

ENERGIEEFFIZIENZ VON LÜFTUNGSANLAGEN

IN VERWALTUNGSGEBÄUDEN



1.	Einleitung	3
2.	Meteorologische Auslegungsgrundlage	4
3.	Hygienische / physiologische Auslegungsgrundlage	5
4.	Normative Grundlagen / Regeln der Technik	6
5.	Bauphysikalische Randbedingungen	7
6.	Innovative Anlagenkonzeption der Klimakältetechnik	10
6.1	Arten / Typen der Lüftungstechnischen Versorgung in Nichtwohngebäuden	10
6.2	Definition von Lüftungs- und Klimaanlage	10
6.3	Darstellung der Einsatzbereiche von Klimasystemen	11
6.4	Spezielle Anforderungen bei der Luftbefeuchtung	11
6.5	Wärmerückgewinnungssysteme	12
6.5.1	Arten	12
6.5.2	Ziele der Wärmerückgewinnung	12
6.5.3	Energetische Kennwerte	12
6.6	Adiabate Luftkühlung	13
7.	Exemplarische Last- und Energieberechnungen	14
7.1	Anlagen- und Energieaufwand	14
7.1.1	Konditionierung	14
7.1.2	Transport und Verteilung	15
7.1.3	Investition und Betriebskosten	15
7.2	Versorgungs- und Regelungsstrategien unter energetischen Gesichtspunkten	17
7.2.1	Ventilator-Systemwirkungsgrad	17
7.2.2	Ventilator-Volumenstromregelung	18
7.2.3	Ventilator-Druckregelung	18
7.2.4	Dynamische Filterüberwachung	18
7.2.5	Zonen- oder Einzelraumregelung mit VVS	19
7.2.6	Temperatur- und Feuchtregelungsstrategien	19
7.2.7	Luftqualitätsregelung (Mischgas- oder CO ₂ -geführt)	21
7.3	Einfluss des Betriebes auf die Wirtschaftlichkeit und Gesamteffizienz von Lüftungsanlagen	21
7.3.1	Kanalundichtheiten	21
7.3.2	Rohr- und Luftleitungsdämmung	22
7.3.3	Möglichkeiten zur Nachrüstung und Effizienzverbesserung	22
8.	Energetische Inspektion	24
8.1	Anforderungen und Leistungsumfang	24
8.2	Einsparpotenziale der energetischen Inspektion	26
8.3	Weitere Anforderungen an RLT-Anlagen nach EnEV §15	27
8.4	Anforderungen des EEWärmeG §7	27
	Literaturverzeichnis	28
	Abbildungsverzeichnis	29
	Tabellenverzeichnis / Anlagenverzeichnis	30
	Anlagen	31
	Notizen	39
	Impressum	43

Gebäude sind einem permanenten Wandel unterworfen. Die Abbildung 1 zeigt unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit die Idealvorstellung für den Lebenszyklus eines Gebäudes und den dabei verwendeten Materialien. Raumluftechnische Anlagen verursachen einen signifikanten Energieverbrauch, der im Lebenszyklus eines Gebäudes möglichst minimiert werden soll.

Eine Modernisierung oder auch Sanierung der raumluftechnischen Anlagen ist immer dann geraten, wenn aufgrund von energetischen Inspektionen oder im Rahmen der normalen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen ein Bedarf identifiziert wird. Neben den energetischen Auffälligkeiten kommen aber auch neue Anforderungen aus Nutzungssicht oder hygiene-relevanten Aspekten hinzu.

Generell stellt sich dabei die Frage, ob ein Komplettaustausch der RLT-Geräte oder der Ersatz oder die Ergänzung einzelner Komponenten des RLT-Gerätes der richtige Weg ist. Eine allgemeingültige Antwort dazu gibt es nicht. Die Studie „Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche“ [1] hat herausgearbeitet, dass im Gebäudebestand in Deutschland ein Sanierungspotenzial für RLT-Anlagen von ca. 7,7 bis 12,9 Mio. Tonnen CO₂-Einsparung steckt, siehe [1]. Dabei sind nicht nur Ersatzmaßnahmen sondern auch organisatorische Maßnahmen im Sinne einer Betriebsoptimierung enthalten. Auch wenn das Potenzial zur CO₂-Einsparung groß ist, die Chance zur Erschließung des Potenzials hängt vor allem an wirtschaftlichen Kriterien.



Abb. 1: Lebenszyklus eines Gebäudes

Deutschland ist in Bezug auf klimatische Besonderheiten in 15 Regionen unterteilt. Die Abbildung 2 stellt die Einordnung der Regionen in die Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes dar.

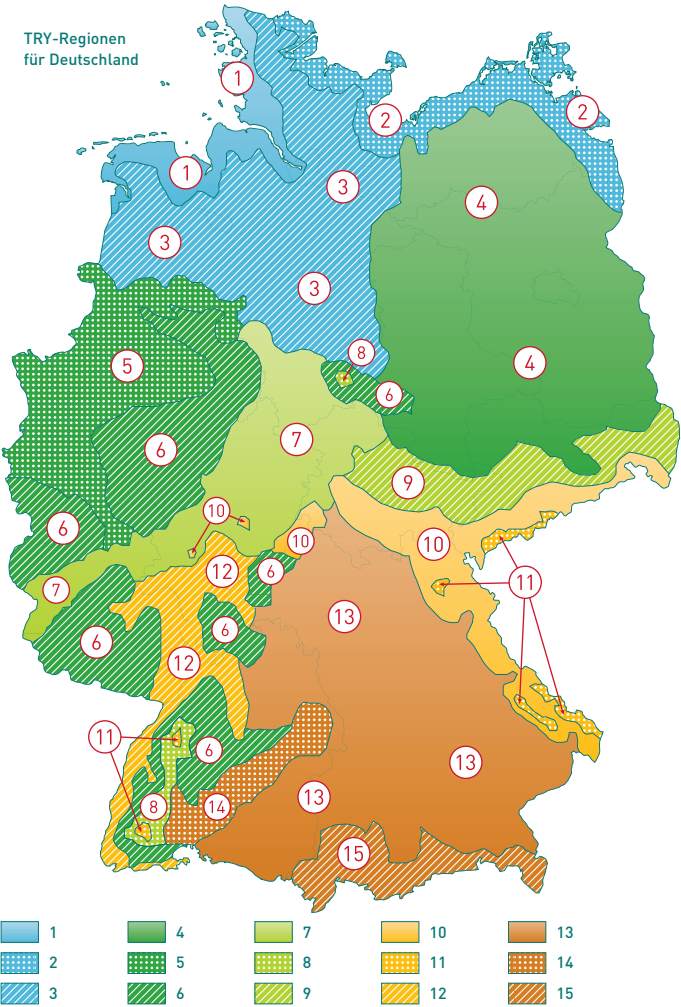


Abb. 2: Einteilung Deutschlands in 15 TRY-Regionen. Entnommen aus [12]

Sachsen gehört demnach in die Regionen 4, 9, 10 und 11. Die Landeshauptstadt Dresden gehört klimatisch zur selben Region wie z.B. Potsdam.

Für energetische Betrachtungen stellen die Testreferenzjahre stündliche Wetterdaten in der zeitlichen Abfolge eines Jahres zur Verfügung.

