. Auf der Abszisse ist das Verhältnis von Kantenmaß und Plattenabstand des Plattenwärmeübertragers aufgetragen, die Ordinate beschreibt die Größe der Rückwärmzahl. Es wird deutlich, dass sich das Verhältnis aus Kantenmaß und Spaltbreite und die Rückwärmzahl im dargestellten Bereich nicht linear zueinander verhalten. Diese Methode ist allerdings nur anzuwenden, wenn nur eine rein optische Begutachtung des Plattenwärmetauschers möglich ist und „die Anströmgeschwindigkeit bezogen auf den Netto-Querschnitt des Plattenwärmeübertragers 2 bis 4 m/s“ (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 33) beträgt. Zudem muss die Rückfeuchtezahl Null betragen und ein ausgeglichenes Volumenstromverhältnis von Außen- und Fortluft vorliegen.

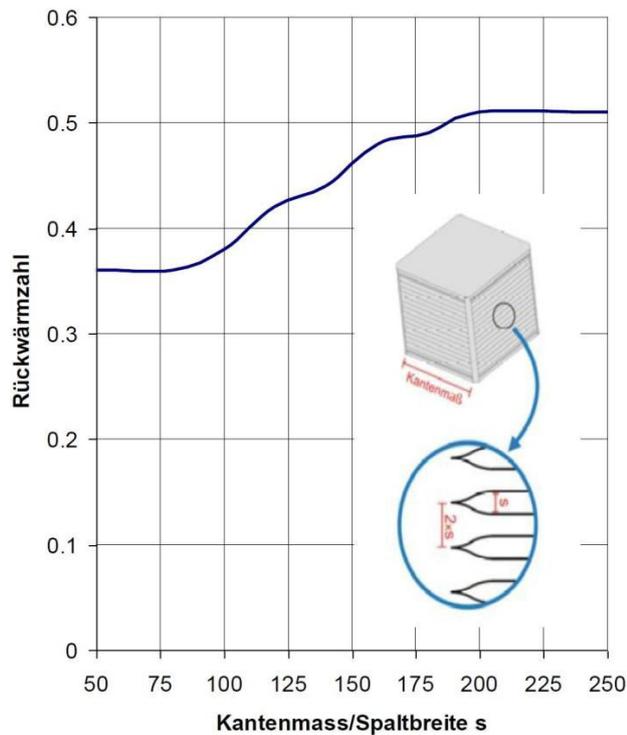


Abbildung 4: Abschätzung der Rückwärmzahl bei Plattenwärmeübertragern (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 42)

Auch die beiden folgenden Methoden sind in DIN V 18599-7 definiert. Sie ermöglichen die Abschätzung der Rückwärmzahlen bei Rotationswärmeübertragern ohne Sorptionsmaterialien, Rotationswärmeübertragern mit Sorptionsmaterialien (beide Abbildung 5) und bei Kreislaufverbundsystemen (s. Abbildung 6).

In Abbildung 5 wird die Größe der Rückwärmzahl in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit im Bereich 2 m/s bis 4 m/s beschrieben. Für die obere blaue Linie wird eine Rückfeuchtezahl von Null angenommen, für die untere grüne Linie gilt (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 34):

$$\phi = \psi \quad (10)$$

Es wird deutlich, dass bei Rotationswärmeübertragern ohne Sorptionsmaterialien die Rückwärmzahl bei steigender Anströmgeschwindigkeit linear fällt. Rotationswärmeübertrager mit Sorptionsmaterialien weisen das gleiche Verhalten auf, allerdings ist deren Rückwärmzahl ca. 5 % niedriger.

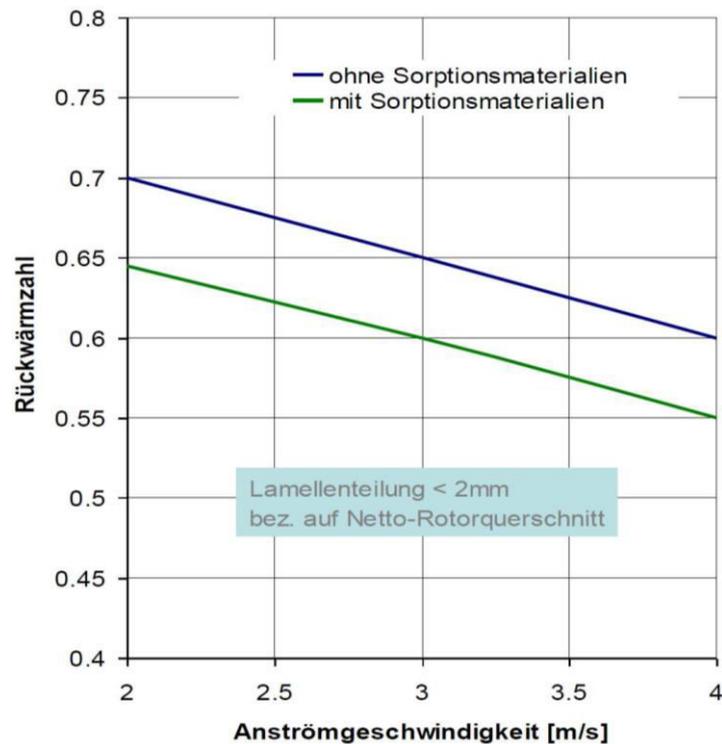


Abbildung 5: Abschätzung der Rückwärmzahl bei Rotationswärmeübertragern (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 42)

Aus Abbildung 6 hingegen kann die Rückwärmzahl von Kreislaufverbundsystemen (KVS) über die Bautiefe (Lamellenlänge des Wärmeübertragers) für verschiedene Anströmgeschwindigkeiten abgelesen werden. Dabei ist auf der Abszisse die Bautiefe in einem Bereich von 150 mm bis 1.125 mm und auf der Ordinate die Größe der Rückwärmzahl dargestellt. Es wird deutlich, dass bei allen Bautiefen höhere Anströmgeschwindigkeiten zu niedrigeren Rückwärmzahlen führen.

Die jeweilige Strömungsgeschwindigkeit ist für Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 aus Nenn-Zuluftvolumenstrom und gemessenem Nettoquerschnitt des Wärmeübertragers senkrecht zur Luftrichtung zu ermitteln (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 35)

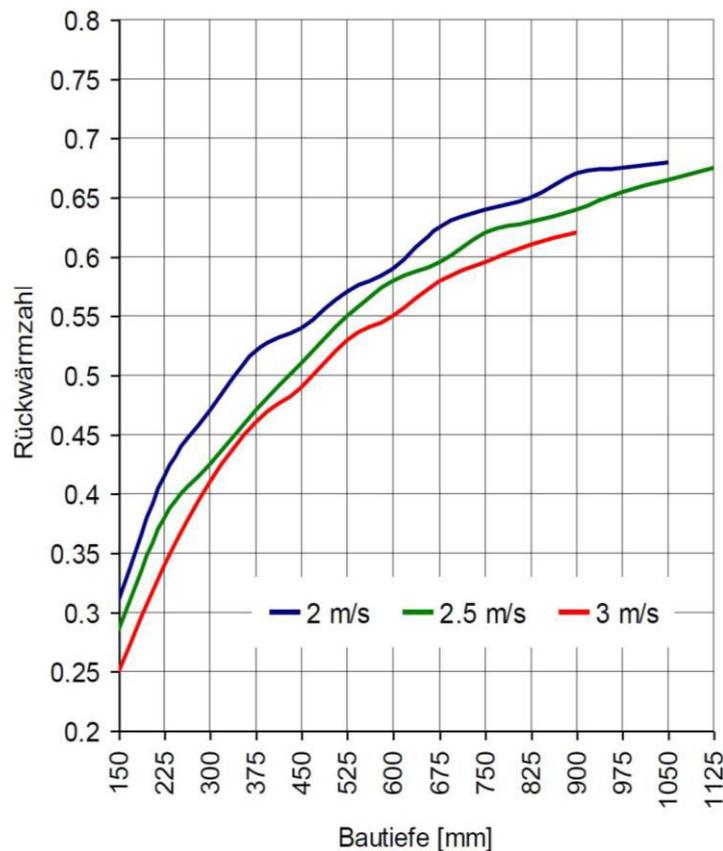


Abbildung 6: Abschätzung der Rückwärmzahl bei Kreislaufverbundsystemen (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 42)

Die einfachste Möglichkeit zur Bestimmung der Leistungskennwerte ist das Hinzuziehen der Standardwerte nach DIN V 18599-7 für WRG-Einrichtungen, die in Tabelle 16 aufgezählt werden.

Wärmerückgewinnung	Rückwärmzahl Temperaturänderungsgrad η_t	Rückfeuchtezahl Feuchteänderungsgrad η_x
Plattenwärmeübertrager	50 %	-
Plattenwärmeübertrager Kreuz-Gegenstrom	65 %	-
Kreislaufverbund Kompaktwärmeübertrager	40 %	-
Kreislaufverbund Hochleistungs-Gegenstrom- Wärmeübertrager	70 %	-
Rotationswärmeübertrager ohne Sorptionsmaterialien	70 %	0 %
Rotationswärmeübertrager mit Sorptionsmaterialien	70 %	70%

Tabelle 16: Standardwerte für Rückwärmzahlen nach DIN V 18599-7

RLT-Anlagen, die im Umluftbetrieb betrieben werden, sind wie „eine entsprechende Wärme- und Feuchterückgewinnung [...]“ (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 19) zu behandeln, wobei der Umluftanteil der Rückwärm- und Rückfeuchtezahl entspricht (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 21). Allerdings sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Umluftanlagen „sehr oft nicht mehr den aktuellen Anforderungen der Energieeffizienz und der Hygiene [...]“ (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 21) entsprechen und daher generell kritisch zu hinterfragen sind.

Nach der Bestimmung der Leistungskennwerte lässt sich beurteilen, ob sich die Effizienz der WRG-Anlagen durch Ersatz oder Erneuerung verbessern lässt und ob Platzangebot und Druckverluste eine Nachrüstung zulassen (Schiller, 2010 S. 27). Zudem ist zu überprüfen, ob eine Leistungsregelung der Wärmerückgewinnung möglich ist, damit gegenläufiges Kühlen vermieden werden kann.

Bei der Betrachtung der Wärmerückgewinnung sind auch eventuell vorhandene Nebenantriebe wie Pumpen oder Motoren zu berücksichtigen. Von Messungen der Leistungsaufnahme wird abgeraten, da der elektrische Energiebedarf der Nebenantriebe verhältnismäßig gering ist. Stattdessen erfolgt eine Ermittlung aus „Angaben im Typenschild der Antriebe“ (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 20) im Nennbetrieb. Dabei wird für den elektrischen Energiebedarf der Pumpen einer Kreislaufverbundsystem-Anlage (KVS) folgende Formel verwendet:

$$q_{WRG,KVS} = P_{el,av,KVS} \cdot t_{WRG} \quad (11)$$

Der Energiebedarf für den Motor, der Rotationswärmeübertrager antreibt, wird nach Formel (12) berechnet (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 20).

$$q_{WRG,Rotor} = \frac{P_{el,av,Rotor} \cdot t_{WRG}}{\dot{V}_{Nenn}} \quad (12)$$

Falls aufgrund fehlender Typenschilder keine Aussagen über den Energiebedarf der Nebenantriebe möglich ist, kann auf Tabelle 17 zurückgegriffen werden, die Standardwerte für WRG-Nebenantriebe nach DIN V 18599-7 enthält (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 44).

Antrieb WRG	$P_{el,av,Rot}$ [W]	$P_{el,av,KVS}$ [W/m ³ /h]
Platte	0	0
Rotor bis 7.500 m ³ /h	90	
Rotor 7.501 - 25.000 m ³ /h	180	
Rotor 25.001 - 65.000 m ³ /h	370	
Rotor über 65.001 m ³ /h	750	
KVS unregelte Pumpen		0,03
KVS geregelte Pumpen		0,015

Tabelle 17: Standardwerte für WRG-Nebenantriebe nach DIN V 18599-7

Zwischenfazit:

Die in Tabelle 16 dargestellten Werte sind am besten dafür geeignet, in einer energetischen Inspektion verwendet zu werden, da ihre Beschaffung am wenigsten Aufwand erfordert. Aber auch die anderen Methoden können angewendet werden, wenn das Einholen der erforderlichen Daten nicht mit zu viel Aufwand verbunden ist. So ist eine Einordnung der WRG-Einrichtungen in WRG-Klassen nach DIN EN 13053:2007-09 (s. Tabelle 14 und Tabelle 15) sinnvoll, da bei dieser Methode auch die jährliche Betriebsdauer der RLT-Anlage berücksichtigt wird. Diese Version ist der aktualisierten DIN EN 13053:2011 vorzuziehen (s. Tabelle 18), da die neue Version vorschreibt, Temperaturmessungen bei bestimmten Bedingungen durchzuführen und die gemessenen Werte zur Bestimmung weiterer Kennwerte zu benutzen. Diese Vorgehensweise ist aufgrund des zu betreibenden Aufwands für eine energetische Inspektion nicht angemessen.

Klasse	$\eta_{e\ 1:1}$ min [%]
Klasse H1	≥ 71
Klasse H2	≥ 64
Klasse H3	≥ 55
Klasse H4	≥ 45
Klasse H5	≥ 36
Klasse H6	Keine Anforderungen
ANMERKUNG 5 Die Werte gelten für ausgeglichene Massenströme (1:1). Die Klassen definieren die Qualität der WRG und haben einen starken Einfluss auf den thermischen Energieverbrauch. In Nordischen Ländern sind höhere und in südlichen Ländern geringere Klassen gebräuchlich.	

Tabelle 18: WRG-Klassen nach DIN EN 13053:2011

Handelt es sich bei der betrachteten RLT-Anlage um eine Anlage in einem öffentlichen Gebäude, so sollte bei einer möglicherweise auf die energetische Inspektion folgenden grundlegenden Renovierung bedacht werden, dass eine effiziente Wärmerückgewinnung als Ersatzmaßnahme für die Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarf aus erneuerbaren Energien angerechnet werden kann. Dies kann dann geschehen, wenn

- der Wärmerückgewinnungsgrad mindestens 70 % und
- die Leistungszahl, die aus dem Verhältnis von der aus der Wärmerückgewinnung stammenden Wärme zum Stromeinsatz für den Betrieb der RLT-Anlage ermittelt wird, mindestens 10

betragen (EeWärmeG §20 Abs. V. Satz 2).

In Deutschland ist der Anteil der mit WRG-Einrichtungen ausgestatteten RLT-Anlagen von ca. 45 % im Jahr 2009 auf ca. 54 % im Jahr 2010 gestiegen und erfährt bereits seit einigen Jahren eine steigende Tendenz, was nicht nur dem Einbau neuer RLT-Anlagen, sondern auch den Nachrüstungen von WRG-Einrichtungen an Bestandsanlagen geschuldet ist (Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V., 2011). Auch die Rückwärmzahl der installierten WRG-Einrichtungen hat sich von ca. 58 % im Jahr 2005 auf ca. 67 % im Jahr 2010 erhöht (Kaup, 2012).

Die Nebenantriebe von WRG-Einrichtungen haben zwar nur einen geringen Energiebedarf, sollten aber trotzdem mit in die energetische Inspektion aufgenommen werden, da sie in den Energiekennwert in *Abschnitt 3.3.7* mit einfließen.

Insgesamt kommt der Inspektion der WRG-Einrichtungen eine wichtige Rolle zu, da jede Effizienzsteigerung im Bereich der Wärmerückgewinnung den Energiebedarf der thermischen Luftaufbereitung, der im folgenden Abschnitt beschrieben wird, reduziert (Pehnt, 2010).

3.3.3. Heizen

Die energetische Inspektion beschränkt sich in diesem Fall auf das Luftaufbereitungsgerät (Heizregister, Erhitzer) und bewertet nicht die spezifische Wärmeerzeugung der betrachteten Anlage (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 23). Besonderes Augenmerk ist auf das Zusammenspiel von Mischkammer, Wärmerückgewinnung, Erhitzer und Kühler zu legen und es ist zu prüfen, ob die Regelung gegenläufiges Heizen und Kühlen verhindert (Schiller, 2010 S. 31). Wichtig ist auch, ob alle elementar wichtige Messdaten (z. B. Luftvolumenstrom, Temperatur nach Mischkammer oder WRG) vorhanden sind, damit der Anlagenbetrieb überwacht und beurteilt werden kann.

Für die Bestimmung des in *Abschnitt 3.3.7* erläuterten Energiekennwertes, ist an dieser Stelle die Berechnung des Wärmeenergiebedarfs für die Luftaufbereitung nach DIN V 18599-3 Anhang A1 notwendig (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 16). Dafür werden auch die in *Abschnitt 3.3.2* erwähnten WRG-Arten inklusive Rückwärmzahlen benötigt. Es reicht allerdings aus, den in Tabelle A1 dieser Norm berechneten Kennwert $q_{H,18\text{ }^{\circ}\text{C},12\text{ h}}$ zu verwenden und keine anlagenspezifischen Spezifizierungen wie z.B. der Temperatur oder der Laufzeit vorzunehmen. Die in Tabelle 19 aufgeführten Faktoren (Heizfaktor f_H und Endenergiefaktor f_{p^*}) für die Heizenergie fließen ebenfalls in Gleichung (20) ein und berücksichtigen neben der Wärmeerzeugung auch deren Verteilung und Übergabe (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 39).

Wärmenutzung im Lüftungsgerät	Faktor f_H	f_p^*
40°C Vorlauftemperatur	1,2	1,1
60°C Vorlauftemperatur	1,3	1,1
70°C Vorlauftemperatur	1,35	1,1
90°C Vorlauftemperatur	1,4	1,1
Elektro direkt	1,0	2,6
Gas direkt	1,1	1,1

Tabelle 19: Energiefaktoren Heizenergie (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 43)

Zwischenfazit:

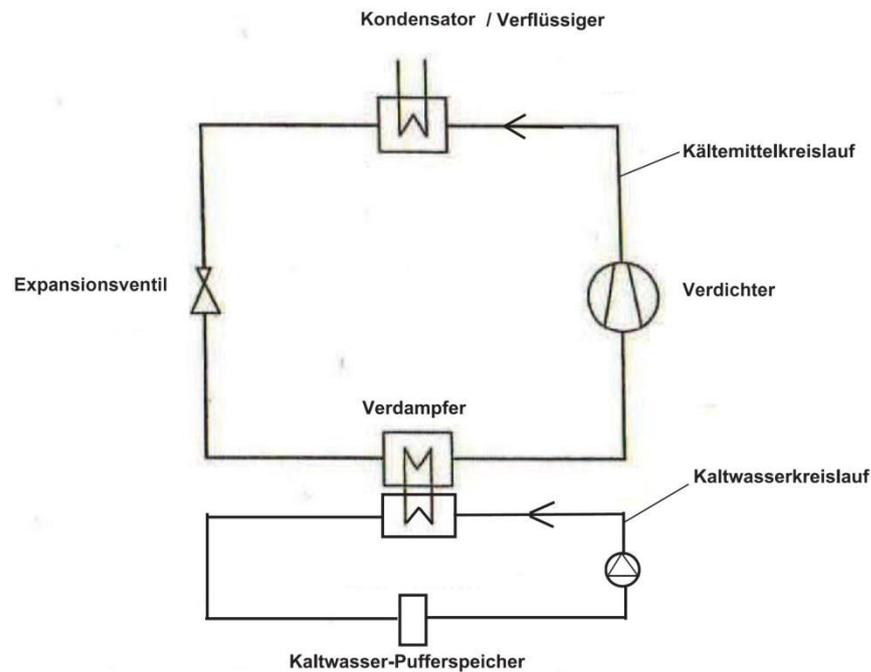
Ziel dieses Inspektionspunktes ist es, die wichtigsten Eigenschaften der thermischen Luftaufbereitung herauszufinden. Dabei sollte wegen des zu großen Aufwands nicht zu sehr ins Detail gegangen und sich auf Standardwerte berufen werden, die die jeweilige Technik hinreichend genau beschreiben (s. Tabelle 19).

3.3.4. Kältetechnik

In Abbildung 7 ist der Aufbau einer Kompressions-Kältemaschine mit angeschlossenem Kaltwassersatz dargestellt. Die wichtigsten Bauteile der Anlage lauten:

- Verdichter
- Verflüssiger / Kondensator / Rückkühler
- Verdampfer
- Expansionsventil
- Pumpen der Kälteverteilung
- Kaltwasser-Pufferspeicher

In diesem Abschnitt wird nun beschrieben, welche Aspekte bei der energetischen Inspektion der Kältetechnik beachtet werden müssen und durch welche Leistungskennwerte die Anlageneffizienz hinreichend genau beschrieben werden kann.



**Abbildung 7: Aufbau einer Kompressions-Kältemaschine mit angeschlossenem Kaltwassersatz
(eigene Darstellung)**

Der erste Schritt bei der energetischen Inspektion der Kältetechnik ist die Überprüfung, ob vor Inbetriebnahme der Anlage eine Abnahmeprüfung gemäß DIN EN 378-2 durchgeführt wurde, deren Schwerpunkt auf der Druckfestigkeit und Dichtheit der Anlage liegt (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2009 S. 13-15). Außerdem ist das nach derselben Norm vorgeschriebene, vom Anlagenbetreiber zu führende Anlagenprotokoll auf Umfang, Qualität und Dokumentation der durchgeführten Wartungstätigkeiten an den Kältemaschinen hin zu prüfen. Dabei sind gegebenenfalls vorhandene Messdaten oder Betriebsstundenzählerstände auszuwerten und für spätere Kalkulationen bereitzustellen (Schiller, 2010 S. 24). Da ein Großteil der heutigen Kälteerzeugung durch elektrisch angetriebene Kompressionskältemaschinen erfolgt, wird der Blick im weiteren Verlauf auf diesen Anlagentyp gerichtet (Pehnt, 2010). Folgende Anlagendaten sind ebenfalls zu notieren (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2009 S. 25):

- Art der Kälteerzeugung: Kompression, Absorption, Adsorption
- Verdichtertyp: Scroll-, Hubkolben-, Turbo-, Schrauben
- Verdichterkühlung: wasser-, luftgekühlt
- Kältemittel: R134a, R407C, R410a, R717, R22 ...
- Kalt- und Kühlwassertemperatur: am Eintritt, am Austritt

- Verdampfungstemperatur und -druck
- Kälte- und Verdichterleistung
- Teillastregelung: Zweipunkt (Ein-Aus), Zylinderabschaltung, Heißgasbypass, Schiebersteuerung, Einlassdrossel
- Art und Leistung der Rückkühlventilatoren

Viele Bestandsanlagen werden mit dem laut EG-Verordnung 1005/2009 ab 2015 verbotenen Kältemittel R22 betrieben, das bei Freisetzung zum Abbau der Ozonschicht führt. An dieser Stelle ist somit bereits eine Beurteilung des verwendeten Kältemittels möglich und es können Hinweise für den Austausch des Kältemittels gegeben werden. Weiterhin sind Wartungszustand und Aufstellort der Rückkühlung zu bewerten und es sollte festgestellt werden, ob sich durch ein anderes Rückkühlprinzip oder eine größere Rückkühlerleistung Effizienzsteigerungen erzielen lassen. Zusätzlich sind Aussagen hinsichtlich Verbesserungspotential in der Teillastregelung der Maschine zu treffen, z.B. ob Kühlwassertemperaturen in der Übergangszeit variabel betrieben werden können (Schiller, 2010 S. 24 u. 33). Zudem schlägt Schiller vor, zu prüfen, ob

- die Verdampfungstemperatur der Versorgungsaufnahme angemessen ist
- die Realisierung einer freien Kühlung sinnvoll ist
- sich regenerative Kältequellen wie Grund- oder Oberflächenwasser technisch und wirtschaftlich sinnvoll nutzen lassen
- die Kältebereitstellung für Räume, die über zu öffnende Fenster verfügen, in der kühleren Jahreszeit verriegelt werden kann

Es folgt die Feststellung der Energy Efficiency Ratio (*EER*) der Kältemaschine, die analog zur Leistungszahl *COP* (Coefficient of Performance) bei Wärmepumpen ist. Sie stellt das Verhältnis von Kälteleistung und elektrischer Antriebsleistung dar und wird folgendermaßen definiert (Pehnt, 2010):

$$EER = \frac{\dot{Q}_K}{P_{el}} \quad (13)$$

Die Bestimmung des EER-Wertes kann auf verschiedene Arten erfolgen. Von einer Messung wird aufgrund des hohen Aufwandes abgeraten.

Andererseits kann eine Berechnung des EER-Wertes anhand von Auslegungsdaten oder Herstellerangaben und Typenschildbezeichnungen erfolgen.

Zusätzlich sind Standard-EER-Werte in DIN V 18599-7 aufgelistet und können in Anhang F und G nachgeschlagen werden.

Allerdings ist zu beachten, dass der EER-Wert immer nur für einen Lastpunkt (meist 100 %) gültig ist und sich für verschiedene Betriebszustände der Kältemaschine unterschiedliche EER-Werte ergeben. Da Kältemaschinen in den meisten Fällen nur einen Bruchteil des Jahres im Volllastbetrieb fahren, ist die zusätzliche Betrachtung des Teillastverhaltens sinnvoll (EUROVENT Certification). Dies kann über den Seasonal Energy Efficiency Ratio (*SEER*) nach Gleichung (14) erfolgen (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 26).

$$SEER = EER \cdot PLV \quad (14)$$

Der in der Gleichung vorkommende Teillastfaktor *PLV* (part load value) wird in DIN V 18599-7 beschrieben und ist für bestimmte Nutzungsprofile für Nichtwohngebäude Anhang H entnehmbar.

Auch über den *ESEER-Wert* (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) kann das Teillastverhalten berücksichtigt werden. Dabei werden mehrere EER-Werte bei unterschiedlichen Teillastnennbedingungen gemittelt und zusammengefasst (Pehnt, 2010). Der ESEER-Wert wird folgendermaßen definiert (EUROVENT Certification):

$$ESEER = 0,03 \cdot EER_{100\%} \cdot 0,33 \cdot EER_{75\%} \cdot 0,41 \cdot EER_{50\%} \cdot 0,23 \cdot EER_{25\%} \quad (15)$$

Der Unterschied zwischen SEER- und ESEER-Wert besteht in der unterschiedlichen Gewichtung der einzelnen Teillastbereiche, die sich aus den jeweiligen geographischen Gegebenheiten ergeben. Während der ESEER-Wert in Europa verwendet wird, benutzt man in den USA den SEER-Wert. Es sollte auch bedacht werden, dass sich diese Leistungszahlen immer auf bestimmte Annahmen stützen (Laborbedingungen, definierte Wasser- und Lufttemperaturen, definierte Betriebszeit) und nicht dafür geeignet sind, den exakten Kältebedarf der Kältemaschine zu bestimmen (EUROVENT Certification).

Mit $PLV = PLV_{KK}$ ist nun der Effizienzkennwert für Kälteerzeugungssysteme (E_{KK}) zu berechnen, der neben Leistungszahl und Teillastbetrieb auch die Rückkühlung umfasst und in Gleichung (16) definiert ist (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2009 S. 21):

$$E_{KK} = \frac{EER \cdot PLV_{KK}}{1 + q_{R,el} \cdot f_{KK,R} \cdot (1 + EER)} \quad (16)$$

Die entsprechenden Werte für $q_{R,el}$ (spezifischer Elektroenergiebedarf des Rückkühlers) und $f_{KK,R}$ (gewichteter mittlerer Nutzungsfaktor der Rückkühlung) können der DIN V 18599-7 entnommen werden.

Die ermittelten Kennwerte ermöglichen eine Beurteilung, ob die Effizienz der Kältemaschine dem Stand der Technik entspricht. Im Zuge der Betrachtung der gesamten Kälteverteilung ist der Zustand der Wärmedämmung von Rohrleitungen, Speichern und Armaturen zu betrachten (Schiller, 2010 S. 24). Wichtig hierbei ist die Prüfung, ob Pumpen und Regelventile regelmäßig gewartet wurden und ob dies durch Wartungsprotokolle belegbar ist. Im Folgenden sind Pumpenleistung (P_d), -regelung und Betriebszeit (t_d) der Kaltwasserhydraulik aufzunehmen und der elektrische Aufwand der Verteilung nach Gleichung (17) zu berechnen. (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 30).

$$q_{Verteilung} = P_d \cdot t_d \cdot f_p \quad (17)$$

Standardwerte für Betriebszeit und Korrekturfaktor der Regelung (f_p) können Anhang I entnommen werden.

Schiller schlägt weiterhin vor, folgende Fragen zu beantworten (Schiller, 2010 S. 29 u. 33):

- Ist die Dimensionierung der Pumpen angemessen?
- Lassen sich Überströmungen verringern?
- Ist ein hydraulischer Abgleich sinnvoll?
- Können die Pumpen bedarfsgerecht drehzahlregelt und außerhalb der Betriebszeit abgeschaltet werden?

Vor allem die Pumpenauslegung und -regelung ist kritisch zu beurteilen und ggf. mit Referenzwerten aus der EnEV zu vergleichen. Dort wird die spezifische elektrische Leistung einer hydraulisch abgeglichenen, geregelten Verteilungspumpe für Kaltwasserkreisläufe zur Raumkühlung angegeben mit:

- 20 W_{el} pro Kilowatt Kälteleistung

Für unregelte Pumpen gilt der Richtwert (EnEV Anlage 2 Tabelle 1):

- 30 W_{el} pro Kilowatt Kälteleistung

Die einfachste Möglichkeit für die Bestimmung relevanter Kennwerte ist die Berechnung des Kälteenergiebedarfs für die Luftaufbereitung nach DIN V 18599-3 Anhang A1 (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 16), die dem gleichen Muster wie die zuvor in *Abschnitt 3.3.3* beschriebene Bestimmung des Wärmeenergiebedarfs folgt. Auch hier ist es ausreichend, den in Tabelle A1 dieser Norm berechneten Kennwert $q_{C,18\text{ }^{\circ}\text{C},12\text{ h}}$ zu verwenden und keine anlagenspezifischen Spezifizierungen wie z.B. der Temperatur oder der Laufzeit vorzunehmen. Die in Tabelle 20 aufgeführten Kennwerte (EER-Wert und Kältefaktor f_c) fließen später in die Berechnung des in *Abschnitt 3.3.7* beschriebenen Energiekennwertes ein. Zusätzlich wird der Endenergiefaktor f_s für elektrische Energie auf $f_s = 2,6$ festgelegt (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 39).

Kälte	Kältefaktor $f_c = 1 / \{(1) \cdot (2) \cdot (3)\}$	Entfeuchtung (1)	Übergabe (2)	Verteilung (3)	EER
6/12 °C	1,34	0,87	0,9	0,95	4
8/14 °C	1,30	0,9	0,9	0,95	4,2
14/18 °C	1,17	1	0,9	0,95	4,6
Direktverdampfung	1,34	0,87	0,9	0,95	3
freie Kühlung	1,17	1	0,9	0,95	10

Tabelle 20: Kältefaktoren nach DIN V 18599-7

Zwischenfazit:

Auch bei diesem Inspektionsschritt ist derjenige Weg für die Beschaffung der relevanten Kennwerte zu wählen, der mit dem angemessensten Aufwand verbunden ist. So gestaltet sich die Messung der Kälteleistung der Kältemaschine schwierig, sodass von einer Messung des EER-Wertes abgeraten wird. Sofern Hersteller- oder Auslegungsdaten bzgl. EER-Wert vorliegen oder dieser anhand der vorhandenen Daten nach Gleichung (13) einfach berechnet werden kann, können diese Werte zur Beschreibung der Energieeffizienz der Kältemaschine verwendet werden.

Der Bestimmung von SEER- und ESEER-Wert wird im Zuge der energetischen Inspektion große Rolle zugeschrieben. Besonders bei älteren Kältemaschinen liegen diese Werte häufig nicht vor, da sie erst in den letzten Jahren definiert wurden. Zudem wird der SEER-Wert eher in den USA verwendet. Auch die eigene Berechnung des

ESEER-Wertes nach Gleichung (15) wird nicht empfohlen, da es schwierig ist, die erforderlichen EER-Werte für die jeweiligen Betriebszustände herauszufinden.