Für die Auslegung der RLT-Anlagen werden häufig die Daten der VDI 4710 Blatt 3 [13] verwendet. Darin sind die Zehntel-Stunden-Korrelationen von Temperatur und Wasserdampfgehalt (Feuchtegehalt) für den Zeitraum zwischen 1991 und 2005 für 15 Stationen in Deutschland enthalten.

Für die Auslegung einer RLT-Anlage wird ein angemessenes Überschreitungsrisiko von 0,1 % - das entspricht 9 Stunden pro Jahr – empfohlen. In Anlage 1 sind tabellarisch die beispielhaften Daten für die Station Potsdam dargestellt. Die Abbildung 3 zeigt den Auslegungspunkt im h,x-Diagramm für Dresden (identisch mit der Station Potsdam).

Für den Sommerfall werden demnach folgende Parameter empfohlen:

- Lufttemperatur: 34 °C
- Feuchtegehalt: 12 g/kg
- Spezifische Luftenthalpie: 64 kJ/kg

Für den Winter sollte eine Auslegungstemperatur von -14 °C verwendet werden.

Generell ist zu beachten, dass die Auslegungsbedingungen individuell zwischen dem Auftraggeber und dem Planer bzw. dem Auftragnehmer zu vereinbaren sind.

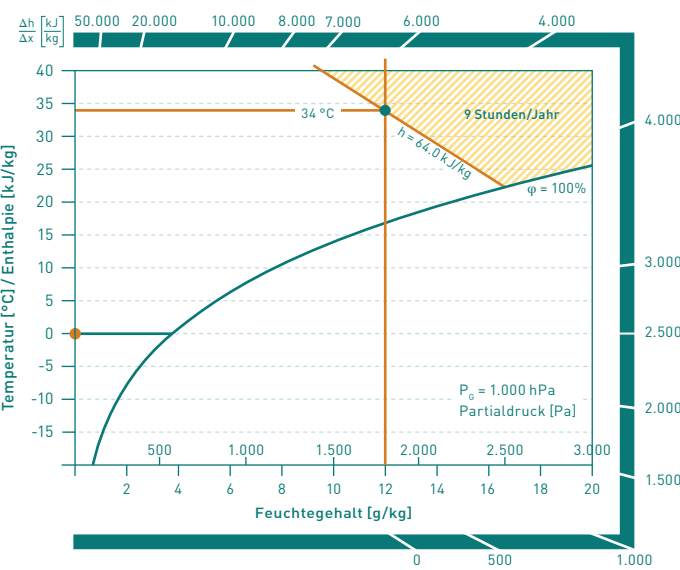


Abb. 3: Auslegungsbedingungen für den Standort Potsdam nach VDI 4710 Blatt 3

Wichtigste Aufgabe einer raumluftechnischen Anlage (RLT-Anlage) ist die Zufuhr gefilterter Außenluft und die Abfuhr thermischer und stofflicher Lasten. Dazu gehört insbesondere die Abfuhr, der von den Personen freigesetzten CO₂-Konzentration. Die Tabelle 1 zeigt, dass einem Raum mit einem erwachsenen Menschen etwa 30 m³/h Außenluft zugeführt werden müssen, um eine Raumlufkonzentration von 1.000 ppm nicht zu überschreiten.

	Einheit	Standard	Mensch in Ruhe
Außenluftkonzentration CO ₂	%	0,035	0,035
	ppm	350	350
	-	0,00035	0,00035
CO ₂ -Konzentration aus-geatmete Luft	%	4	4
	ppm	40.000	40.000
	-	0,04	0,04
Atemfrequenz	Atmungen/min		15
Atemzugvolumen	ml		600
Volumenstrom Gasge-misch	l/min		9
	m ³ /h	0,5	0,54
Quellenstärke CO ₂	l/h Person	20	21,6
	m ³ /h Person	0,02	0,0216
gewünschte Raumluf-konzentration	ppm	1000	1000
Außenluftvolumenstrom pro Person	m ³ /h Person	30,77	33

Tabelle 1: Berechnung des notwendigen Außenluftvolumenstromes

Die Normung gibt für die Einhaltung der Raumlufqualität (IDA bzw. RAL) die in Tabelle 2 genannten Werte vor. Diese Außen-luftvolumenströme berücksichtigen auch Emissionen aus anderen Quellen, wie Baustoffen oder Möbeln. Im Planungs-prozess ist eine Abstimmung zwischen dem Auftraggeber und dem Auftragnehmer hinsichtlich der erforderlichen Raumluf-qualität durchzuführen.

Zur Reduzierung der Verschmutzung der Luftleitungen und aller Komponenten der RLT-Anlage ist eine ausreichende Luftfil-terung von großer Bedeutung. Die Außenluft muss demnach mindestens mit der Filterklasse F7 gefiltert werden. Es wird empfohlen zwei Filterstufen zur Filterung der Außenluft einzu-setzen. Hinweise für die empfohlenen Filterklassen sind in der VDI 3803 Blatt 4 enthalten.

Kategorie	CO ₂ -Konzentration über dem Gehalt in der Außenluft in ppm Standardwert	Außenluftvolumenstrom je Person - Standardwerte	
		l/s Person	m ³ /h Person
IDA 1	350	20	72
IDA 2	500	12,5	45
IDA 3	800	8	29
IDA 4	1.200	5	18

Tabelle 2: Empfohlene CO₂-Konzentration und Außenluftvolumenströme nach DIN EN 13779

Außenluftqualität	Zuluftqualität			
	ZUL 1 (spezial)	ZUL 2 (hoch)	ZUL 3 (mittel)	ZUL 4 (niedrig)
AUL 1 (sauber)	F7	F7	F7	M5
AUL 2 (belastet)	F7 + F9	M5 + F8	M5 + F7	M6
AUL 3 (hoch belastet)	F7 + F9	M5 + F8	M5 + F7	F7

Tabelle 3: Empfohlene Filterklassen nach VDI 3803 Blatt 4

Neben der Zuluftqualität geht es auch um die Frage der thermi-schen Behaglichkeit. Die Abbildung 4 zeigt den rot gezeichneten Bereich der thermischen Behaglichkeit. Neben diesem Kriteri-um der thermischen Behaglichkeit die für den gesamten Körper gilt, sind weitere lokale Einflussfaktoren zu beachten. Die Tabelle 4 gibt den Überblick dazu. Die Standardkategorie B geht demnach von maximal 10 % Unzufriedener (PPD) aus.

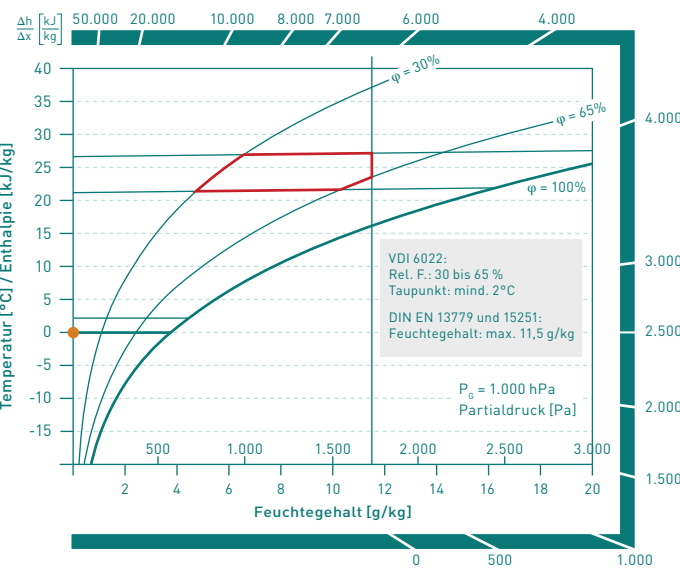


Abb. 4: Behaglichkeitsbereich nach VDI 6022 Blatt 3

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt			Lokale Unbehaglichkeit		
	PPD %	PMV	DR %	PD %		
				Vertikaler Lufttem-peraturunterschied	warmer oder kalter Fußboden	asymmetrische Strahlung
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Tabelle 4: Bewertungskriterien der thermischen Behaglichkeit nach ISO 7730

Legende:
Das PMV beschreibt das mittlere Tem-peraturempfinden unter gegebenen Bedingungen. Das PPD wird direkt aus dem PMV abgeleitet. Das PMV ist ein Versuch, das durchschnittliche Wär-meempfinden von Menschen formal zu beschreiben. Das PPD berechnet daraus eine Unzufriedenheitsquote.