Der in Gleichung (16) beschriebene Effizienzwert für Kälteerzeugungssysteme (E_{KK}) und die zusätzliche Berechnung des jährlichen Energiebedarfs für die Verteilung erfordern ebenfalls viel Aufwand und ist eher bei einer detaillierten Inspektion der Kältetechnik, z.B. im Rahmen des von der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (Hamburg) geförderten *Kältechecks* zu untersuchen.

Die in Tabelle 20 aufgeführten Kennwerte bilden eine hinreichend genaue Grundlage zur Beurteilung der Effizienz der Kältetechnik. Durch die Verwendung der beschriebenen Standardwerte (EER, Kältefaktor, Primärenergiefaktor) werden Kälteerzeugung, -verteilung und -übergabe für die verwendete Technik beschrieben. Anlagenspezifische Besonderheiten können vermerkt werden und ergänzen die Standardwerte.

3.3.5. Befeuchtung und Entfeuchtung

Bei der Inspektion von Be- und Entfeuchtungsanlagen ist zu überprüfen, ob die Anlagen selbsttätig regelbar sind und ob sich getrennte Sollwerte für die maximale / minimale Luftfeuchte und Be- und Entfeuchtung einstellen lassen. Diese Regelbarkeit wird in § 15 Abs. 2 der EnEV für Neuanlagen und bei Erneuerungen gefordert und muss ggf. nachgerüstet werden.

Folgend wird erläutert, wie der Energiebedarf für Dampf-befeuchtung (s. Gleichung (18)) und Wasser-befeuchtung (s. Gleichung (19)) berechnet werden kann. Das Ergebnis dieser Berechnung fließt später in den E_{RLT} -Wert ein. Dabei können End- und Primärenergiefaktoren ($f_{m*,f}$ und f_{pri}) Tabelle 21 und spezifische Leistungsaufnahme der Befeuchterpumpe ($P_{el,mh}$) und Teillastfaktor für die Regelung der Befeuchtung (f_{mh}) Tabelle 22 entnommen werden (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 21-22). Der Nutzenergiebedarf für Dampf ($q_{St,12h}$) und die relative Betriebszeit der Befeuchtung (t_{ev}) finden sich in Anhang A und B der DIN V 18599-3 wieder.

$$q_{Dampf} = q_{St,12h} \cdot f_{m*,f} \cdot f_{pri} \quad (18)$$

$$q_{Bef} = P_{el,mh} \cdot t_{ev} \cdot f_{mh} \cdot 4380 \text{ h/a} \quad (19)$$

Art der Dampfbefeuchtung	$f_{m',f}$	f_{pri}
Elektro	1,16	2,7
Gas	1,45	1,1
Dampf	1,45	1,3
Dampf/Mantelheizung	1,55	1,3

Tabelle 21: Kennwerte für Dampferzeugung (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 21)

	Regelung	$P_{el,mh}$ $W/m^3/h_{Luft}$	f_{mh} mit Toleranz	f_{mh} ohne Toleranz
Kontakt- und Rieselbefeuchter	ungeregelt und ventilgeregelt	0,01	1	1
Umlaufsprühbefeuchter	ungeregelt	0,20	1	1
	Ventilregelung	0,20	1	1
	getaktet (proportional)	0,20	0,35	0,50
	Drehzahlregelung	0,20	0,20	0,30
Hochdruckbefeuchter	Drehzahlregelung oder getaktet	0,04	0,35	0,50
Hybridbefeuchter	getaktet	0,02	0,35	0,50

Tabelle 22: Kennwerte Wasserbefeuchter (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 22)

Zwischenfazit:

Wie schon in *Abschnitt 3.2.3* beschrieben, ist der Einsatz von Be- und Entfeuchtungsmaßnahmen nach Möglichkeit zu begrenzen, da sie „nur in besonderen Gebäuden wie Museen, in einigen Gesundheitseinrichtungen, in der Prozesssteuerungs- und der Papierindustrie usw. erforderlich [sind]“ (DIN EN 15251, 2007). Eine direkte, selbsttätige Feuchteregelung ist dann einer Taupunktregelung vorzuziehen (Schiller, 2010 S. 31).

3.3.6. Luftdichtheit des Kanalsystems

Das Kanalnetz und die durchströmten Bauteile des RLT-Systems sind auf Dichtheit und resultierende Druckverluste zu untersuchen. Diese Prüfung ist, wie auch die Prüfung der Wärmedämmung, visuell bzw. akustisch vorzunehmen. Dabei ist besonders zu achten auf (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 24):

- Schmutzfahnen
- Mechanische Beschädigungen
- Strömungsgeräusche
- detektierbare Luftzüge
- Montagefehler

Bei vorhandenen Inbetrieb- oder Abnahmeprotokollen ist die ermittelte Dichtheitsklasse des Kanalnetzes zu übernehmen, sofern danach keine Anlagenänderungen vorgenommen wurden. Andernfalls ist auf Tabelle 23 zurückzugreifen und der Leckagefaktor (c_{leak}) für Gleichung (21) zu verwenden.

Klasse	Verlust/Luftvolumenstrom	Faktor c_{leak}
Standardwert = 2,5 * Klasse A	0,15	1,15
Klasse A	0,06	1,06
Klasse B	0,02	1,02
Klasse C oder besser	0,00	1,00

Tabelle 23: Leckagefaktor nach DIN EN 15242

Die ermittelten Dichtheitsklassen sind nun mit den in DIN EN 15780 vorgeschlagenen Klassen für unterschiedliche Gebäudetypen zu vergleichen (s. Tabelle 24). DIN EN 13779 empfiehlt hingegen als Richtwert, die maximale Leckage generell auf 2 % zu begrenzen, was Dichtheitsklasse B entspricht. Im Folgenden ist zu bewerten, ob die inspizierten Luftleitungen eine für ihre Verwendung angemessene Luftdichtheit aufweisen. Zur Abschätzung der Druckverluste an einzelnen Bauteilen, kann auf Anhang J und K zurückgegriffen werden.

Sauberkeitsgrad	Typische Beispiele	Dichtheits- klasse
niedrig	Räume, die nicht durchgehend belegt sind	B
mittel	Büros, Hotels, Schulen, Theater, Verkaufsräume, Wohnheime, Ausstellungsgebäude, Sportstätten, Krankenhäuser,...	C
hoch	Pharmazeutische Industrie, Halbleiter-Industrie, Lebensmittelindustrie, Laboratorien, Reinräume, Krankenhäuser mit besonderen Sicherheitsanforderungen	D

Tabelle 24: Luftdichtheit nach DIN EN 15780

Auch die Luftgeschwindigkeiten im Kanalnetz und im Zentralgerät sind, entweder durch Messung, oder durch Abnahmeprotokolle, zu überprüfen. Anhaltspunkte dabei sind Tabelle 25 für Kanalsysteme und Tabelle 26 für das RLT-Gerät, in der Luftgeschwindigkeitsklassen nach DIN EN 13053 definiert werden.

Kanaltyp	Komfort- anlage	Industrie- anlage
Hauptkanäle	4 - 8 m/s	8 - 12 m/s
Abzweigkanäle	3 - 5 m/s	5 - 8 m/s

Tabelle 25: Luftgeschwindigkeiten im Kanalsystem (Recknagel, 2009)

Klasse	Luftgeschwindigkeit m/s
Klasse V1	maximal 1,6
Klasse V2	> 1,6 bis 1,8
Klasse V3	> 1,8 bis 2,0
Klasse V4	> 2,0 bis 2.2
Klasse V5	> 2,2 bis 2.5
Klasse V6	> 2,5 bis 2.8
Klasse V7	> 2,8 bis 3.2
Klasse V8	> 3,2 bis 3.6
Klasse V9	> 3,6

ANMERKUNG Die Luftgeschwindigkeit im RLT-Gerät hat einen großen Einfluss auf den Energiebedarf. Die Geschwindigkeiten sind für den Querschnitt des RLT-Gerätes definiert. Die Geschwindigkeit bezieht sich auf den Querschnitt der Filtereinheit des Gerätes, oder wenn keine Filter installiert sind, auf den Querschnitt der Ventilatoreinheit.

Tabelle 26: Luftgeschwindigkeitsklassen im RLT-Gerät nach DIN EN 13053

Zwischenfazit:

Da sich Druckverluste proportional auf den Energiebedarf auswirken, bedeutet jede Reduzierung der Leckage eine Energieersparnis (Pehnt, 2010). Durch Reduzierung der Luftgeschwindigkeiten können zudem Druckverluste stark verringert werden, da diese quadratisch von der Luftgeschwindigkeit abhängig sind. Die energetische Inspektion kann nun Hinweise darauf geben, ob z.B. durch breitere, gerade Kanäle und somit geringeren Luftgeschwindigkeiten und reduzierten Druckverlusten der Energiebedarf gesenkt werden kann (Pehnt, 2010).

Auch die regelmäßige Wartung der eingesetzten Filter ist zu überprüfen, da verschmutzte Filter zu hohen Druckverlusten führen.

3.3.7. Energiekennwert

Dieser Inspektionspunkt fasst die Punkte Heizung, Kühlung, Luftförderung, Befeuchtung und Nebenantriebe zusammen, die in den letzten Abschnitten erläutert wurden. Der Energiekennwert (E_{RLT}) beschreibt den Primärenergiebedarf des Luftaufbereitungsgeräts für festgeschriebene Bedingungen. Die Randbedingungen umfassen neben der in Tabelle 27 aufgeführten Temperatur und Feuchtigkeit auch eine definierte Betriebszeit von 4.380 h/a.

	Funktion der RLT-Anlage	Zulufttemp.	Zuluftfeuchte	Ablufttemp.
E_{RLT-C1}	Heizen und WRG THM – C1	18 °C (im Sommer höher)	-	Wi: 22 °C (min.) So: 26 °C (max.)
E_{RLT-C3}	Heizen und Kühlen THM – C3	18 °C	x_{zu} max. 12 g/kg	Wi: 22 °C (min.) So: 26 °C (max.)
E_{RLT-C4}	Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten (mit Toleranz) THM – C4	18 °C	Wi: $x_{zu} = 6$ g/kg So: $x_{zu} = 10$ g/kg	Wi: 22 °C (min.) So: 26 °C (max.)
E_{RLT-C5}	Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten (ohne Toleranz) THM – C5	18 °C	$x_{zu} = 8$ g/kg	Wi: 22 °C (min.) So: 26 °C (max.)

Tabelle 27: Randbedingungen für den Energiekennwert des RLT-Gerätes (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 15)

Aufgrund der genannten Randbedingungen erlaubt der E_{RLT} -Wert keine „Bewertung des gesamten Klima- und Lüftungssystems insbesondere nicht zusätzlicher Raumkühlsysteme [...]“ (Fachverband Gebäude-Klima e.V., 2011 S. 14), sondern vereinfacht die Vergleichbarkeit verschiedener Lüftungs- und Klimaanlage.

In Gleichung (20) wird die Berechnung des E_{RLT} -Wertes anhand der in den jeweiligen Unterabschnitten ermittelten Kennwerte dargestellt. Gleichung (21) beschreibt nun den Energiekennwert des inspizierten RLT-Systems inkl. Leckage.

$$E_{RLT} = q_H \cdot f_H \cdot f_{p*} + q_C \cdot f_C \cdot f_S \cdot \frac{1}{EER} + (q_{V,ZUL} + q_{V,ABL}) \cdot f_S + q_{Dampf} + (q_{WRG} + q_{BEF}) \cdot f_S \quad (20)$$

$$E_{RLT,leak} = E_{RLT} \cdot c_{leak} \quad (21)$$

Zwischenfazit:

Der Energiekennwert E_{RLT} ist dafür geeignet, eine Vergleichbarkeit verschiedener Klimaanlage herzustellen. Der Blick ist dabei auf die verwendete Anlagentechnik gerichtet, die anhand diverser Kennwerte skizziert wird. Für das Nutzerverhalten und die Betriebszeiten der Anlage werden Randbedingungen definiert, die nicht zwingend mit den tatsächlichen Bedingungen übereinstimmen. Daher kann über den E_{RLT} -Wert keine Gesamt-Bewertung der Klimaanlage erfolgen und ersetzt nicht die anlagenspezifischen Details. Trotz der Einschränkungen stellt der Energiekennwert eine gute Möglichkeit dar, mit vergleichsweise geringem Aufwand eine aussagekräftige Bewertung der inspizierten RLT-Anlage vorzunehmen, da er eine Vielzahl von Faktoren enthält, die Auswirkungen auf den Energieverbrauch der Anlage haben.

3.4. Entwicklung von Alternativlösungen

In diesem Inspektionsschritt wird das energetische Gesamtkonzept geprüft, welches das Zusammenspiel von RLT-Anlage, Gebäude und Nutzung umfasst (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 33). Dazu findet eine Systembetrachtung und -beurteilung statt und sinnvolle Alternativen werden erarbeitet. Es wird beurteilt, ob das System durch passive Maßnahmen ersetzt oder in seiner Leistung reduziert werden kann und ob das System eine bedarfsgerechte und energiesparende Belüftung / Beheizung / Kühlung / Be- und Entfeuchtung ermöglicht, was eine unabhängige Regelung der einzelnen Funktionen bedeutet (Schiller, 2010 S. 34). Weiter ist zu prüfen, ob der Einsatz von regenerativen Energien, Fernwärme, Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung technisch realisierbar und wirtschaftlich sinnvoll ist. Zudem ist zu klären, ob eine zentrale oder dezentrale Anlagentechnik sinnvoller ist und ob der Energietransport mit Wasser anstelle von Luft erfolgen kann.

3.5. Empfehlungen für den Anlagenbetreiber

Aufbauend auf den Ergebnissen der einzelnen Inspektionen werden dem Anlagenbetreiber abschließend kostengünstige Varianten zur Erhöhung der Energieeffizienz aufgezeigt. Grundlage dafür ist eine für Laien verständliche Zusammenfassung von allgemeinen Angaben zum Objekt, Beschreibung der einzelnen Komponenten, Hinweise zu auffälligem Betriebsverhalten oder Lastreduzierung (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 35).

Eine ökonomische und ökologische Bilanzierung des Energieverbrauchs vor und nach der Inspektion kann dabei unterstützen, die Sinnhaftigkeit der einzelnen Varianten zu erläutern. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ist nach EnEV jedoch nicht notwendig.

3.6. Konsequenzen und Ausblick

Der dem Anlagenbetreiber ausgestellte Inspektionsbericht ist das Ergebnis der nach § 12 der EnEV durchgeführten energetischen Inspektion und ist auf Verlangen der zuständigen Behörde vorzulegen. Für die betrachtete Anlage besteht, außer bei den Regeleinrichtungen für die getrennte Sollwert-Einstellung von Be- und Entfeuchtung, keine Nachrüstvorschrift sondern Bestandsschutz (Schiller, 2009). Bei Erneuerungen an der Anlage sind die Referenzwerte aus Tabelle 28 und in detaillierter Form aus den oberen Abschnitten oder § 15 der EnEV zu entnehmen. Diese Werte sind für Bestandsanlagen zwar nicht bindend, zur Bewertung der Energieeffizienz sind sie als Richtwerte trotzdem hilfreich. Darüber hinaus gilt nach § 11 der EnEV ein Verschlechterungsverbot für die Energieeffizienz der Anlage, was eine regelmäßige Wartung und Instandhaltung voraussetzt.