Anforderungen an Klimaanlage und die einzuhaltenden Raumkonditionen werden in Deutschland hauptsächlich über Normen und das Arbeitsrecht geregelt. Lediglich Aspekte des Energiebedarfs werden in der Energieeinsparverordnung EnEV [2] behandelt.

- Energieeinsparverordnung EnEV mit DIN V 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung [3]
- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) und Arbeitsstättenrichtlinie ASR 3.5 [4]

Ergänzend sollen Bauvorhaben im kommunalen Bereich nach folgenden Regeln ausgeführt werden:

- Richtlinien des Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV-Richtlinien), insbesondere AMEV-Richtlinie RLT-Anlagenbau 2011 [5]
- Richtlinie zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer [6]
- Leitfaden Nachhaltiges Bauen [7]

Die wesentlichen Normen und Richtlinien für die Auslegung und Bemessung von Klimaanlage sind:

- DIN EN 15251 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik [8]
- EN 13779 Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme [9]

Beide Normen werden derzeit überarbeitet und in die neue europäische Normenreihe EN 16798 [10] mit insgesamt 18 Teilen integriert, die sich gesamtheitlich mit den Themen Auslegung, Effizienzberechnung und Energetische Inspektion von Klimaanlage beschäftigt. Jede neue Norm besteht dabei aus einem Normenteil und einem dazugehörigen technischen Bericht.

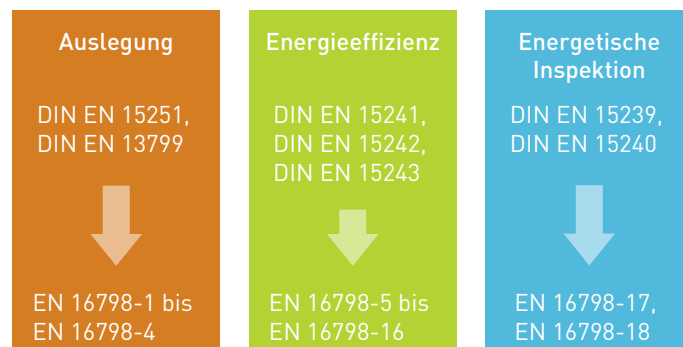


Abb. 5: Zuordnung der neuen Normenreihe EN 16798

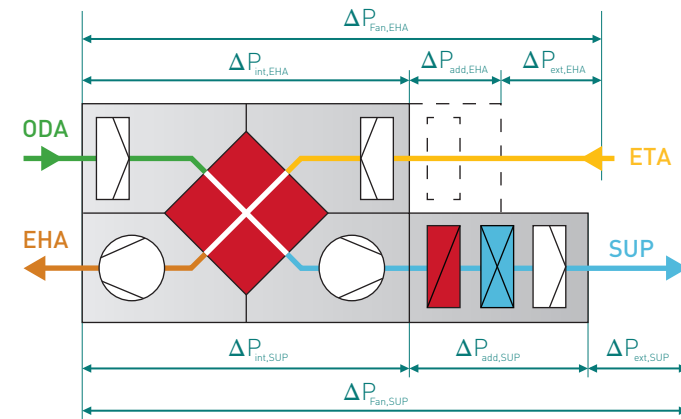


Abb. 6: Aufspaltung des SFP-Wertes nach EN 16798-3

Die neue Normenreihe ist mit einigen Änderungen in der nationalen Anwendung verbunden. In EN 16798, Teil 3 wird beispielsweise eine neue Zuordnung der SFP-Werte vorgeschlagen.

Gemäß DIN EN 13779 galt der SFP-Wert bisher für die gesamte RLT-Anlage einschließlich Kanalnetz. Nach EN 16798-3 wird künftig eine Trennung in einen internen, einen zusätzlichen und einen externen SFP-Wert eingeführt, der anhand der Druckverluste dieser Teilstrecken ermittelt wird. Damit wird es künftig möglich, die SFP-Werte und damit die Energieeffizienz von RLT-Geräten ohne den Einfluss des angeschlossenen Kanalnetzes einfacher miteinander zu vergleichen. Die neue Normenreihe EN 16798 tritt voraussichtlich im Frühjahr 2017 in Deutschland in Kraft.

Zusätzlich wird ab 01.01.2016 die EU-Richtlinie Nr. 1253/2014 - Richtlinie zur umweltgerechten Gestaltung von Lüftungsanlagen [11] in nationales Recht überführt. Darin werden verbindliche Anforderungen an die Energieeffizienz von RLT-Anlagen definiert, die zwingend einzuhalten sind. Dazu gehören beispielsweise die Forderungen, dass Neuanlagen mit Wärmerückgewinnungseinrichtungen und drehzahlregelbaren Ventilatoren auszurüsten sind. Daneben werden Anforderungen an

- die Mindesteffizienz notwendiger Wärmerückgewinnungseinrichtungen
- die Mindesteffizienz der eingesetzten Ventilatoren und Motoren
- die maximal zulässigen internen SFP-Werte für RLT-Geräte

gestellt. Die Effizienzanforderungen werden ab 01.01.2018 noch einmal verschärft.

Der Energieverbrauch der Klimaanlage wird maßgeblich durch den Energiebedarf des Gebäudes bestimmt. Die Bauart des Gebäudes, die verwendeten Materialien, die Art der Gebäudenutzung, die gewünschten Raumkonditionen, das gewählte Klimakonzept sowie die Lage und Wetterbedingungen haben einen erheblichen Einfluss auf den Gebäudeenergiebedarf. Der Energiebedarf verschiedener Gebäude ist damit nur bedingt vergleichbar.

Das Hauptziel energetischer Verbesserungen ist die Reduzierung der im Gebäude geförderten Luftvolumenströme auf den hygienisch notwendigen Außenluftvolumenstrom.

Dazu müssen Maßnahmen ergriffen werden, um thermische und stoffliche Lasten zu minimieren:

- Maßnahmen zum Sonnenschutz, Nutzung der Bauschwere (z.B. Nachtauskühlung), Verbesserung der Wärmedämmung
- Einsatz effizienter Beleuchtung, Kapselung thermischer Lasten
- Einsatz von Direktabsaugungen, Kapselung stofflicher Lasten, Nutzung von Verdrängungsströmungen

Einem guten sommerlichen Wärmeschutz kommt dabei, insbesondere bei Klimaanlage mit einem kühllastabhängigen Luftvolumenstrom, eine besondere Bedeutung bei der Lastreduzierung zu. Ohne die gezielte Nutzung von Verschattungseinrichtungen können in Gebäuden sehr hohe Raumlufttemperaturen auftreten, die nur mit hohem Energieaufwand kompensiert werden können.