	EnEV 2007	EnEV 2009
Zu- und Abluftanlage ohne Nachheiz- und Nachkühlfunktion	Zuluft: $P_{SFP} = 1,60 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ Abluft: $P_{SFP} = 1,25 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	Zuluft: $P_{SFP} = 1,50 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ Abluft: $P_{SFP} = 1,00 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ Zuschläge nach DIN EN 13779
Zu- und Abluftanlage mit geregelter Luftkonditionierung	Zuluft: $P_{SFP} = 2,00 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ Abluft: $P_{SFP} = 1,25 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	
Rückwärmzahl	$\eta_t = 0,45$	$\eta_t = 0,60$
Dampfbefeuchter	Elektrodampfbefeuchter	Wie tatsächlich ausgeführt
Wasserbefeuchter	Hochdruckbefeuchter	Wie tatsächlich ausgeführt
Vorlauf Heizmedium	55° C	55° C
Kälteerzeuger	Kolben-/Scrollverdichter mehrstufig, R134a, luftgekühlt	Kolben-/Scrollverdichter mehrstufig, R134a, luftgekühlt
Kältemedium	RLT-Kühlung: 6/12° C Raumkühlung: 14/18° C	RLT-Kühlung: 6/12° C (ab 5000m ² : 14/18° C) Raumkühlung: 14/18° C
Kaltwasser Pumpenleistung	Erzeugerkreis / RLT: 25 W_{el}/kW_0 Raumkühlkreis: 35 W_{el}/kW_0	Erzeugerkreis / RLT: 20 W_{el}/kW_0 Raumkühlkreis: 30 W_{el}/kW_0

Tabelle 28: Referenzwerte für RLT-Anlagen (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J. S. 34)

Um die Kosten für den Anlagenbetreiber für die energetische Inspektion gering zu halten, sollte an einigen Stellen nicht zu sehr ins Detail gegangen sondern auf Richtwerte zurückgegriffen werden, die die betrachtete Technik beschreiben. So wird ein Großteil der Anlagentechnik hinreichend genau erfasst und daraus Verbesserungsvorschläge abgeleitet. Auch die Durchführenden der energetischen Inspektion, z.B. fachkundige Ingenieurbüros, haben ein Interesse daran, eine präzise

Bewertung der Anlageneffizienz vorzunehmen, da sie im Anschluss an die energetische Inspektion auf Folgeaufträge für die Umsetzung der Verbesserungsvorschläge hoffen können. Details, die für die Umsetzung der Verbesserungen notwendig sind, werden dann während der Folgeaufträge ausgearbeitet. Sofern die betrachteten Anlagen nicht abgängig sind, da ihre Lebensdauer bereits überschritten ist, kann für Maßnahmen, die zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emission führen, gegebenenfalls Förderung durch die zuständige Behörde beantragt werden. In Hamburg ist das das *Unternehmen für Ressourcenschutz der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt* (Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt).

Ein weiterer Vorteil der energetischen Inspektion besteht darin, dass der Anlagenbetreiber auch sonstige Auffälligkeiten an der RLT-Anlage mitgeteilt bekommt, die die Energieeffizienz nicht beeinflussen. So können auch Verbesserungen im Hygienebereich vorgenommen werden, wenn im Verlauf der Inspektion ein Verkeimungsrisiko festgestellt wird (z.B. bei Verdunstungsbefeuchtern), sodass verkeimte, unhygienische Luft in die von der RLT-Anlage versorgten Räume geleitet wird.

4. Praxisbeispiel und Erkenntnisse aus der Praxis

In diesem Abschnitt wird die Vorgehensweise einer energetischen Inspektion an einem Praxisbeispiel verdeutlicht. In dem betrachteten Bürogebäude werden insgesamt 26 Klimaanlage betrieben, bei denen aufgrund einer Kälteleistung von jeweils mehr als 12 kW eine energetische Inspektion durchgeführt werden muss. Im Folgenden wird eine Klimaanlage exemplarisch betrachtet, die einzelnen Inspektionpunkte werden kurz skizziert, die Vorgehensweise erläutert und Erkenntnisse aus dem Praxisbeispiel herausgestellt. Aus Datenschutzgründen werden der Auftraggeber und der genaue Ort der inspizierten Klimaanlage nicht genannt. Die Inspektion wurde in Zusammenarbeit mit der *Averdung Ingenieurgesellschaft mbH* durchgeführt.

4.1. Anlagen- und Objektbeschreibung

Die Anlagen-Dokumentation wurde anhand einer Anlagenbeschreibung aus der Ausführungsplanung und anhand von Wartungsprotokollen überprüft. Die Anlagenbeschreibung konnte jedoch nicht über alle Anlagendetails Auskunft geben, sodass weitere Daten von Typenschildern abgelesen oder bei einer Begehung der von der RLT-Anlage versorgten Räume festgestellt wurden. Diese Daten sind im Folgenden aufgelistet:

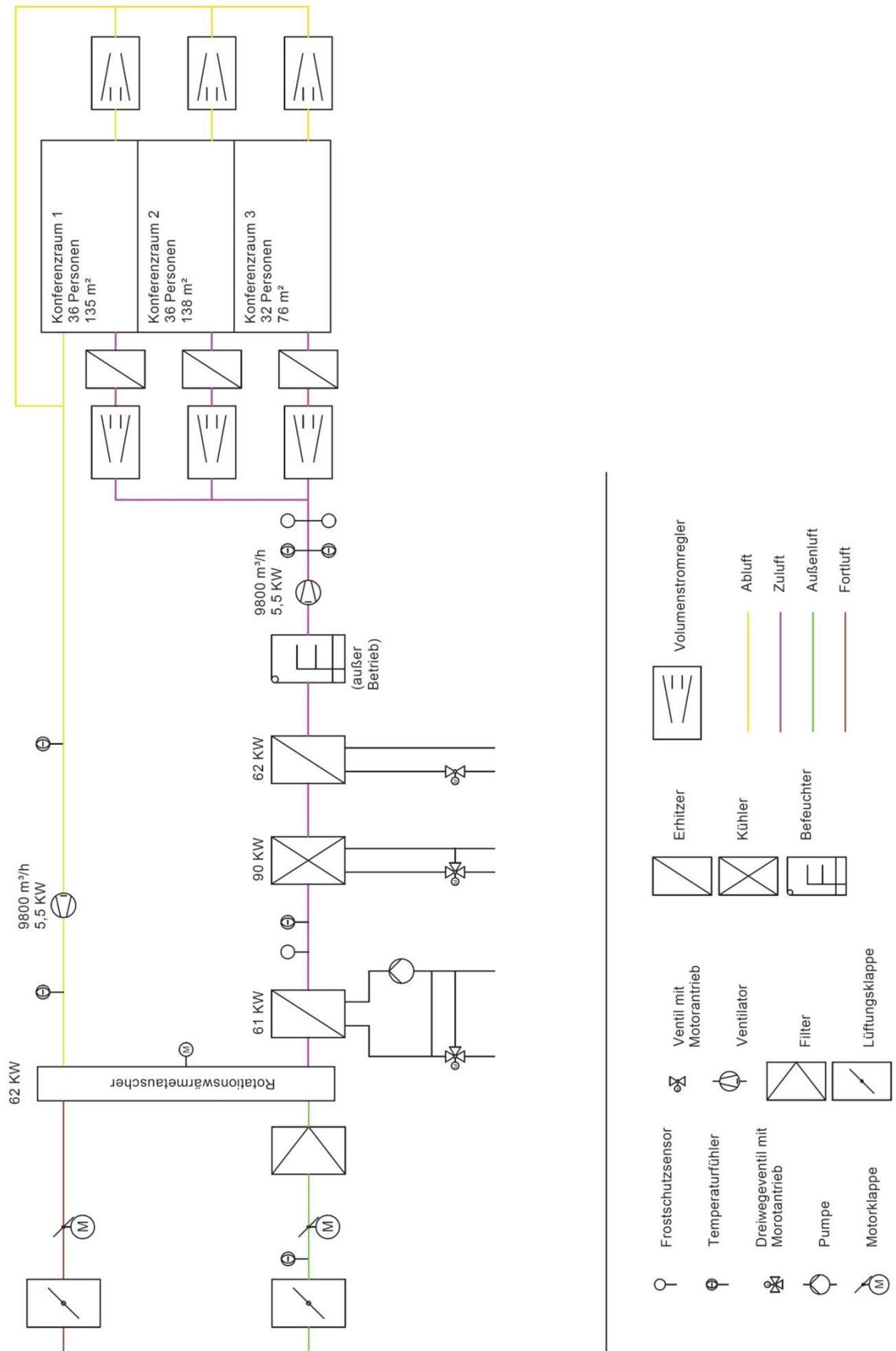
- versorgte Räume: 3 Konferenzräume
- Fläche: 350 m²
- Raumvolumen: ca. 2.000 m³
- Zentrales RLT-Gerät:
 - Luftvolumenstrom: 9.800 m³/h
 - Thermodynamische Funktionen: Heizen und Kühlen
 - $\Delta p_{\text{statisch,ZUL}} = 1.200 \text{ Pa}$
 - $\Delta p_{\text{statisch,ABL}} = 800 \text{ Pa}$
- Hersteller: Robatherm RMC 09/12
- Baujahr: 1997
- Personenbelegung: max. 100 Personen
- 1 Raum mit Nord-West-Ausrichtung, 2 Räume innenliegend
- Gebäudetyp: Altbau in Innenstadtlage
 - U-Wert Außenwand: ca. 2 W/(m²K)

- U-Wert Innenwand: ca. 3,5 W/(m²K)
- U-Wert Fenster (2-fach-Verglasung): ca. 2,5 W/(m²K)
- Weitere Heizmöglichkeit über statische Heizkörper

Die Auswertung der Wartungsprotokolle ergab, dass die Anlage 1-2-mal jährlich einer Wartung unterzogen wurde, der Schwerpunkt dabei aber auf Mängelbeseitigungen lag und keine Kontrollmessungen, z.B. des Differenzdrucks, durchgeführt wurden.

Die Inbetriebnahme der Anlage wird auf Oktober 1997 datiert, sodass gemäß den in § 12 der EnEV vorgegebenen Fristen eine energetische Inspektion bis Oktober 2013 erfolgen muss. Aufgrund der genannten thermodynamischen Funktionen wird die inspizierte RLT-Anlage der der Kategorie THM – C3 nach Tabelle 1 zugeordnet.

In Abbildung 8 ist der Aufbau der betrachteten RLT-Anlage schematisch dargestellt. Das zentrale RLT-Gerät weist nach Außenluftansaugung und Filterung zwei WRG-Einheiten auf. Nach Rotationswärmeübertrager und Kreislaufverbundsystem folgen Kühlregister und Vorerhitzer. Der defekte Befeuchter wird über einen Bypass umgangen. Ein Keilriemen-Ventilator fördert den Luftvolumenstrom in 6 Zuluftkanäle, die jeweils mit kleineren Nacherhitzern ausgestattet sind, über Volumenstromregler verfügen und zu drei Konferenzräumen führen. Die Abluftkanäle führen alle zurück zum RLT-Zentralgerät.



4.2. Beschreibung und Bewertung von Anlagendimensionierung und Komponenteneffizienz

Im Folgenden werden die im *Abschnitt 3.2* und *3.3* beschriebenen Inspektionsschritte am vorliegenden Praxisbeispiel durchgeführt.

4.2.1. Lüftungstechnik

Da es sich bei den betrachteten Räumen um Räume handelt, die für den Aufenthalt von Personen bestimmt sind, wurde mit dem zuständigen Gebäudetechniker eine gewünschte Raumlufthausqualität auf IDA 2 (s. Tabelle 3) abgestimmt. Da zur Bewertung der Luftqualität weder CO₂-Sensoren vorhanden waren, noch auf Werte von gebäudespezifische Schadstoffemissionen zurückgegriffen werden konnte, wurde zur Ermittlung des Luftbedarfs der Richtwert 12,5 l/(s*Person) gemäß DIN EN 13779 (s. Tabelle 4) verwendet. Für eine maximale Belegung ergab sich somit ein Soll-Außenluftvolumenstrom von:

$$\dot{V}_{AUL,Soll} = \frac{12,5 \frac{l}{s \cdot Person} \cdot 3.600 \frac{s}{h}}{1.000 \frac{l}{m^3}} \cdot 100 Personen = 4.500 \frac{m^3}{h}$$

Der Vergleich von Soll-Wert (4.500 m³/h) und Ist-Wert (9.800 m³/h) zeigt eine deutliche Überdimensionierung der Außenluftvolumenströme, besonders vor dem Hintergrund, dass RLT-Anlagen in der Regel nicht bei Maximalbelastung betrieben werden. Die vorgenommene Auslegung entspricht einer Luftwechselrate n von:

$$n = \frac{9.800 \frac{m^3}{h}}{2.000 \frac{m^3}{h}} = 4,9 \text{ h}^{-1}$$

Das lässt den Schluss zu, dass die Anlage vermutlich anhand von Luftwechselraten ausgelegt wurde, da die empfohlene Luftwechselrate für Sitzungsräume in der einschlägigen Literatur (Anhang A) mit ca. 5 h⁻¹ angegeben ist.

Die Befragung des Haustechnikers und das Ablesen an Reglern ergab für die Raumlufthausqualität eine Sollwert-Einstellung von 22 °C, die über das gesamte Jahr nicht verändert wird. Der vorhandene Befeuchter wird nicht mehr betrieben und wird über einen Bypass umgangen.

Anlagenbeschreibungen, Schaltpläne, die Auswertung der vorhandenen GLT-Daten und die Befragung des Haustechnikers ergaben, dass die RLT-Anlage ununterbrochen in Betrieb ist. Zwischen 6 und 18 Uhr wird die Anlage im Automatik-Modus betrieben, manuelle Einstellungen können über Temperaturregler im Raum oder die Gebäudeleittechnik vorgenommen werden. Frequenzumformer an den Ventilatoren und Volumenstromregler im Kanalsystem ermöglichen eine bedarfsgerechte Luftversorgung. Über Zeitschaltuhren wird ab 18 Uhr die Leistung auf 30 % gedrosselt, da die Anlage weiterhin eine Heizfunktion wahrnimmt.

Die Effizienz der Luftförderung wurde anhand der Typenschilder und der Anlagenbeschreibung durchgeführt, da die Einbausituation des RLT-Gerätes keine Messungen zugelassen hat. Auch durch die GLT-Daten wurden Messgrößen wie Leistungsaufnahme, Druckerhöhung oder Luftgeschwindigkeit nicht ersichtlich. Für Zu- und Abluftventilator mit Keilriementrieb ergab sich nach Gleichung (2) ein SFP-Wert von $2.020 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$. Dies entspricht, unter Berücksichtigung des Zuschlages für WRG-Klasse H1 nach Tabelle 9, der SFP-Klasse 4. Der Systemwirkungsgrad wurde nach Gleichung (3) ermittelt und es ergaben sich folgende Ergebnisse:

- $\eta_{\text{ZUL}} = 59,3 \%$
- $\eta_{\text{ABL}} = 39,5 \%$

Für den Energiebedarf der Zu- und Abluftförderung nach Gleichung (5) und (6) wurden folgende Werte ermittelt:

$$q_{V,ZUL} = \frac{2.020 \frac{\text{W}}{\text{m}^3/\text{s}} \cdot 4380 \text{ h/a}}{3.600 \text{ s/h}} = 2.458 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3/\text{h/a}}$$

$$q_{V,ABL} = \frac{2.020 \frac{\text{W}}{\text{m}^3/\text{s}} \cdot 4380 \text{ h/a}}{3.600 \text{ s/h}} = 2.458 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3/\text{h/a}}$$

Es konnte festgestellt werden, dass die RLT-Anlage über eine mehrstufige Wärmerückgewinnung mit einem Rotationswärmetauscher ohne Sorptionsmaterial und einem Kreislaufverbundsystem verfügt. Zusammen weisen die beiden WRG-Einheiten eine maximale Heizleistung von 123 kW auf. Die Rückwärmzahl der WRG-Einrichtung

wurde gemäß den Standardwerten aus Tabelle 16 auf 0,8 geschätzt. Über Temperatursensoren konnte Außenluft-, Zuluft- und Ablufttemperatur bestimmt werden. Eine Ermittlung des Temperaturänderungsgrades nach Gleichung (7) wurde dennoch nicht vorgenommen, da die dafür notwendigen Randbedingungen gemäß DIN EN 13053 (Außenlufttemperatur: 5 °C, Ablufttemperatur: 25 °C) nicht vorgelegen haben. Das Ergebnis der Berechnung wäre ein spezifischer Temperaturübertragungsgrad für bestimmte Temperaturverhältnisse gewesen, der nicht auf die gesamte WRG-Einheit hätte übertragen werden dürfen. Für den Energiebedarf der WRG-Nebenantriebe ergaben sich nach Tabelle 17 und nach den Gleichungen (11) und (12) folgende Werte:

$$q_{WRG,KVS} = 0,03 \frac{W}{m^3/h} \cdot 4.380 h/a = 131 \frac{Wh}{m^3/h/a}$$

$$q_{WRG,Rotor} = \frac{180 W \cdot 4.380 h/a}{9.800 m^3/h} = 80 \frac{Wh}{m^3/h/a}$$