Die Sollwerte der Luftzustandsgrößen Temperatur und relative Luftfeuchte haben signifikanten Einfluss auf den Energiebedarf des Gebäudes. Durch Nutzung der Bandbreite des Behaglichkeitsbereiches können die Energiekosten deutlich reduziert werden, ohne dass es zu einer wesentlichen Verringerung des Behaglichkeitsempfindens kommt.

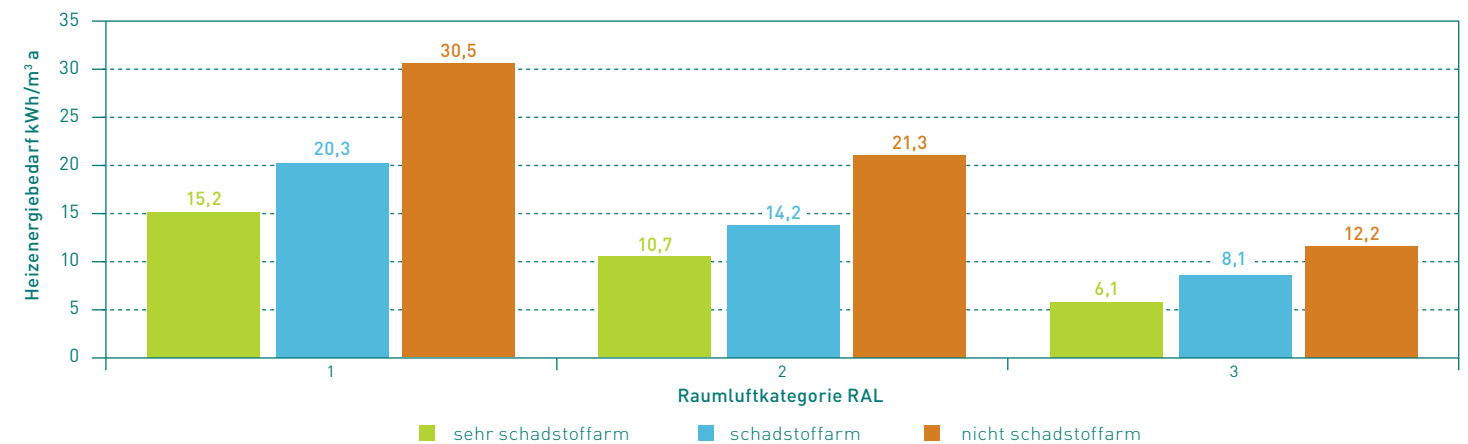


Abb. 8: Heizenergiebedarf in Abhängigkeit der Raumluftkategorie und der Schadstoffklasse des Gebäudes

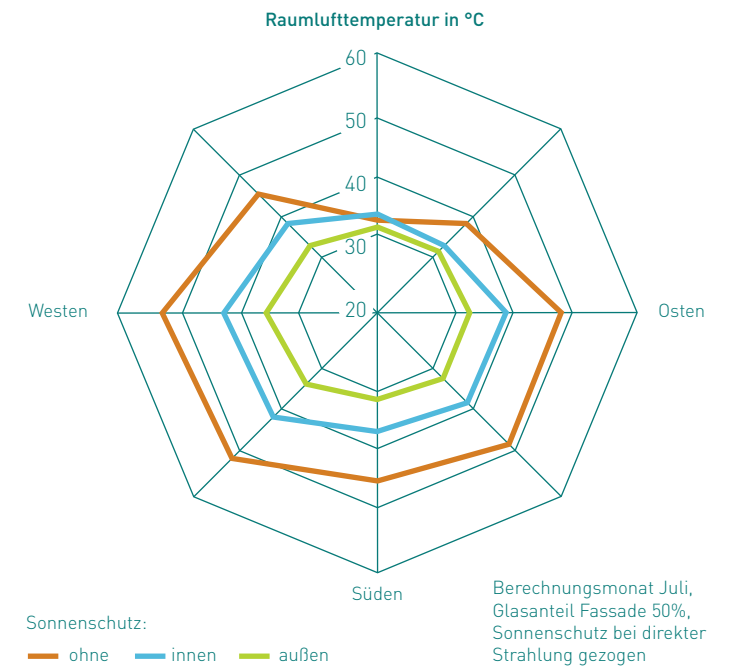


Abb. 7: Raumlufttemperatur in Abhängigkeit der Fassadenorientierung und des Sonnenschutzes

Generell kommt der Verwendung schadstoffarmer Baumaterialien große Bedeutung zu. Die Abbildung 8 zeigt den Heizenergiebedarf eines Bürogebäudes für verschiedene Raumluftkategorien und Schadstoffklassen.

Der Heizenergiebedarf wurde für folgende Randbedingungen berechnet:

- Außenluftvolumenströme entsprechend der Schadstoffklasse eines Bürogebäudes
- Wärmerückgewinnung mit 65 % Wirkungsgrad
- Betriebszeit: Montag bis Freitag zwischen 8.00 und 18.00 Uhr
- Wetterdaten: TRJ 04 - Potsdam

Variante	Schülerzahl		Sonnenschutz		Nachtlüftung			Zeitverlegung	
	30	21	sehr gut	schlecht	110 %	100 %	nein	ja	nein
1	x			x			x		x
2	x			x			x	x	
3	x			x		x			x
4	x			x		x		x	
5	x			x	x				x
6	x			x	x			x	
7	x		x				x		x
8	x		x				x	x	
9	x		x			x			x
10	x		x			x		x	
11	x		x		x				x
12	x		x		x			x	
13		x		x			x		x
14		x		x			x	x	
15		x		x		x			x
16		x		x		x		x	
17		x		x	x				x
18		x		x	x			x	
19		x	x				x		x
20		x	x				x	x	
21		x	x			x			x
22		x	x			x		x	
23		x	x		x				x
24		x	x		x			x	