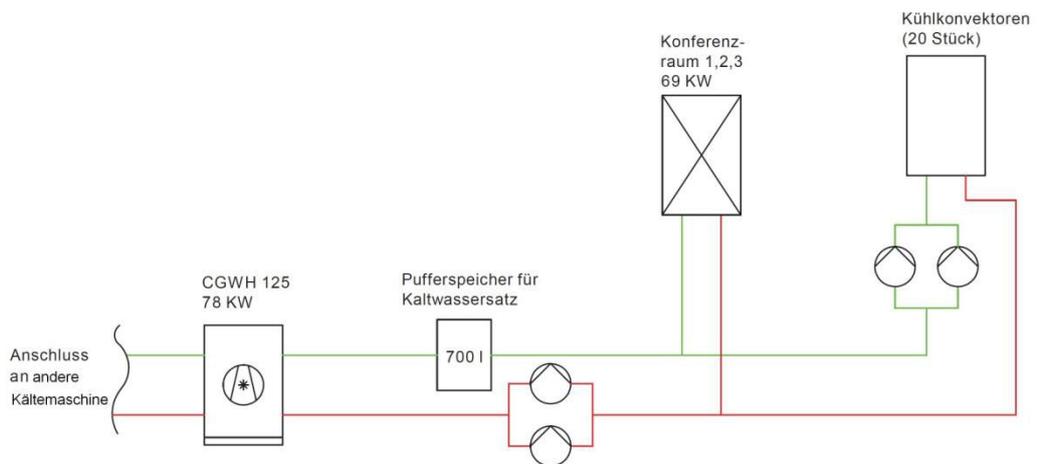
Die RLT-Anlage ist mit mehreren Heizregistern (Vor- und Nacherhitzer) ausgestattet, die mit Pumpenwarmwasser (65 °C) versorgt werden und eine maximale Heizleistung von 80 kW aufweisen. Dabei befinden sich 6 Nacherhitzer mit je 3 kW in den Zuluftkanälen der jeweiligen Konferenzräume und ermöglichen so ein bedarfsgerechte Nachheizmöglichkeit für die einzelnen Räume. Laut Anhang A 1 der DIN V 18599-3 ergibt sich für die RLT-Anlage (Variante 4) ein jährlicher Heizenergiebedarf von 40 Wh/(m³/h/a). Dieser Wert wird für die Berechnung des Energiekennwerts (E_{RLT}) benötigt. Zusätzlich wurde aus Tabelle 19 der Heizfaktor $f_H = 1,3$ und $f_{P*} = 1,1$ ermittelt.

4.2.2. Kältetechnik

Die Kühllastberechnung wurde mit Hilfe eines Excel-Tools gemäß des Kurzverfahrens der VDI 2078:1996 durchgeführt. Dafür waren neben den oben erfassten Raum- und Gebäudedaten auch Personenbelegung und Sonnenschutzvorrichtungen notwendig. Die Berechnung ergab eine maximale innere Kühllast von 34 kW und eine maximale äußere Kühllast von 3 kW (s. Anhang L und M). Der Vergleich mit der installierten Kälteleistung des Kühlregisters (90 kW) macht deutlich, dass eine deutliche Überdimensionierung der Kühlleistung der RLT-Anlage vorliegt.

Das Ergebnis der Bestandsaufnahme der Kältetechnik wird im Folgenden aufgeführt und ist in Abbildung 9 schematisch dargestellt:

- Verdichtungsart: Kompression
- Typ: Scroll-Verdichter
- Hersteller: Trane CGWH 125
- Baujahr: 1997
- Kältemittel: R134a
- Kälteleistung: 78 kW
- Verdichterleistung: 20 kW
- Rückkühltyp: wassergekühlter, FU-geregelter Rückkühler
- Kaltwassertemperaturen am Ein- und Austritt: 12 °C / 6 °C
- Kaltwasser-Pufferspeicher: 700 Liter
- Pumpenleistung Kälteverteilung: 2 x 940 W + 2 x 290 W



• **Abbildung 9: Anlagenschema Kältetechnik (eigene Darstellung)**

Die Kältemaschine mit einer maximalen Kälteleistung von 78 kW versorgt das Kühlregister der inspizierten Klimaanlage, das eine Kälteleistung von 90 kW hat, im Normalbetrieb allerdings nur 69 kW Kälteleistung abgibt. Zusätzlich sind 20 Kühlkonvektoren in anderen Büroräumen mit einer jeweiligen maximalen Kälteleistung von 2 kW an den Kaltwassersatz angeschlossen. Diese Werte verdeutlichen, dass Kühlregister und Kühlkonvektoren nicht ihre maximale Kühlleistung abrufen können, wenn die Kältemaschine unter Vollast läuft. Unter Berücksichtigung der ermittelten Kühllast der Konferenzräume von 37 kW wird aber deutlich, dass zum einen die installierte Kälteleistung der Kältemaschine ausreicht, um die Kühllasten zu decken. Zum anderen wird klar, dass das Kühlregister der RLT-Anlage deutlich überdimensioniert ist.

Die Ermittlung des Energiebedarfs für das Kühlen gemäß DIN V 18599-3 Anhang A 1 ergab den Wert 2.303 Wh/(m³/h/a). Dieser Wert fließt, zusammen mit den aus Tabelle 20 bestimmten Daten für den EER-Wert (EER = 4,0) und dem Kältefaktor ($f_c = 1,34$), in die Berechnung des Energiekennwerts (E_{RLT}) mit ein und beinhaltet den Energiebedarf für die Kälteverteilung. Aufgrund des hohen Aufwands wurden keine Messungen an der Kältemaschine durchgeführt. Die rechnerische Überprüfung des EER-Wertes nach Gleichung (13) ergab den Wert:

$$EER = \frac{78 \text{ kW}}{20 \text{ kW}} = 3,9$$

Die Größe dieses Wertes ist vergleichbar mit dem Standardwert aus Tabelle 20 für vergleichbare Anlagen. Für die Kälteverteilung mit unregelmäßig genutzten Pumpen und dem Richtwert 30 W_{el} je Kilowatt Kälteleistung aus Anlage 2 Tabelle 1 der EnEV wurde ein leicht erhöhter Energiebedarf festgestellt:

$$q_{\text{Kälteverteilung}} = \frac{2 \cdot 940 \text{ W} + 2 \cdot 290 \text{ W}}{78 \text{ kW}} = 31,5 \frac{\text{W}}{\text{kW}}$$

4.2.3. Luftdichtheit und Energiekennwert

Da weder Be- noch Entfeuchter vorhanden waren, fällt dieser Teil der energetischen Inspektion weg. Bei der visuellen und akustischen Inspektion der Luftdichtheit des Kanalnetzes konnten keine Auffälligkeiten entdeckt werden. Da die Einbausituation der RLT-Anlage keine Messung von Luftgeschwindigkeit oder Druckverlusten zugelassen hat und auch im Abnahmeprotokoll keine Hinweise zur Dichtheitsklasse genannt waren, wurde für die Leckage der Standardwert $c_{leak} = 1,15$ gewählt.

Während die Zuluftkanäle mit einer Aluminiumkaschierung wärme gedämmt sind, weisen die Abluftkanäle keine Wärmedämmung auf. Die Leitungen zum Heizregister, Kühlregister und zum Kreislaufverbundsystem sind mit Mineralwolle und einer Blechummantelung wärme gedämmt. Die Leitungen des Kaltwassersatzes sind teilweise nicht gedämmt.

Durch den Vergleich der ermittelten Luftgeschwindigkeiten im Luftkanalnetz (3 Zuluftkanäle mit einer jeweiligen Nennweite von DN 500 zu den versorgten Konferenzräumen) mit Standardwerten (s. Tabelle 25) wurden keine Auffälligkeiten erkennbar.

$$v = \frac{9.800 \text{ m}^3/\text{h}}{\pi \cdot \left(\frac{0,5 \text{ m}}{2}\right)^2 \cdot 3.600 \text{ s/h} \cdot 3} = 4,62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die Berechnung des Energiekennwertes wurde anhand Gleichung (20) vorgenommen, die im Folgenden noch einmal aufgeführt ist:

$$E_{RLT} = q_H \cdot f_H \cdot f_{p*} + q_C \cdot f_C \cdot f_S \cdot \frac{1}{EER} + (q_{V,ZUL} + q_{V,ABL}) \cdot f_S + q_{WRG} \cdot f_S$$

Somit ergibt sich für die betrachtete Klimaanlage ein E_{RLT} -Wert von:

$$E_{RLT} = 40 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3/\text{h/a}} \cdot 1,3 \cdot 1,1 + 2.303 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3/\text{h/a}} \cdot 1,34 \cdot 2,6 \cdot \frac{1}{4} \\ + \left(2.458 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3/\text{h/a}} + 2.458 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3/\text{h/a}} \right) \cdot 2,6 + 212 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3/\text{h/a}} \cdot 2,6$$

$$E_{RLT} = 15,40 \frac{kWh}{m^3/h/a}$$

Nach Gleichung (21) ergibt sich ein Energiekennwert inklusive Leckage von:

$$E_{RLT,leak} = 17,71 \frac{kWh}{m^3/h/a}$$

Referenzwerte für den Energiekennwert ohne Leckageanteil nach EnEV 2007 und EnEV 2009 lauten:

- $E_{RLT,maximal} = 29,13 \text{ kWh}/(m^3/h/a)$
- $E_{RLT,EnEV 2007} = 17,19 \text{ kWh}/(m^3/h/a)$
- $E_{RLT,EnEV 2009} = 11,82 \text{ kWh}/(m^3/h/a)$

Der Vergleich des Energiekennwertes E_{RLT} mit den mittels der Software *Lüftungsscheck Professional* der *ETU Software GmbH* ermittelten Referenzwerten nach EnEV 2007 und EnEV 2009 zeigt eine insgesamt zufriedenstellende Energieeffizienz der inspizierten Anlage. Die sonstigen Ergebnisse zeigen aber auch, dass einige Energieeinsparpotentiale bestehen, auf die im folgenden Abschnitt eingegangen wird.

4.3. Zusammenfassung und Empfehlungen

In Abbildung 10 werden die wichtigsten Ergebnisse der energetischen Inspektion der Klimaanlage für die Versorgung von 3 Konferenzräumen zusammengefasst. Dabei dient die genaue Erfassung von Stärken und Schwächen der Anlage als Grundlage für sich ergebene Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz. Unter dem Punkt *Hemmnisse* sind zusätzlich Gründe aufgeführt, bei denen ein Konfliktpotential mit den Empfehlungen zu Energieeinsparmaßnahmen besteht.

<p><u>Stärken</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Stand der Technik zum Installationszeitpunkt• mehrstufige Wärmerückgewinnung• Überwachung der RLT-Anlage über Leitwarte	<p><u>Schwächen</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Luftmengen und Kühlregister überdimensioniert• Keine effiziente bedarfsgerechte Anlagensteuerung• Keine Variation der Temperatursollwerte• Ungeregelte Pumpen bei Kälteverteilung, Heizregister und Kreislaufverbundsystem
<p><u>Chancen</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Bedarfsgerechte Teillaststeuerung implementierbar (CO₂-Sensoren + FU + Umluftbetrieb)• Unterschiedliche Temperatursollwerte für verschiedene Jahreszeiten• Raumbeheizung über statische vorhandene Heizkörper → Reduzierung der Anlagenlaufzeit• Nachrüstung Wärmedämmung bei Kälteverteilung• Zu-/Abluftverteilung unter Umständen ausdehnbar auf weitere Räume	<p><u>Hemmnisse</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Kanalführung kaum veränderbar• Manuelle Veränderung der Sollwerte über frei zugängliche Regler

Abbildung 10: Stärken, Schwächen, Chancen und Hemmnisse der Energieeffizienz der RLT-Anlage

Die Vorgehensweise bei der Bewertung der energetischen Effizienz der inspizierten Klimaanlage und einzelne Kennwerte werden aus Tabelle 29 ersichtlich.

Nr.	Phase der Inspektion	Vorgehensweise	Erkenntnisse / Empfehlungen
1	Dokumentation	Anlagenbeschreibung, Wartungsprotokolle, Typenschilder	Konferenzräume, max. 100 Personen, ca. 350 m ² , Baujahr 1997 → energetische Inspektion bis Oktober 2013 notwendig, Wartung: 1-2 mal jährlich (→ Mängelbeseitigung, keine Messungen)
2	Anlagen-dimensionierung		
2.1	Kühllast	Kurzverfahren nach VDI 2078 (Excel-Tool)	Innere Kühllast: 34 kW, äußere Kühllast: 3 kW, insg. 37 kW
2.2	AUL-Volumenströme	Referenzwerte für Konferenzräume nach DIN 13779: 45 m ³ /(h*Person)	Ist: 9.800 m ³ /h, Soll: max. 4.500 m ³ /h → 98 m ³ /(h*Person) → Überdimensionierung Luftmengen
2.3	Raumklima	Sollwerte an Reglern, Befragung des Haustechnikers	Soll: 22 °C, keine Be- oder Entfeuchtung
2.4	Komponenten-dimensionierung	Vergleich Kühllast / Kühlregister	Überdimensionierung Kühlregister: 90 kW > 37 kW (Kühllast)
2.5	Betriebsweise / Regelung	Schaltpläne, GLT, Befragung des Haustechnikers, Anlagenbeschreibung	Auto-Betrieb: 6-18 Uhr, stufenlose Regelung (FU), Zeitschaltuhr, bei „Aus“: Anlage fährt auf 30 % weiter (Heizfunktion)
3	Komponenten-effizienz		
3.1	Luftförderung	Typenschilder, Anlagenbeschreibung	$SFP_{ZUL/ABL}$: 2.000 W/(m ³ /h) → SFP 4, $\eta_{ZUL} = 0,4$ / $\eta_{ABL} = 0,6$
3.2	WRG	Kennwerte aus DIN 18599, Berechnung Nebenantriebe	KVS und Rotations-WT ohne Sorptionsmaterialien, Rückwärmzahl > 70 % → Klasse H1, Nebenantriebe: ca. 475 W
3.3	Heizen	Heizfaktorbestimmung durch gemessene Vorlauftemperaturen	Heizregister bis 80 kW, $f_H = 1,3$
3.4	Kälte	Typenschild, Standardwerte aus Tabelle 20	Scroll-Verdichter, Kältemittel R134a, 6/12 °C, wassergekühlter Rückkühler, Kälteleistung 90 kW am Kühlregister, Kälteleistung der Kältemaschine: 78 kW, EER = 4, $f_c = 1,34$
3.5	Be- und Entfeuchtung	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden

Nr.	Phase der Inspektion	Vorgehensweise	Erkenntnisse / Empfehlungen
3.6	Luftdichtheit	Standardwert für Leckage, Berechnung Luftgeschwindigkeit aus Volumenstrom und Querschnitt, keine Messungen	Standard: $c_{\text{leak}} = 1,15$, Luftgeschwindigkeit im Kanalnetz = 4,62 m/s
3.7	Energiekennwert E_{RLT}	Berechnung aus Einzelwerten, Vergleich mit Werten aus Software <i>Lüftungsscheck Professional</i>	$E_{RLT} = 15,40 \text{ kWh}/(\text{m}^3/\text{h}/\text{a})$

Tabelle 29: Zusammenfassung der energetischen Inspektion

Die ermittelten Kennwerte belegen, dass Energieeinsparungen vorzugsweise über die Anlagenregelung und –betriebsweise bewirkt werden sollte und nicht durch den Ersatz einzelner Bauteile. So weist die Anlage den Stand der Technik des Inbetriebnahmejahres 1997 auf: Der SFP-Wert der Ventilatoren erfüllt SFP-Klasse 4, durch die zweistufige Wärmerückgewinnung muss wenig Energie für die Beheizung über Heizregister aufgewendet werden, die Gebäudeleittechnik zeigt wichtige Anlagendetails und weist z.B. auf erhöhte Druckverluste in Filtern hin.

Als eine einfach umzusetzende Energieeinsparmaßnahme ist daher die Abschaltung der RLT-Anlage über Nacht zu empfehlen, da die installierten statischen Heizkörper ein Auskühlen des Raumes in diesem Zeitraum verhindern. Zusätzlich ist der Sollwert der Raumlufttemperatur im Winter auf 20 °C zu reduzieren und im Sommer auf 24 °C (Anhang B und C) zu erhöhen. Bei Bedarf kann über die Gebäudeleittechnik eine Nachjustierung erfolgen.