Tabelle 5: Übersicht über die Varianten

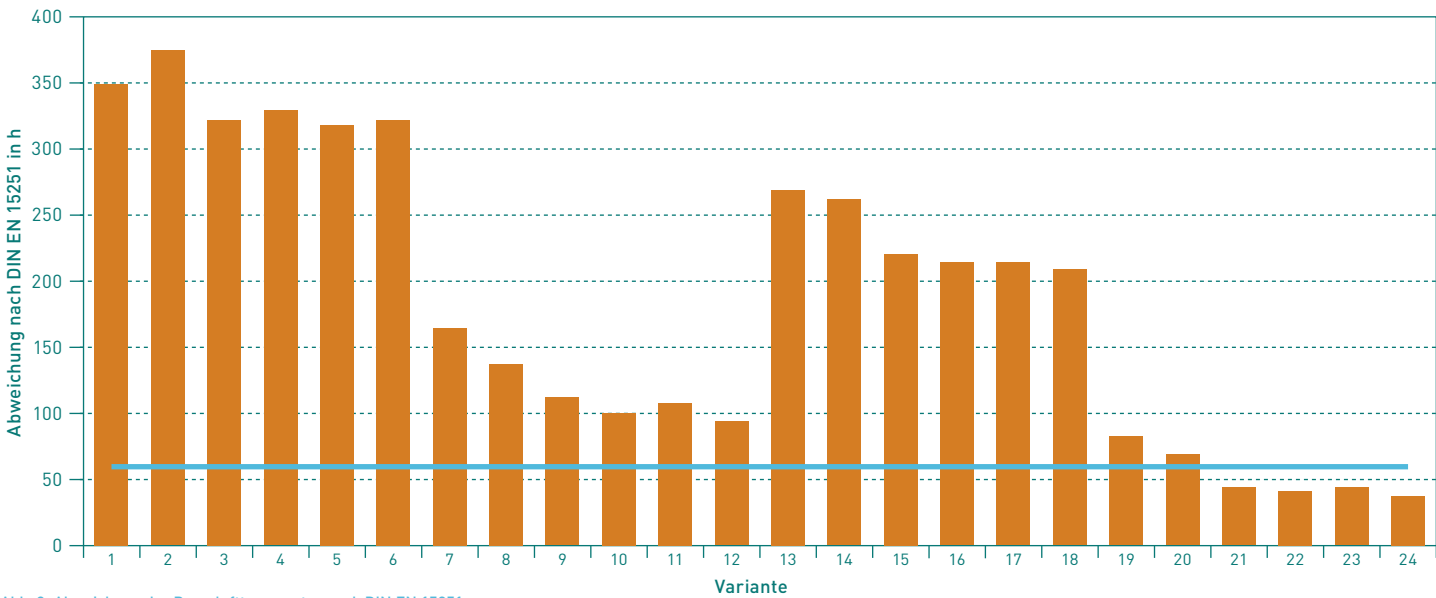


Abb. 9: Abweichung der Raumlufttemperatur nach DIN EN 15251

Es zeigt sich, dass zwischen der besten und schlechtesten Kombination der Faktor 5 im Heizenergiebedarf besteht. Dies verdeutlicht den notwendigen Abstimmungsbedarf zwischen allen Beteiligten.

Im Rahmen der Planung eines Gebäudes geht es auch darum, alle Möglichkeiten der Lastverringering hinsichtlich der Auswirkung auf die Raumlufttemperaturen zu betrachten. Für einen Klassenraum [19] wurden die 24 Varianten gemäß Tabelle 5 berechnet.

Die Abbildung 9 zeigt alle Berechnungsergebnisse. Als Bewertungskriterium wurde die Überschreitung der operativen Raumtemperatur von 26 °C entsprechend DIN EN 15251 gewählt. Es zeigt sich eine sehr große Bandbreite der Ergebnisse der Varianten. Die Ausgangsvarianten ohne bauliche und organisatorische Maßnahmen (Variante 1 - 6) zeigen Überschreitungshäufigkeiten von 26 °C oberhalb von 300 h/a. Dies würde einer ca. 17%igen Überschreitung innerhalb der Nutzungszeit entsprechen.

Die besten Varianten unter Ausnutzung von zusätzlichen organisatorischen Maßnahmen (Variante 21 - 24) zeigen dagegen Überschreitungshäufigkeiten unterhalb von 50 h/a, so dass der Grenzwert der 3%-Abweichung mit 55 Stunden pro Jahr unterschritten wird.

Die thermischen Simulationen wurden so durchgeführt, dass eine konstante Beleuchtungsstärke im Klassenraum von 500 Lux erreicht wird. In Auswertung der Simulationsergebnisse zeigt sich, dass die elektrische Beleuchtung in den Sommermonaten nicht zur Anwendung kommt.

In diesem Zusammenhang bekommt der außenliegende Sonnenschutz eine große Bedeutung. Die Varianten 7 bis 12

zeigen auch bei einer Vollbelegung mit 30 Schülern nur Überschreitungshäufigkeiten der operativen Raumtemperatur im Bereich von 100 Stunden pro Jahr. Diese starke Reduzierung ist im Wesentlichen auf den Wechsel von einem innenliegenden auf den außenliegenden Sonnenschutz zurückzuführen. Dies bestätigen auch die Simulationsergebnisse der Varianten 13 bis 18. Hierbei wird mit einer Reduzierung der Schülerzahl auf 21 gerechnet. Zugleich wird der innenliegende Sonnenschutz berücksichtigt. Gegenüber den Varianten 8 bis 12 zeigt sich ein erneuter Anstieg der Überschreitungshäufigkeit.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein Schwerpunkt der Ertüchtigung von Klassenräumen auf die Verbesserung des außenliegenden Sonnenschutzes, der Nutzung der Nachtlüftung und einer intelligenten Beleuchtungssteuerung gelegt werden muss. Eine Reduzierung der Schülerzahl bei gleichbleibender Raumgröße erleichtert die Einhaltung der Temperaturanforderungen.

In Bezug auf die Beschlüsse der Europäischen Union zum Klimaschutz und den hieraus abgeleiteten nationalen Anforderungen an die energetische Mindestqualität von Gebäuden ist davon auszugehen, dass durch die geforderte Luftdichtigkeit der Gebäudehülle in allen Gebäudeklassen, insbesondere im Bereich von Nichtwohngebäuden, Lüftungs- und Klimaanlage Pflichtmaßnahmen zur ausreichenden Sicherstellung der hygienischen Luftversorgung sein werden. Durch die Vorgaben der

Bunderegierung zum Klimaschutz [Grünbuch Energieeffizienz; Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Szenarioanalyse des BMUB für ein treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050, Entwurf des Klimaschutzplanes des BMUB für das Jahr 2050] werden für Deutschland Standards vorgegeben, die noch über den Zielvorgaben der Europäischen Union zum Klimaschutz liegen.

Die im Herbst 2015 im Bundeskabinett verabschiedete Effizienzstrategie Gebäude (ESG) beschreibt den Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand im Jahr 2050, der auf den beiden wesentlichen Säulen Effizienz und Einsatz erneuerbarer Energien aufbaut. Im Ergebnis wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2050 der gesamte Wohngebäudebestand im Durchschnitt nur noch ca. 40 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m2a) benötigt. Für Nichtwohngebäude liegt der auf Primärenergie bezogene mittlere Zielwert bei rund 52 kWh/m2a. Diese Werte beschreiben die angestrebten Mindeststandards. Die Notwendigkeit zum Einsatz effizienter Lüftungsanlagen sowie deren effiziente Betreibung wird hierdurch nochmals verstärkt. Der de facto zwingend gewordene Einsatz von Lüftungs- und Klimaanlage in Nichtwohngebäuden bringt neben der Flankierung der energetischen Mindestanforderungen, zusätzlich erhebliche Vorteile für die Raumlufthygiene sowie das Leistungsvermögen der Personen, die sich in den konditionierten Räumlichkeiten aufhalten.



Abb.10: Lüftungszentrale in einem klassischen Nichtwohngebäude

6.1 Arten / Typen der Lüftungstechnischen Versorgung in Nichtwohngebäuden

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen eine mögliche Einteilung der Raumlufttechnik. Generell ergibt sich eine große Vielzahl von Anlagenkonzepten, die sich für jedes Gebäude individuell entwickeln lassen.

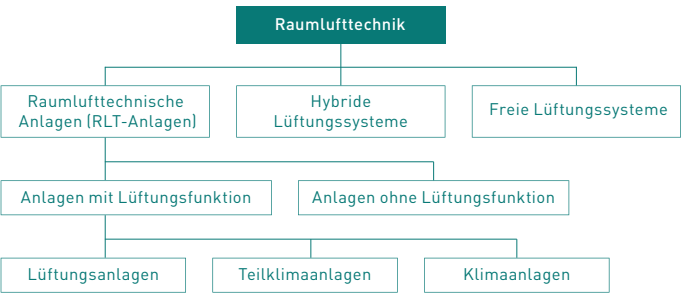


Abb. 11: Einteilung der Raumlufttechnik

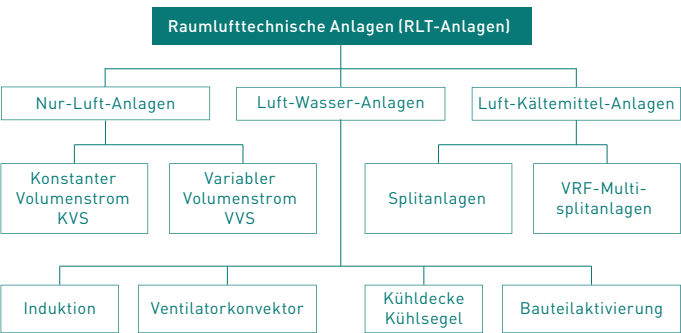


Abb. 12: Einteilung der RLT-Anlagen in Anlehnung an DIN V 18599 Teil 7

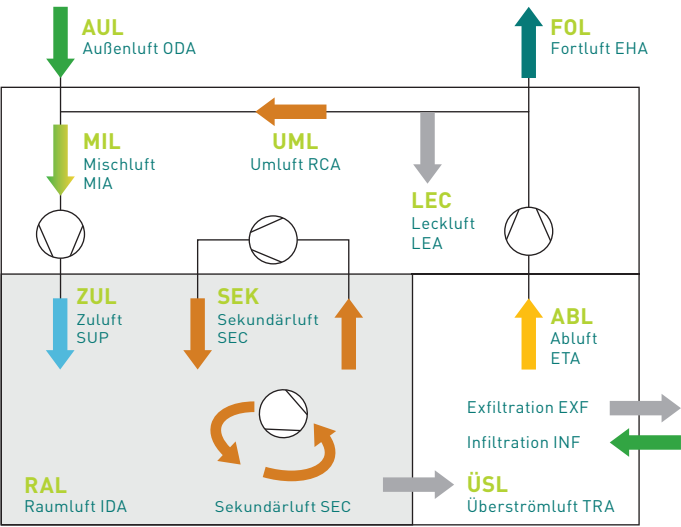


Abb. 13: Bezeichnungen der Luftvolumenströme entsprechend der europäischen Normung

6.2 Definition von Lüftungs- und Klimaanlagen

Die nationale Definition von Lüftungs-, Teilklima- und Klimaanlagen erfolgt gemäß DIN SPEC 13779 [15] entsprechend den vorhandenen thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen einer RLT-Anlage. Dazu werden die Kategorien THM-C0 bis THM-C5 eingeführt. Anhand dieser Kategorien lässt sich auch eine Zuordnung zu den Kostengruppen der DIN 276 ableiten. Die tabellarischen Übersichten dazu sind in Anlage 2 enthalten.

Als Kälteanlagen werden Anlagen bezeichnet, die unabhängig von der Lüftungsfunktion einen Kälte-träger (Luft, Wasser, Sole, Kältemittel) zur Kühlung und / oder Entfeuchtung eines Versorgungsbereiches bereitstellen. Grundsätzlich sind Raumklimageräte Kälteanlagen, sie werden im Sinne der Energieeinsparverordnung jedoch auch als Klimaanlage betrachtet.

Die neue europäische Normung sieht folgende Definition von Lüftungs- und Klimaanlagen vor:

Anlage	Zuluftventilator	Fortluftventilator	Sekundärlüfter	Wärmerückgewinnung	Wärmepumpe	Filtration	Heizung	Kühlung	Befeuchtung	Entfeuchtung
Unidirektionale Zuluftanlage (unter Überdruck betriebene Lüftungsanlage)	x	-	-	-	-	o	o	-	-	-
Unidirektionale Fortluftanlage	-	x	-	-	o	-	-	-	-	-
Bidirektionale Lüftungsanlage	x	x	-	x	o	x	o	-	-	-
Bidirektionale Lüftungsanlage mit Befeuchtung	x	x	-	x	o	x	o	-	x	-
Bidirektionale Klimaanlage	x	x	-	x	o	x	o	(x)	o	(x)
Vollklimaanlage	x	x	-	x	o	x	x	x	x	x
Raumkühlsystem (Gebläsekonvektor, Splitklimageräte, VRF, Wärmepumpen mit lokaler Wasserversorgung, usw.)	-	-	x	-	-	o	o	x	-	(x)
Raumluftheizsystem	-	-	x	-	-	o	x	-	-	-
Raumkühlsystem	-	-	-	-	-	-	o	x	-	-

x

ausgestattet mit

(x)

ausgestattet mit, jedoch möglicherweise mit eingeschränkter Funktion

-

nicht ausgestattet

o

möglicherweise ausgestattet mit

Tabelle 6: Europäische Definition von Klima- und Lüftungsanlagen nach EN 16798-3

6.3 Darstellung der Einsatzbereiche von Klimasystemen

Verschiedene Luftführungssysteme besitzen unterschiedliche Leistungsgrenzen sowohl hinsichtlich der maximalen Kühllast als auch der Lüftungseffektivität (siehe Anlage 3). Ergänzend dazu können flächige Temperiersysteme (Kühldecken, Fußbodenheizung, Bauteilaktivierungen) integriert werden. Die Entwicklung der Raumlufttemperatur über der Raumhöhe zeigt die Abbildung 14 für verschiedene Arten der Zuluft einbringung.

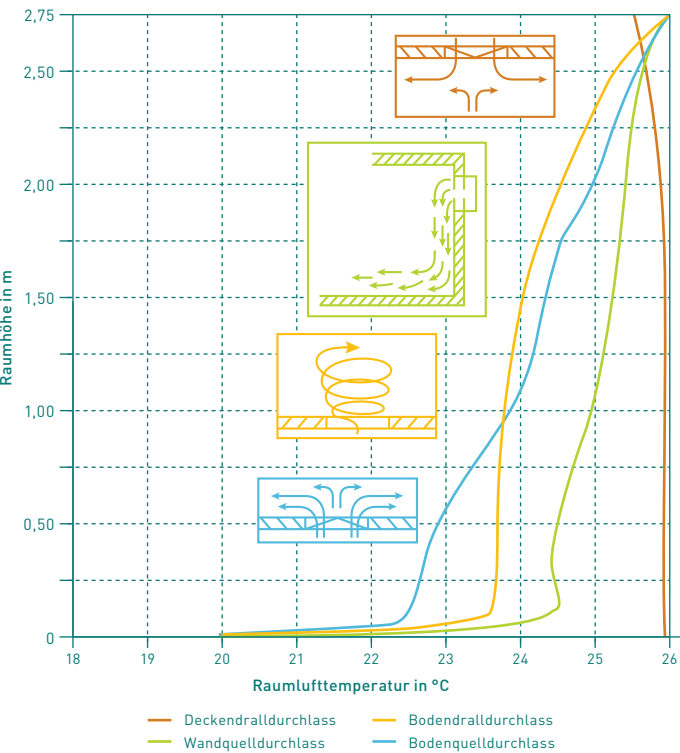


Abb. 14: Entwicklung der Raumlufttemperatur über der Höhe, entnommen aus VDI 3804 [20]

6.4 Spezielle Anforderungen bei der Luftbefeuchtung

Für die Notwendigkeit einer Luftbefeuchtung gibt es in Deutschland keine verbindlichen Vorgaben. Die rechtliche Situation zur Raumluftfeuchte soll anhand der nachfolgenden Zitate aus den Normen und Richtlinien verdeutlicht werden.