Geringe Investitionskosten fallen bei der Nachrüstung von Wärmedämmungsmaßnahmen der Kälteverteilung an. Auch die Installation von CO₂-Sensoren zur Messung der Raumluftqualität und deren Aufschaltung auf die Gebäudeleittechnik erfordert einen geringen Kostenaufwand. Über Frequenzumrichter und Volumenstromregler kann die geförderte Luftmenge und somit auch der Energiebedarf für die Ventilatoren reduziert werden. Somit wird sich die bedarfsgerechte Luftversorgung schnell amortisieren.

Etwas höhere Investitionskosten fallen beim Austausch der unregulierten Pumpen der Heizregister, Kälteverteilung und des Kreislaufverbundsystems an. Bei zukünftigen

Erneuerungen der Zu- und Abluftventilatoren ist auf Ventilatoren mit einer höheren SFP-Klasse Wert zu legen, die generell weniger Luftmengen fördern. Auch beim Ersatz der Kältemaschine oder des Kühlregisters ist die installierte Leistung zu reduzieren. Eine quantitativ präzise ökologische und ökonomische Bilanzierung der Einsparpotentiale wird aufgrund des hohen Aufwands nicht durchgeführt.

Das beschriebene Praxisbeispiel verdeutlicht, dass bei jeder energetischen Inspektion grundsätzlich die gleichen Schritte durchlaufen werden. Lösungsansätze für Energieeinsparungen basieren auf der Auswertung der durchgeführten Inspektionsschritte und sind individuell für die inspizierte Klimaanlage zu erarbeiten. Sofern der Aufwand für die ökologische und ökonomische Bilanzierung der Einsparungen nicht zu groß ist, kann diese die energetische Inspektion abrunden. Die genannten Inspektionsinhalte lassen eine Einordnung der energetischen Inspektion zu den Leistungsphasen 1 (Grundlagenermittlung) und 2 a) bis d) (Vorplanung) gemäß Anlage 14 zu § 53 Absatz 1 der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) zu.

5. Schlussbetrachtung und Ausblick

Insgesamt stellt die energetische Inspektion von Klimaanlage einen wichtigen Schritt dar, um den Energiebedarf insbesondere von Nichtwohngebäuden zu reduzieren. Durch die Überprüfung des Anlagenkonzepts und der Anlagendimensionierung im Vergleich zum tatsächlichen Bedarf bekommt der Anlagenbetreiber Hinweise auf die Energieeffizienz seiner RLT-Anlage. So wird abseits der üblichen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten hinterfragt, ob Betriebszeit oder Auslegungsdaten der Klimaanlage nachvollziehbar und sinnvoll sind und in welchen Bereichen Energieeinsparpotentiale bestehen.

Da die durchführende Person mit ihrem Fachwissen eine Vielzahl von Optimierungsmöglichkeiten erarbeiten soll, ist die EnEV bewusst unpräzise formuliert (Schiller, 2009 S. 192). So entstehen für jede Klimaanlage individuelle Verbesserungsvorschläge der Energieeffizienz. Allerdings werden bei energetischen Inspektionen von Klimaanlage immer die gleichen Schritte durchlaufen, sodass die Verwendung einheitlicher Standards sinnvoll ist. So wird gewährleistet, dass eine Mindestqualität bei der Durchführung eingehalten wird.

In dieser Bachelorarbeit wurde nun ein Konzept entwickelt, das die Vorgehensweise bei der Inspektion und Vergleichskennwerte für die jeweiligen Inspektionsschritte beschreibt. Die Notwendigkeit solcher Standards ist auch dem *Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik* (NHRS) des *DIN Deutsches Institut für Normen* nicht entgangen. Dort werden Inhalte und Anforderungen einer energetischen Inspektion im Rahmen der EnEV 2009 für die DIN SPEC 15240 festgelegt, die als nationale Ergänzung zu den europäischen Normen DIN EN 15239 und DIN EN 15240 geplant ist. Anhand einer Checkliste soll dabei auf folgende Aspekte eingegangen werden (NHRS, 2011):

- Prüfung der Gebäudeeigenschaften
- Angaben zum Inhalt eines Inspektionsberichtes
- Vergleichskennwerte und Berechnungsbeispiele
- Definition einer Verfahrensweise auf Basis von DIN EN 15239, DIN EN 15240, DIN EN 15243 und der Vornormenreihe DIN V 18599

Durch diese Standardisierung wird dem größten Kritikpunkt an § 12 der EnEV, der fehlenden Konkretisierung und das Fehlen von Verweisen auf Normen oder Richtlinien (Händel, 2010 S. 22), entgegengewirkt.

Zwar ist eine regelmäßige energetische Inspektion gemäß § 12 der EnEV nur für Klimaanlage mit einer Nennkälteleistung von mindestens 12 kW erforderlich, allerdings ist die Durchführung einer Inspektion auch bei kleineren RLT-Anlagen sinnvoll und kann zu deutlichen Energieeinsparungen führen.

Durch die Verwendung von hinreichend genauen Vergleichskennwerten werden die Kosten für die Durchführung der Inspektion niedrig gehalten. Der Anlagenbetreiber erhält einen Überblick über die Effizienz der inspizierten Klimaanlage und bekommt kostengünstige Varianten zur Erhöhung der Energieeffizienz aufgezeigt, deren Anwendung vermutlich zu einer raschen Amortisation der energetischen Inspektion führen wird.

Auch sonstige Besonderheiten und Auffälligkeiten an der RLT-Anlage wie z.B. Verkeimungsrisiken und Mängel im Hygienebereich werden dem Anlagenbetreiber vom durchführenden Fachpersonal mitgeteilt.

Für die inspizierte Anlage besteht außer für Einrichtungen zur getrennten Sollwerteneinstellung für Be- und Entfeuchtung Bestandsschutz, sodass der Anlagenbetreiber nicht zu Nachrüstungen verpflichtet ist. Sollten Erneuerung an der Anlagentechnik durchgeführt werden, sind die Referenzwerte aus Tabelle 28 zu beachten. Auch hier ist es sinnvoll, über die Anforderungen aus der EnEV hinaus zu planen und z.B. eine mehrstufige Wärmerückgewinnung oder Ventilatoren mit besseren SFP-Werten zu verwenden. Die Ausarbeitung der Erneuerungsmaßnahmen ist allerdings nicht Teil der energetischen Inspektion und kann vom durchführenden Ingenieurbüro im Anschluss an die Inspektion erfolgen.

Um zukünftig weitere Verbesserungen der Energieeffizienz bei Klimaanlage in Nichtwohngebäuden zu bewirken, wäre es wünschenswert, die Anzahl der durchgeführten energetischen Inspektionen zu erhöhen. Hier könnte der Gesetzgeber ansetzen und bei der bald erscheinenden, überarbeiteten Fassung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2012) für Nachbesserungen bei der Kontrolle über den Vollzug der Inspektionen seitens der zuständigen Länderbehörden sorgen.

6. Literaturverzeichnis

BauNetz Media GmbH. Baunetz Wissen - Das Online Fachlexikon. [Online]

DOCUGroup. [Zitat vom: 3. Juli 2012.] http://www.baunetzwissen.de/glossar/begriffe/Heizung_Waermebereitstellungsgrad_46891.html?layout=popup.

Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V. o.J..

Seminar zur Energetischen Inspektion nach §12 EnEV. *Leitlinien für die Inspektion.*

Bietigheim-Bissingen : s.n., o.J.

DIN 18032, Deutsches Institut für Normung. 2003. Sporthallen - Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2003.

DIN 1946, Deutsches Institut für Normung. 2008. Raumluftechnik -

Raumluftechnische Anlagen in Laboratorien und in Räumen und Gebäuden des Gesundheitswesens. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2008.

DIN EN 13053, Deutsches Institut für Normung. 2007. Lüftung von Gebäuden -

Zentrale raumluftechnische Geräte - Leistungsdaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.

DIN EN 13779, Deutsches Institut für Normung. 2007. Lüftung von

Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.

DIN EN 15239, Deutsches Institut für Normung. 2007. Lüftung von Gebäuden -

Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.

DIN EN 15240, Deutsches Institut für Normung. 2007. Lüftung von Gebäuden -

Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlageanlagen. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.

DIN EN 15242, Deutsches Institut für Normung. 2007. Lüftung von Gebäuden -

Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.

DIN EN 15243, Deutsches Institut für Normung. 2007. Lüftung von Gebäuden –

Berechnung der Raumtemperaturen, der Last und Energie von Gebäuden mit Klimaanlageanlagen. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.

DIN EN 15251, Deutsches Institut für Normung. 2007. Bewertungskriterien für den

Innenraum einschließlich Temperatur, Raumlufqualität, Licht und Lärm. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.

DIN EN 15780, Deutsches Institut für Normung. 2008. Lüftung von Gebäuden - Luftleitungen - Sauberkeit von Lüftungsanlagen. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2008.

DIN EN 378-2, Deutsches Institut für Normung. 2000. Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2000.

DIN EN ISO 7730, Deutsches Institut für Normung. 2005. Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2005.

DIN V 18599, Deutsches Institut für Normung. 2011. Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz, End und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2011.

Donnerbauer, Robert. 2012. Raumluftechnik bietet Energieeinsparpotential. *HLH*. 2012, Bd. 63, 1, S. 16-18.

Energieeinsparverordnung (EnEV). vom 24.07.2007 i.d.F. vom 29.4.2009. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. vom 24.07.2007 i.d.F. vom 29.4.2009.

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG). vom 07.08.2008 i.d.F. vom 22.12.2011. Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich. vom 07.08.2008 i.d.F. vom 22.12.2011.

EUROVENT Certification. Zertifizierungsprogramm für Kühl- und Klimaanlage[n]. [Online] EUROVENT Certification Company. [Zitat vom: 5. Juli 2012.] http://www.eurovent-certification.com/de/Programme/Merkmale.php?rub=03&srub=01&ssrub=&lg=de&select_prog=LCP-HP&crit=eseer.

Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. 2005. Energieeinsparung bei RLT-Geräten. [Online] Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., 19. Juli 2005. [Zitat vom: 30. Juni 2012.] http://www.rlt-info.de/Rltgeraet/Ventilator/ventilatoren_fur_rlt-anlagen.html.

Fachverband Gebäude-Klima e.V. 2007. Status-Report 14. *Definition von Klimaanlage[n] nach EnEV und EPBD*. Bietigheim-Bissingen : s.n., 2007.
—, **2011.** Status-Report 5. *Energetische Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlage[n]*. Bietigheim-Bissingen : s.n., 2011. 4.
—, **2009.** Status-Report 6. *Energetische Inspektion von Kälteanlage[n] zur Klimatisierung*. Bietigheim-Bissingen : s.n., 2009. 2.

Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt.

Offizielles Stadtportal für die Hansestadt Hamburg. [Online] [Zitat vom: 19. Juli 2012.]
<http://www.hamburg.de/contentblob/1077484/data/foerderrichtlinie-antrag.pdf>.

Händel, Claus. 2010. [Hrsg.] VDI Wissensforum. Lindner Congress Hotel, Frankfurt am Main : VDI Verlag, 2010. 3. VDI-Tage der Gebäudetechnik - Wohlfühlen durch Raumluftechnik - Energetische Inspektion von Klimaanlage. S. 19-28. 978-3-18-092091-7.

Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V. 2011. *Wärmerückgewinnung auf neuem Rekordniveau.* Bietigheim-Bissingen : s.n., 2011.

Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e.V. 2009. RLT Richtlinie 01. *Allgemeine Anforderungen an Raumluftechnische Geräte.* Bietigheim-Bissingen : s.n., 2009.

Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI). vom 17.09.1976 i.d.F. vom 11.06.2009. Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen. vom 17.09.1976 i.d.F. vom 11.06.2009.

Kaup, Christoph. 2010. Energieeffizienz von RLT-Geräten. *TGA Fachplaner.* 2010, 3, S. 36-41.

—, **2012.** Erweiterung der Studie zur Energieeffizienz von raumluftechnischen Geräten. *HLH.* 2012, Bd. 63, 1, S. 20-24.

—, **2009.** Potential der Wärmerückgewinnung. *TGA Fachplaner.* Sonderdruck, Dezember 2009, 12.

Milles, Uwe. 2011. Lüften und Energiesparen. *BINE Informationsdienst.* basis Energie, 2011, 12.

NHRS. 2011. Presse- und Verbandsmitteilung. *Energetische Inspektion von Klima- und Lüftungsanlagen – DIN SPEC 15240 schließt Lücken.* Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung, 31. Januar 2011.

Pehnt, Martin. 2010. *Energieeffizienz - Ein Lehr- und Handbuch.* Heidelberg : Springer-Verlag, 2010. 978-3-642-14250-5.

Pistohl, Wolfram. 2009. *Handbuch der Gebäudetechnik.* 7. Köln : Werner Verlag, 2009. Bd. 2. 978-3-8041-4685-3.

Pohlmann. 2010. *Taschenbuch der Kältetechnik - Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften.* [Hrsg.] IKET. 20. Berlin : VDE Verlag GmbH, 2010. 978-3-8007-3238-8.

Recknagel, Sprenger, Schramek. 2009. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik.* München : Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2009. 978-3-8356-3134-2.

- Schiller, Heiko. 2009.** *Energieeffiziente Gebäudeklimatisierung - Raumlufth in A++ Qualität - Anforderungen an Planung und Betrieb von RLT-Anlagen aus der EnEV 2007 und 2009.* [Hrsg.] Raymond Kober. 1. Karlsruhe : Promotor Verlag, 2009. S. 185-198. 978-3-922420-18-7.
- , **2010.** Inspektion von Klimaanlageanlagen. *Energetische Inspektionen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen auf Basis der EnEV 2007 / EnEV 2009 und im Kontext zu ergänzenden Normen.* Hamburg : s.n., 2010.
- Trogisch, Achim. 2009.** *Energieeffiziente Gebäudeklimatisierung - Raumlufth in A++ Qualität - Regelwerke für die Planung und den Betrieb von RLT-Anlagen.* [Hrsg.] Raymond Kober. 1. Karlsruhe : Promotor Verlag, 2009. S. 157-184. 978-3-922420-18-7.
- VDI 2078, Verein Deutscher Ingenieure. 1996.** Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1996.
- VDI 2087, Verein Deutscher Ingenieure. 2006.** Luftleitungssysteme - Bemessungsgrundlagen. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2006.
- VDI 2089, Verein Deutscher Ingenieure. 2010.** Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2010.
- VDI 3802, Verein Deutscher Ingenieure. 2003.** Raumlufthtechnische Anlagen für Fertigungsstätten. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2003.
- VDMA 24176, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau. 2007.** Inspektion von technischen Anlagen und Ausrüstungen in Gebäuden. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.
- VDMA 24186, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau. 2007.** Leistungsprogramm für die Wartung von technischen Anlagen und Ausrüstungen in Gebäuden. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.

I. Anhang

- A Luftwechselraten
- B Operative Temperaturen für verschiedene Gebäude- und Raumtypen
- C Temperaturbereiche für Heiz- und Kühlperiode für verschiedene Gebäude- und Raumtypen
- D Auslegungswerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Be- und Entfeuchtung
- E Raumlufttemperaturen und relative Luftfeuchtigkeit für verschiedene Gebäude- und Raumtypen
- F *EER*-Standardwerte für wassergekühlte Kompressionskältemaschinen
- G *EER*-Standardwerte für luftgekühlte Kompressionskältemaschinen
- H Teillast-Kennwerte (PLV) für Kältemaschinen
- I Betriebszeit und Korrekturfaktor für Pumpen der Kälteverteilung
- J Druckverlust an Bauteilen der RLT-Anlage
- K Druckverlust an Luftdurchlässen
- L Kühllastberechnung für Konferenzraum 1 und 2
- M Kühllastberechnung für Konferenzraum 3
- N Ermittlung des E_{RLT} -Wertes mittels Software *Lüftungcheck Professional*

Anhang A: Luftwechselraten

Raumart	Stündlicher Luftwechsel LW in h ⁻¹
Wohnräume (nach EnEV, s. Seite I 69)	0,6 - 0,7
Aborte	
in Wohnungen	2 ... 4
öffentlich	10 ... 15
in Fabriken	8 ... 10
in Bürogebäuden	3 ... 6
Ausstellungshallen	2 ... 3
Bibliotheken, Archive, Museen	4 ... 6
Büroräume	2 ... 6
EDV-Anlagen	30 und mehr
Farbspritzräume	20 ... 50
Garagen	s. Seite L 18
Gasträume, Restaurants	
Raucher	6 ... 12
Nichtraucher	4 ... 8
Hallenbäder	
Schwimmbäder	3 ... 6
Duschräume	10 ... 15
Umkleideräume	8 ... 10
Hörsäle, Vortragsräume	6 ... 8
Kantinen	6 ... 8
Kinos, Theater etc.	
mit Rauchverbot	4 ... 6
ohne Rauchverbot	5 ... 8
Krankenhäuser (vgl. DIN 1946-4)	
Krankenzimmer	3 ... 5
Operationssäle	5 ... 20
Aborte	8 ... 15
Küchen (s. auch VDI 2052)	
Kleinküchen	15 ... 25
Mittel- und Großküchen ¹⁾	15 ... 30
Laboratorien (s. auch VDI 2051)	8 ... 15
Digestorienabsaugung	200 ... 400
Lackierereien	10 ... 20
Läden, Verkaufsräume	4 ... 8
Schulen (s. auch DIN 1946-5)	
Klassenräume	4 ... 5
Flure, Treppenhäuser	2 ... 3
Aborte	5 ... 8
Turnhallen	2 ... 3
Lehrschwimmbecken	2 ... 3
Bade- und Waschräume	5 ... 8
Umkleideräume	8 ... 10
Sitzungszimmer	6 ... 12
Wäschereien	10 ... 15
Warenhäuser, Kaufhäuser	4 ... 6
Werkstätten ohne besondere Luftverschlechterung	3 ... 6
Versammlungsräume	5 ... 10

¹⁾ Der Luftwechsel bei gewerblichen Küchen kann ggf. durch eine erforderliche Abführung der Wärmelasten erheblich höher liegen. Dies ist bei der Dimensionierung zu berücksichtigen.

Tabelle A: Luftwechselraten (Pistohl, 2009)

Anhang B: Operative Temperaturen für verschiedene Gebäude- und Raumtypen

Gebäude- bzw. Raumtyp	Kategorie	Operative Temperatur °C	
		Mindestwert für Heizperiode (Winter), ~ 1,0 clo	Höchstwert für Kühlperiode (Sommer), ~ 0,5 clo
Wohngebäude: Wohnräume (Schlafzimmer, Empfangsraum, Küche usw.) Sitzend ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
Wohngebäude: Andere Räume: Lagerräume, Flure usw.) Stehend, gehend ~1,6 met	I	18,0	
	II	16,0	
	III	14,0	
Einzelbüro (Zellenbüro) Sitzend ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Großraumbüro (Bürolandschaft) Sitzend ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Konferenzraum Sitzend ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Hör- bzw. Zuschauersaal Sitzend ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Cafeteria/Restaurant Sitzend ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Klassenraum Sitzend ~1,2 met	I	21,0	25,0
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Kindergarten Stehend, gehend ~1,4 met	I	19,0	24,5
	II	17,5	25,5
	III	16,5	26,0
Kaufhaus Stehend, gehend ~1,6 met	I	17,5	24,0
	II	16,0	25,0
	III	15,0	26,0

Tabelle B: Operative Temperaturen für verschiedene Gebäude- und Raumtypen gemäß DIN EN 15251

Anhang C: Temperaturbereiche für Heiz- und Kühlperiode für verschiedene Gebäude- und Raumtypen

Gebäude- bzw. Raumtyp	Kategorie	Temperaturbereich für die Heizung, °C Bekleidung ~1,0 clo	Temperaturbereich für die Kühlung, °C Bekleidung ~0,5 clo
Wohngebäude, Wohnräume (Schlafzimmer, Wohnzimmer usw.)	I	21,0 – 25,0	23,5 – 25,5
	II	20,0 – 25,0	23,0 – 26,0
Sitzende Aktivitäten ~1,2 met	III	18,0 – 25,0	22,0 – 27,0
Wohngebäude, andere Räume (Küchen, Lagerräume usw.)	I	18,0 – 25,0	
	II	16,0 – 25,0	
Stehende, gehende Aktivitäten ~1,5 met	III	14,0 – 25,0	
Büros und ähnlich genutzte Räume (Einzelbüros, Bürolandschaften, Konferenzräume, Hör- bzw. Zuschauersäle, Cafeterien, Restaurants Klassenräume,	I	21,0 – 23,0	23,5 – 25,5
	II	20,0 – 24,0	23,0 – 26,0
	III	19,0 – 25,0	22,0 – 27,0
Sitzende Aktivitäten ~1,2 met			
Kindergarten	I	19,0 – 21,0	22,5 – 24,5
	II	17,5 – 22,5	21,5 – 25,5
	III	16,5 – 23,5	21,0 – 26,0
Kaufhaus	I	17,5 – 20,5	22,0 – 24,0
	II	16,0 – 22,0	21,0 – 25,0
	III	15,0 – 23,0	20,0 – 26,0
Stehende, gehende Aktivitäten ~1,6 met			

Tabelle C: Temperaturbereiche für Heiz- und Kühlperiode für verschiedene Gebäude- und Raumtypen gemäß DIN EN 15251

Anhang D: Auslegungswerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Be- und Entfeuchtung

Art des Gebäudes bzw. Raums	Kategorie	Auslegungswert der relativen Feuchte für Entfeuchtung %	Auslegungswert der relativen Feuchte für Befeuchtung %
Räume, in denen die Feuchte- kriterien durch die Belegung durch Personen bestimmt werden. Besondere Räume (Museen, Kirchen usw.) können andere Grenzen erfordern	I	50	30
	II	60	25
	III	70	20
	IV	> 70	< 20

Tabelle D: Auslegungswerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Be- und Entfeuchtung gemäß DIN EN 15251

Anhang E: Raumlufttemperaturen und relative Luftfeuchtigkeit für verschiedene Gebäude- und Raumtypen

Raumart	Raumluft- temperatur θ °C	Relative Luftfeuchte φ in %
Wohnräume (s. Randspalte)	s. Tab. H 28/1	—
Aborte		
öffentlich, in Fabriken	15	40 - 60
in Büros	18	40 - 60
in Wohnungen	20	40 - 60
Ausstellungshallen	15 - 18	50
Bibliotheken, Archive, Museen	15 - 18	40 - 60
Büroräume	20	50 - 60
Druckereien		
Papierlagerung	20 - 23	50 - 60
Druckerei	24 - 26	45 - 60
Duschräume	22 - 25	70 - 85
Elektroindustrie		
Fertigung allgemein	20 - 22	50 - 55
Fertigung von Isolierungen	24 - 25	65 - 70
Garagen	5	50
Gaststätten, Restaurants	20	55
Hallenbäder		
Schwimmbädern	20 - 22	80 - 85
Duschräume	22 - 25	70 - 85
Umkleieräume	22 - 24	70 - 80
Hörsäle, Vortragsräume	20	60
Kantinen	18 - 20	55
Kaufhäuser, Warenhäuser	20	50 - 60
Kinos, Theater, Konzerträume	20	50 - 60
Kirchen	12 - 15	50 - 65
Krankenhäuser		
Krankenzimmer	20 - 22	50 - 60
Operationssäle	21 - 26	35 - 60
Sonderräume	s. DIN 1946-4	s. DIN 1946-4
Küchen		
Kleinküchen	20	50 - 60
Mittel- und Großküchen	18	50 - 70
Läden, Geschäftshäuser	20	50 - 60
Schalterräume, Banken, Post	20	55 - 60
Schulen		
Klassenräume	20	60
Flure, Treppenhäuser	18 - 20	50
Aborte	18	40 - 60
Turnhallen	15 - 18	50 - 75
Lehrschwimmbädern	24	80 - 85
Bade- und Waschräume	22	80 - 90
Sitzungsräume	20	50
Tabakindustrie, Fabrikation	21 - 24	55 - 70
Wäschereien, Waschräume	23 - 26	75 - 85
Werkstätten	12 - 18	50 - 60
Versammlungsräume	18 - 20	60 - 70

Tabelle E: Raumlufttemperaturen und relative Luftfeuchtigkeit für verschiedene Gebäude- und Raumtypen (Pistohl, 2009)

Anhang F: EER-Standardwerte für wassergekühlte Kompressionskältemaschinen

Kältemittel	Kühlwasser- ein-/austritts- temperatur °C	Kaltwasser- austritts- temperatur °C	Mittlere Verdampfungs- temperatur °C	Standardwert Nennkälteleistungszahl <i>EER</i>		
				üblicher Leistungsbereich		
				Kolben- und Scrollverdichter 10 kW bis 1500 kW	Schrauben- verdichter 200 kW bis 2000 kW	Turbo- verdichter 500 kW bis 8000 kW
R134a	27/33	6	0	4,0	4,5	5,2
		14	8	4,6	5,3	5,9
	40/45	6	0	3,1	2,9	4,1
		14	8	3,7	3,7	4,8
R407C	27/33	6	0	3,8	4,2	–
		14	8	4,4	4,9	–
	40/45	6	0	3,0	2,7	–
		14	8	3,6	3,3	–
R410A	27/33	6	0	3,6	–	–
		14	8	4,2	–	–
	40/45	6	0	2,8	–	–
		14	8	3,3	–	–
R717	27/33	6	0	–	4,6	–
		14	8	–	5,4	–
	40/45	6	0	–	3,1	–
		14	8	–	3,7	–
R22	27/33	6	0	4,1	4,6	5,1
		14	8	4,8	5,4	5,7
	40/45	6	0	3,2	3,0	4,1
		14	8	3,8	3,6	4,7

*Tabelle F: EER-Standardwerte für wassergekühlte Kompressionskältemaschinen gemäß DIN V
18599-7*

Anhang G: EER-Standardwerte für luftgekühlte Kompressionskältemaschinen

Kältemittel	Kaltwasser- austritts- temperatur °C	Mittlere Verdampfungs- temperatur °C	Standardwert Nennkälteleistungszahl EER üblicher Leistungsbereich	
			Kolben- und Scrollverdichter 10 kW bis 1500 kW	Schraubenverdichter 200 kW bis 2000 kW
R134a	6	0	2,8	3,0
	14	8	3,5	3,7
R407C	6	0	2,5	2,7
	14	8	3,2	3,4
R410A	6	0	2,4	–
	14	8	3,1	–
R717	6	0	–	3,2
	14	8	–	3,9
R22	6	0	2,9	3,1
	14	8	3,6	3,8

Tabelle G: EER-Standardwerte für luftgekühlte Kompressionskältemaschinen gemäß DIN V 18599-7

Anhang H: Teillast-Kennwerte (PLV) für Kältemaschinen

Verdichtertart wasser- gekühlt	Betriebsart: Raumkühlung / RLT-Kühlung			Kühlwassereintritt Kältemaschine konstant				Kühlwassereintritt Kältemaschine variabel				Verdichtertart luft- gekühlt	Betriebsart: Raumkühlung / RLT-Kühlung			PLV _{AV}
				Verdunstungsrückkühler		Trockenrückkühler		Verdunstungsrückkühler		Trockenrückkühler						
				PLV _{AV}	f _{R,WK}	PLV _{AV}	f _{R,TK}	PLV _{AV}	f _{R,WK}	PLV _{AV}	f _{R,TK}					
(1)	Raumkühlung			0,92	0,12	0,92	0,09	—	—	—	—	Raumkühlung			1,32	
	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	0,93	0,10	0,93	0,08	—	—	—	—	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	1,37	
			WRG: mit	0,92	0,10	0,92	0,08	—	—	—	—			WRG: mit	1,35	
	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	0,92	0,10	0,92	0,08	—	—	—	—	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	1,36			
			WRG: Wärme und Feuchte	0,92	0,11	0,92	0,09	—	—	—			—	WRG: Wärme und Feuchte	1,34	
(2)	Raumkühlung			1,31	0,12	1,26	0,08	1,54	0,37	1,74	0,63	Raumkühlung			1,43	
	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	1,33	0,09	1,27	0,08	1,57	0,29	1,75	0,70	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	1,50	
			WRG: mit	1,33	0,10	1,27	0,08	1,56	0,31	1,74	0,71			WRG: mit	1,48	
	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	1,33	0,10	1,27	0,08	1,56	0,30	1,75	0,65	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	1,49			
			WRG: Wärme und Feuchte	1,32	0,11	1,26	0,08	1,55	0,36	1,73			0,68	WRG: Wärme und Feuchte	1,46	
(3)	Raumkühlung			0,82	0,13	0,79	0,09	0,96	0,40	1,09	0,65	Raumkühlung			1,14	
	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	0,73	0,10	0,70	0,08	0,86	0,31	0,95	0,72	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	1,09	
			WRG: mit	0,75	0,11	0,72	0,08	0,88	0,34	0,99	0,73			WRG: mit	1,10	
	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	0,75	0,10	0,71	0,08	0,88	0,33	0,98	0,67	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	1,09			
			WRG: Wärme und Feuchte	0,77	0,12	0,74	0,09	0,91	0,38	1,02			0,71	WRG: Wärme und Feuchte	1,11	
(4)	Raumkühlung			0,56	0,13	0,56	0,09	—	—	—	—	Raumkühlung			1,24	
	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	0,45	0,10	0,45	0,08	—	—	—	—	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	—	
			WRG: mit	0,48	0,11	0,48	0,09	—	—	—	—			WRG: mit	—	
	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	0,47	0,11	0,47	0,08	—	—	—	—	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	—			
			WRG: Wärme und Feuchte	0,51	0,12	0,51	0,09	—	—	—			—	WRG: Wärme und Feuchte	—	
(5)	Raumkühlung			1,01	0,12	0,97	0,09	1,19	0,38	1,79	0,64	Raumkühlung			0,85	
	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	0,87	0,09	0,83	0,08	1,02	0,30	1,53	0,72	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	—	
			WRG: mit	0,91	0,10	0,87	0,08	1,06	0,33	1,58	0,73			WRG: mit	—	
	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	0,90	0,10	0,86	0,08	1,05	0,32	1,58	0,67	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	—			
			WRG: Wärme und Feuchte	0,95	0,11	0,91	0,08	1,11	0,37	1,66			0,70	WRG: Wärme und Feuchte	—	
(6)	Raumkühlung			—	—	—	—	1,21	0,38	1,37	0,64	Raumkühlung			1,37	
	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	—	—	—	—	1,07	0,30	1,19	0,71	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	—	
			WRG: mit	—	—	—	—	1,11	0,32	1,23	0,73			WRG: mit	—	
	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	—	—	—	—	1,10	0,32	1,23	0,66	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	—			
			WRG: Wärme und Feuchte	—	—	—	—	1,15	0,37	1,29			0,70	WRG: Wärme und Feuchte	—	
(7)	Raumkühlung			1,07	0,12	1,09	0,08	1,35	0,37	1,46	0,64	Raumkühlung			1,33	
	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	0,99	0,09	0,95	0,08	1,28	0,30	1,29	0,73	RLT-Kühlung	Feuchteanf.: keine/ mit Toleranz	WRG: keine	1,21	
			WRG: mit	1,01	0,10	0,97	0,08	1,30	0,33	1,31	0,74			WRG: mit	1,23	
	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	1,01	0,10	0,96	0,08	1,29	0,31	1,31	0,67	Feuchteanfor- derung ohne Toleranz	WRG: keine / nur Wärme	1,23			
			WRG: Wärme und Feuchte	1,04	0,11	1,00	0,08	1,32	0,36	1,34			0,70	WRG: Wärme und Feuchte	1,28	

Tabelle H: Teillast-Kennwerte (PLV) für Kältemaschinen gemäß DIN V 18599-7

Anhang I: Betriebszeit und Korrekturfaktor für Pumpen der Kälteverteilung

Betriebszeit je Jahr t_d	Korrekturfaktor Regelung f_p
bedarfsgesteuert : $t_d = 1.300 \text{ h}$	ungeregelte Pumpe: $f_p = 1,0$
intermittierend: $t_d = 2.200 \text{ h}$	elektronisch geregelte Pumpe: $f_p = 0,55$
saisonal: $t_d = 5.100 \text{ h}$	

Tabelle I: Betriebszeit und Korrekturfaktor für Pumpen der Kälteverteilung (Bundesprüfstelle für Technische Gebäudeausrüstung, BHKS e.V., FGK e.V., o.J.)