Die Arbeitsstättenregeln ASR A3.6 führen unter 4.3 Feuchtelast folgendes aus:

„Üblicherweise braucht die Raumluft nicht befeuchtet zu werden. Für den Fall, dass Beschwerden auftreten, ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu prüfen, ob und ggf. welche Maßnahmen zu ergreifen sind.“

In der DIN EN 15251 (Nationaler Anhang) ist unter NA.3.4 formuliert:

Die relative Luftfeuchte beeinflusst die Wärmetransportvorgänge an der Oberfläche der menschlichen Haut. Die Werte für die relative und absolute Luftfeuchte beziehen sich auf die ausgewiesene Aufenthaltszone. Es gelten obere Grenzwerte von 65 % für die relative und 11,5 g/kg für die absolute Feuchte der Luft. Unterhalb des Wertes von 30 % für die relative Feuchte der Luft können gesundheitliche Beeinträchtigungen (z. B. trockene Schleimhäute) und störende, statische Aufladungen auftreten. Bei hoher relativer Luftfeuchte kann durch eine niedrigere operative Raumtemperatur die thermische Behaglichkeit konstant gehalten werden und umgekehrt.

Im europäischen Standard der DIN EN 15251 ist unter 6.4 formuliert:

Üblicherweise braucht die Raumluft nicht befeuchtet zu werden. Die Luftfeuchte hat nur geringe Auswirkungen auf die Temperaturempfindung und die Wahrnehmung der Luftqualität in Räumen mit sitzenden Tätigkeiten, jedoch verursacht lang andauernde hohe Raumluftfeuchte mikrobielles Wachstum, während sehr niedrige Luftfeuchte (<15 % bis 20 %) Trockenheit und Reizungen der Augen und Luftwege verursacht.

Die Broschüre RLT-Anlagenbau 2011 des AMEV gibt unter 1.6. Luftbefeuchtung folgende Hinweise:

„Luftbefeuchter unterliegen besonderen hygienischen Anforderungen und erhöhen die Betriebskosten. Aufgrund dessen ist die Notwendigkeit einer Luftbefeuchtung kritisch zu überprüfen. RLT-Anlagen für thermisch hochbelastete Räume (Kühllasten größer 60 W/m²) mit langer Aufenthaltszeit von Personen (Dauerarbeitsplätze) sollten eine Befeuchtung erhalten. Bei thermisch niedrig belasteten Räumen oder bei Quelllüftung bis zu Kühllasten von 75 W/m² kann in der Regel auf eine Befeuchtung verzichtet werden.“

Im Ergebnis ist festzustellen, dass es einer gesonderten Vereinbarung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer bedarf, um eine Luftbefeuchtung zu realisieren.

6.5 Wärmerückgewinnungssysteme

6.5.1 Arten

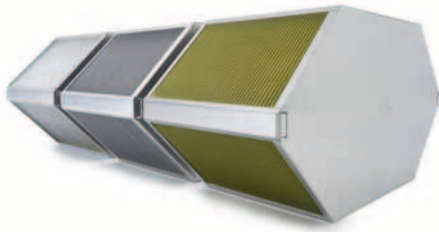
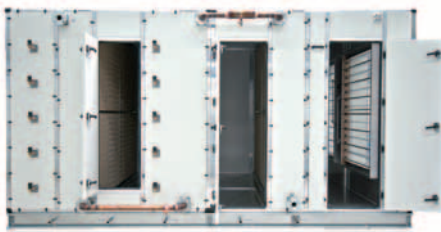
Plattenwärmeübertrager (PWÜ)	Kreislauf-Verbund-System (KVS)	Rotationswärmeübertrager (Rotor)
		
Bildquelle: Klingenburg GmbH	Bildquelle: System HPWRG by HOWATHERM®; Copyright: ©kaschikre	Bildquelle: Klingenburg GmbH
• mittlere Effizienz • preiswert • begrenzt in der Größe • nur bedingt regelbar • erfordert örtliche Nähe von Fortluft und Außenluft	• geringe Effizienz mit konventionellen Systemen • höhere Effizienz mit Hochleistungs-KVS • bei hoher Effizienz teurer • unbegrenzt in der Größe • Fortluft und Außenluft können räumlich getrennt sein • gut regelbar • keine Schadstoffübertragung • keine Feuchteübertragung möglich	• hohe Effizienz • preiswert • auch für große Luftmengen verfügbar • gut regelbar • erfordert örtliche Nähe von Fortluft und Außenluft • Feuchteübertragung ohne Kondensation möglich • geringe Leckagen nicht auszuschließen

Tabelle 7: Arten von Wärmerückgewinnungssystemen

Umluft ist keine Wärmerückgewinnung! Die Nutzung von Umluft kann in bestimmten Anwendungsfällen sinnvoll sein, z. B. bei Luftheizanlagen oder Luftkühlanlagen, wenn größere innere Lasten zu decken bzw. abzuführen sind. Im Komfortbereich bedeutet die Umluftnutzung einen zusätzlichen Transportaufwand für einen Luftanteil, der nicht dem hygienischen Luftwechsel dient. Grundsätzlich wäre es effizienter, diesen Umluftanteil durch eine variable Volumenstromregelung gänzlich einzusparen, den Luftvolumenstrom auf den hygienisch notwendigen Außenluftvolumenstrom zu begrenzen und diesen über eine Wärmerückgewinnungseinrichtung zu führen.

6.5.2 Ziele der Wärmerückgewinnung

- Übertragung von Wärme aus der Abluft an die Außenluft
- Kälterückgewinnung im Sommer
- ggf. Feuchteübertragung von Abluft an Außenluft

6.5.3 Energetische Kennwerte

- Neubau: EnEV-Referenzwert 60 % Temperaturübertragungsgrad (Stand 2015)
- Sanierung: Klasse H3 nach DIN EN 13053:2007-11 (Stand 2015)
- ab 2016 Mindest-WRG nach ErP-Richtlinie EU Nr. 1253/2014 RLT-Geräte (mit Verschärfung ab 2018)
 - KVS 63 % (68 %) Temperaturübertragungsgrad
 - Sonstige 67 % (73 %) Temperaturübertragungsgrad

6.6 Adiabate Luftkühlung

Bei der adiabaten Luftkühlung handelt es sich um einen lufttechnischen Teilprozess, bei dem der Verdunstungseffekt zur Kühlung von Außenluft genutzt wird. Man unterscheidet dabei zwischen direkter und indirekter Verdunstungskühlung. Die direkte Verdunstungskühlung (direkte Befeuchtung der Zuluft) kann nur in einem sehr geringen Zeitraum des Jahres (bei trockener und warmer Außenluft) einen nennenswerten Beitrag zur direkten Außenluftkühlung leisten. Die energetischen Vorteile der direkten Verdunstungskühlung werden daher insbesondere im Zusammenspiel mit einer vorgelagerten sorptiven Entfeuchtung mittels Sorptionstrocknung (z.B. als DEC-Anlage) genutzt. Die indirekte Verdunstungskühlung erfordert ein Wärmerückgewinnungssystem in der RLT-Anlage und kann den Kühlenergiebedarf der konventionellen Kühlung erheblich reduzieren. Die Abbildung 15 zeigt den Verlauf im h,x-Diagramm. Die rote Linie zeigt die mögliche Abkühlung der Außenluft durch Nutzung der Verdunstungskühlung in der Abluft.