Anhang J: Druckverlust an Bauteilen der RLT-Anlage

Bauteil	Druckabfall in Pa		
	Niedrig	Normal	Hoch
Luftleitungssystem Zuluft	200	300	600
Luftleitungssystem Fortluft	100	200	300
Heizregister	40	80	100
Kühlregister	100	140	200
Wärmerückgewinnungseinheit H3 ^a	100	150	250
Wärmerückgewinnungseinheit H2-H1 ^a	200	300	400
Befeuchter	50	100	150
Luftwäscher	100	200	300
Luftfilter F5-F7 je Filterstufe ^b	100	150	250
Luftfilter F8-F9 je Filterstufe ^b	150	250	400
HEPA-Filter	400	500	700
Gasfilter	100	150	250
Schalldämpfer	30	50	80
Luftdurchlass	30	50	100
Lufteinlass und -auslass	20	50	70

^a Klasse H1-H3 nach EN 13053.
^b Endgültiger Druckverlust vor Ersatz.

Tabelle J: Druckverlust an Bauteilen der RLT-Anlage gemäß DIN EN 13779

Anhang K: Druckverlust an Luftdurchlässen

Durchlassart	Druckabfall
Zuluftdurchlässe:	
Schlitzdurchlass	20 bis 100 Pa
Dralldurchlass	50 bis 150 Pa
Quelldurchlass	10 bis 50 Pa
Induktionsdurchlass	100 bis 200 Pa
Abluftdurchlässe:	
Tellerventil	15 bis 50 Pa
Schlitzdurchlass	5 bis 25 Pa
Lamellengitter	10 bis 70 Pa

Tabelle K: Druckverluste an Luftdurchlässen gemäß VDI 2087

Kühllastberechnung VDI 2078

Datum:	09.08.2012
Benutzer:	! KAUT DEMOVERSION !
Firma / Kunde:	
Projekt:	Konfi 1 gleich Konfi 2
Position:	
Sachbearbeiter:	



Hier könnte Ihr Logo stehen

Raumdaten	Länge: 10 m ; Breite: 13,75 m GeschöÙhöhe: 6 m ; Raumhöhe: 5,9 Personenanzahl : 36 ; Tätigkeitsgrad : leicht gewünschte Raumtemperatur : 20 °C
-----------	--

k-Werte	Außenwand : 0,5 ; Flachdach : 0,35 W/m ² *K Innenwand : 3,45 ; Decke/Boden : 2,74 ; Fenster : 0 W/m ² *K
---------	---

Raumtyp Klimazone	Raumtyp : M (mittel) ; Hamburg Stadt-Zentrum
----------------------	--

Innere Lasten	Innere Lasten : 200 Watt ; Beleuchtungswärme : 4000 Watt
---------------	--

Nebenträume	Es sind klimatisierte Räume nebenan. Es ist ein Keller oder Erdreich unterhalb.
-------------	--

1. Wand	Innenwand
---------	-----------

2. Wand	Innenwand
---------	-----------

3. Wand	Innenwand
---------	-----------

4. Wand	Innenwand
---------	-----------

Kühllastberechnung VDI 2078

Projekt: Konfi 1 gleich Konfi 2 ; Position:

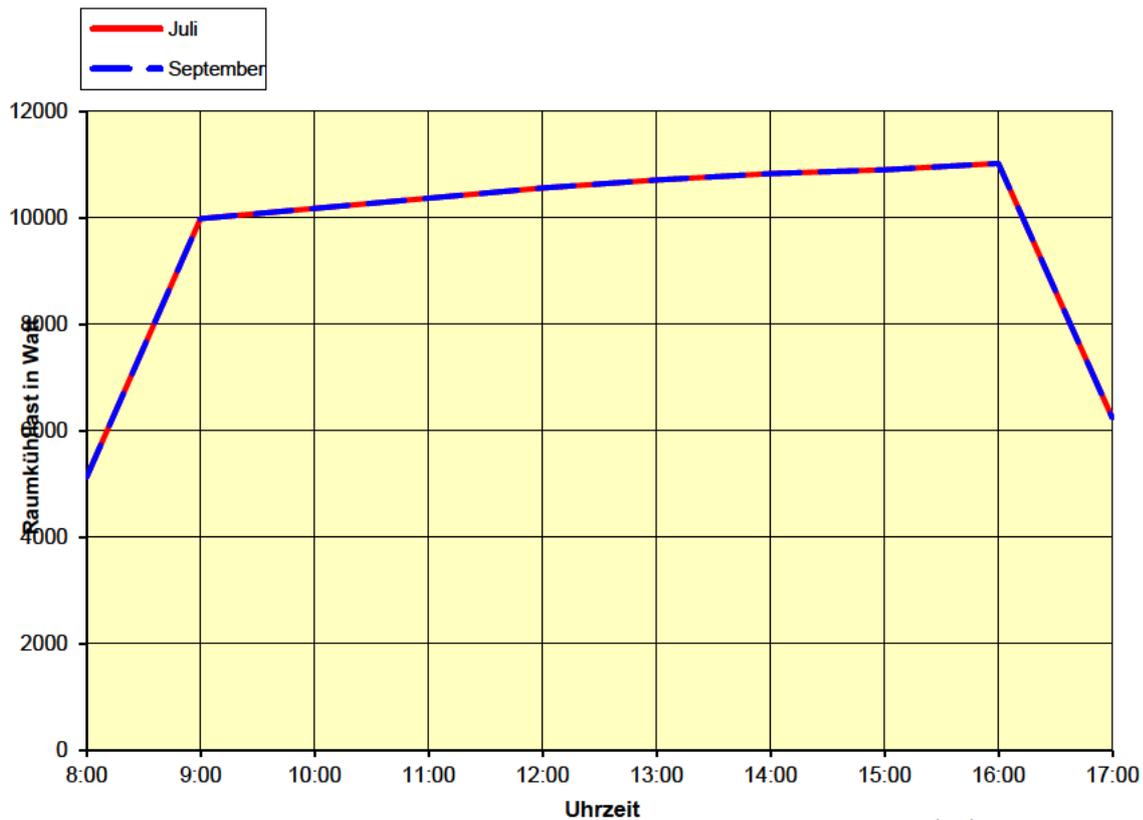
Zeitpunkt der maximalen Kühllast im September um 16:00 Uhr

Außentemperatur zum o.g. Zeitpunkt : 23,9 °C

Kühllast infolge Sonnenstrahlung durch Fenster	0,00	Watt
Kühllast infolge Transmission durch Fenster	0,00	Watt
Kühllast infolge Transmission durch Außenwände	0,00	Watt
Kühllast infolge Transmission durch Innenwände	3.767,50	Watt
Kühllast infolge Personenwärme [trocken]	2.941,20	Watt
Kühllast infolge Personenwärme [feucht]	900,00	Watt
Kühllast infolge der Beleuchtungswärme	3.240,00	Watt
Kühllast infolge der inneren Lasten	172,00	Watt

Gesamte Raumkühllast 11.020,70 Watt

Tageshistogramm der Kühllast



Kühllastberechnung VDI 2078

Datum:	09.08.2012
Benutzer:	! KAUT DEMOVERSION !
Firma / Kunde:	
Projekt:	Konfi 3
Position:	
Sachbearbeiter:	



Hier könnte Ihr Logo stehen

Raumdaten	Länge: 11,55 m ; Breite: 6,8 m GeschöÙhöhe: 6 m ; Raumhöhe: 5 Personenanzahl : 32 ; Tätigkeitsgrad : leicht gewünschte Raumtemperatur : 20 °C
-----------	---

k-Werte	Außenwand : 2 ; Flachdach : 0,35 W/m ² *K Innenwand : 3,45 ; Decke/Boden : 2,74 ; Fenster : 2,5 W/m ² *K
---------	---

Raumtyp Klimazone	Raumtyp : M (mittel) ; Hamburg Stadt-Zentrum
----------------------	--

Innere Lasten	Innere Lasten : 200 Watt ; Beleuchtungswärme : 2000 Watt
---------------	--

Nebenräume	Es ist ein Keller oder Erdreich unterhalb.
------------	--

1. Wand	Himmelsrichtung : Nord-West ; Länge : 11,5 m FenstermaÙe : 2,28 x 3,4 m ; Anzahl : 3 ; Vorhänge innen
---------	--

2. Wand	Innenwand
---------	-----------

3. Wand	Innenwand
---------	-----------

4. Wand	Innenwand
---------	-----------

Kühllastberechnung VDI 2078

Projekt: Konfi 3 ; Position:

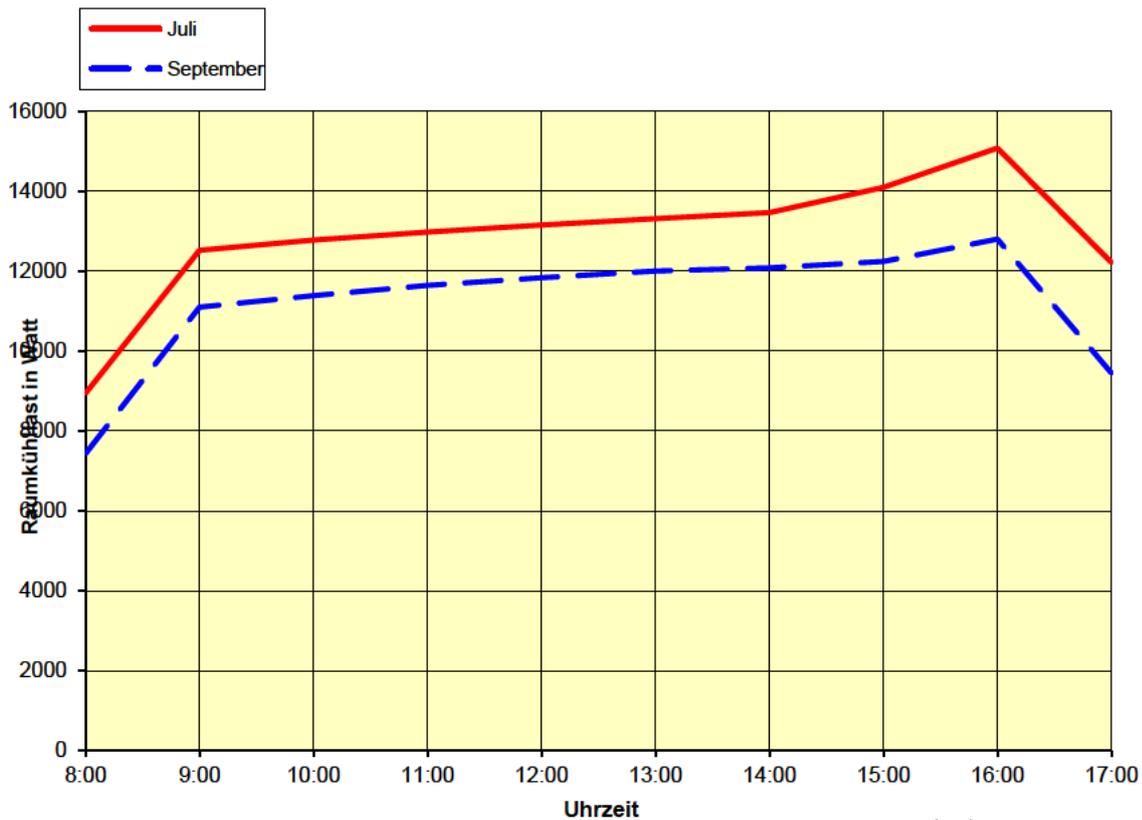
Zeitpunkt der maximalen Kühllast im Juli um 16:00 Uhr

Außentemperatur zum o.g. Zeitpunkt : 31 °C

Kühllast infolge Sonnenstrahlung durch Fenster	2.391,09	Watt
Kühllast infolge Transmission durch Fenster	639,54	Watt
Kühllast infolge Transmission durch Außenwände	347,65	Watt
Kühllast infolge Transmission durch Innenwände	6.499,00	Watt
Kühllast infolge Personenwärme [trocken]	2.614,40	Watt
Kühllast infolge Personenwärme [feucht]	800,00	Watt
Kühllast infolge der Beleuchtungswärme	1.620,00	Watt
Kühllast infolge der inneren Lasten	172,00	Watt

Gesamte Raumkühllast 15.083,68 Watt

Tageshistogramm der Kühllast



Projektdaten

Projektname : Konfernezraum 1,2,3
Projektnummer :
Erzeugungsdatum : 5/22/2012
Änderungsdatum : 5/22/2012

Standort

Projektadresse

Anrede :
Vorname :
Name :
Straße :
Land / PLZ / Ort :
Telefon :
Telefax :
E-Mail-Adresse :

Planer

Anrede :
Vorname :
Name :
Straße :
Land / PLZ / Ort :
Telefon :
Telefax :
E-Mail-Adresse :

Bauherr

Anrede :
Vorname :
Name :
Straße :
Land / PLZ / Ort :
Telefon :
Telefax :
E-Mail-Adresse :

Konfernezraum 1,2,3

RLT Anlage / Bezeichner: RLT-Anlage

Standort

Etage :
Raum : Neben Konfi-Raum. Raum 002

Ventilatoren

Abluftventilator			Nennluftvolumenstrom:	9800	m ³ /h
EI. Wirkleistung:	5500	W	bei Volumenstrom:	9800	m ³ /h
Stat. Druckerhöhung:	800	Pa	P_{SFP} :	2020	W/(m ³ /s)
Systemwirkungsgrad d. Ventilators:			39.5%		

Zuluftventilator			Nennluftvolumenstrom:	9800	m ³ /h
EI. Wirkleistung:	5500	W	bei Volumenstrom:	9800	m ³ /h
Stat. Druckerhöhung:	1200	Pa	P_{SFP} :	2020	W/(m ³ /s)
Systemwirkungsgrad d. Ventilators:			59.3%		

Rückgewinnung

Typ der Rückgewinnung : Wärmerückgewinnung
WRG : 80.0 %
Art der WRG : Rotor

Luftaufbereitung

Vorlauftemp. Heizen : 65 °C
Vorlauftemp. Kühlen : 6 °C

Befeuchtung

Befeuchtung : Ohne Befeuchtung
Befeuchtertyp : -
Befeuchterenergie(Dampf) : -
Befeuchterregelung(Wasser) : -

Luftverteilsystem

Dichtigkeit : Standardwert
Cleak : 1.15
Volumenstromverlust : 0.15 m³/s

Energie

Wärme : 0.07 kWh/(am³/h)
Kälte : 1.83 kWh/(am³/h)
Dampf : 0.00 kWh/(am³/h)
Ventilatoren : 12.78 kWh/(am³/h)
Nebenantriebe : 0.33 kWh/(am³/h)
Summe, ERLT : 15.01 kWh/(am³/h)

Energiekennwert Typ : ERLT-C3
Maximal dieses Typs : 29.13 kWh/(am³/h)
EnEV2007 : 17.19 kWh/(am³/h)
EnEV2009 : 11.82 kWh/(am³/h)

Standardempfehlungen für den Betreiber/Aufsteller

RLT-Anlage: Guter Zustand

Grundsätzlich prüfen, ob der Volumenstrom für die versorgten Flächen gut dimensioniert ist.

Ggf. Luftmengenanpassungen prüfen.

Abluftventilator:

Sollte ausgetauscht werden

Abluftventilator ist sanierungsbedürftig

Zuluftventilator:

Zufriedenstellend

Zuluftventilator: Detailmaßnahmen für eine mögliche Sanierung unter

Berücksichtigung der notwendigen Randbedingungen untersuchen

Wärmerückgewinnung: Sehr guter Zustand

Prüfen, ob Feuchterückgewinnung-Funktionalität nachrüstbar ist

Heizen: Prüfen, ob die Vorlauftemperatur senkbar ist.

Regelparameter und Toleranzfelder für Be- und Entfeuchtung prüfen.

Nach EnEV 2009 §15 müssen die Anlagen für mindestens 2 Sollwerte (Be- und Entlüften) eingestellt werden können!

Eigene Ergänzungen

Datum : 7/20/2012

Unterzeichnender : _____ (.)