Der reduzierbare Anteil ist dabei stark abhängig von

- der Art der Feuchteanforderung im Raum (keine Feuchteanforderung, Feuchteanforderung mit/ohne Toleranz),
- der geplanten Zulufttemperatur und
- der Qualität der Wärmerückgewinnungssystems (Temperaturrückgewinnungsgrad).

Abbildung 16 zeigt die erreichbaren Einsparungen mit einem Abminderungsfaktor für die 46 Anlagenvarianten der DIN V 18599-3 (siehe Anlage 4) für den Standort Potsdam, wobei ein

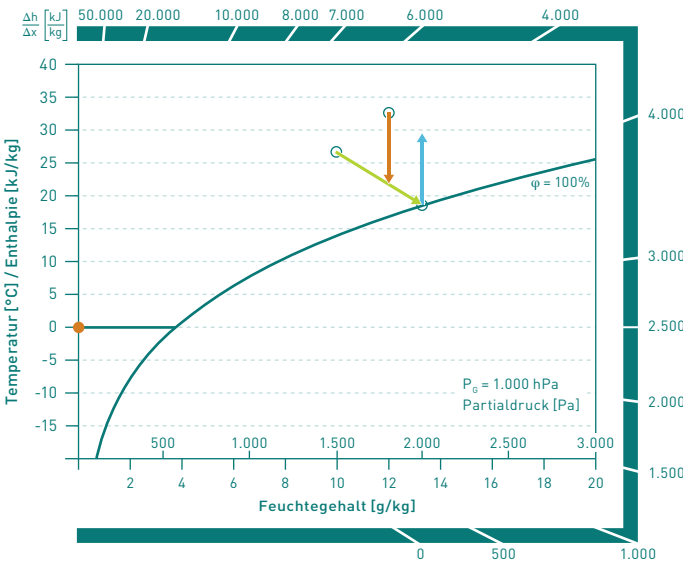


Abb. 15: Verlauf der Verdunstungskühlung

Einspareffekt nur für Anlagen mit Wärmerückgewinnungssystem ausgewiesen ist.

Die indirekte Verdunstungskühlung kann bei Zulufttemperaturen von 18 °C in Anlagen ohne Feuchteanforderung oder mit Feuchtetoleranz, wie Büro- oder Verwaltungsgebäude (Anlagentyp 1 bis 25), in Abhängigkeit der Qualität des Wärmerückgewinnungssystems etwa 40 % bis 60 % der Kühlenergie einer konventionellen Kühlung einsparen. Nur bei Anlagen ohne Feuchtetoleranz, etwa in Museen oder Depots (Anlagentyp 26 bis 46), fällt die Einsparung mit ca. 20 % deutlich niedriger aus.

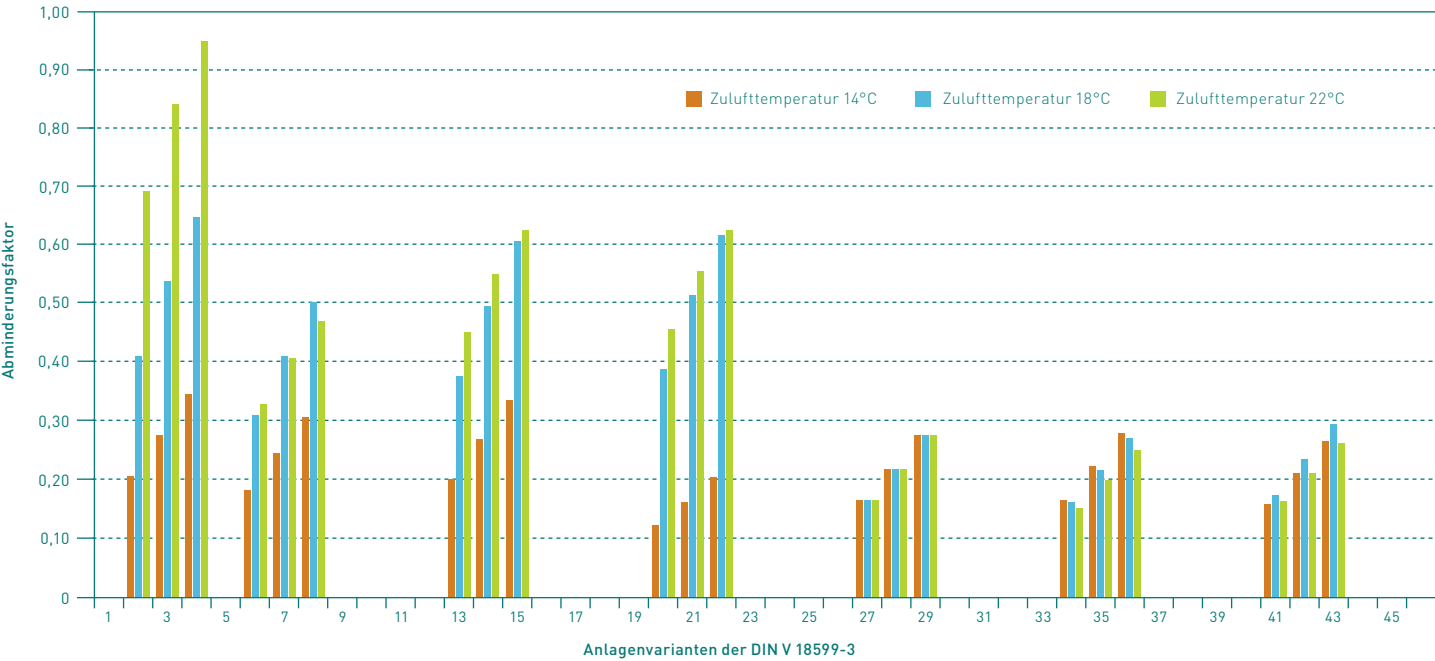


Abb. 16: Abminderungsfaktoren nach DIN V 18599-3 für eine Teilklimaanlage mit indirekter Verdunstungskühlung

7.1 Anlagen- und Energieaufwand

Der Anlagenenergiebedarf wird maßgeblich durch den geför-
derten Luftvolumenstrom bestimmt. Das Hauptziel jeder Opti-
mierung muss also die Reduzierung des Luftvolumenstromes
sein. Insgesamt gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten RLT-
Anlagen energieeffizient zu betreiben:

- Erstellung der Sollwerte:**
- differenzierte, zonenweise Betriebszeiten
 - Verzicht auf oder Minimierung der Feuchteanforderungen
 - Toleranzbereiche für Raumlufttemperaturen und ggf. Raumluftfeuchten
- Funktionstrennung:**
- getrennte Systeme für die Abfuhr thermischer und stoff-
licher Lasten
 - Transport thermischer Lasten über das Medium Wasser
 - Trennung von Entfeuchtung und Kühlung
 - Verriegelung von gegenseitiger Heizung und Kühlung

Thermische Luftaufbereitung:

- Wärmerückgewinnung
- Feuchterückgewinnung
- Vermeidung ungewollter Entfeuchtung
- direkte Feuchteregelung
- freie Kühlung oder adiabate Kühlung

Lufttransport:

- Minimierung der Druckverluste in Geräten und Kanalnetz
- bedarfsgerechte Luftvolumenstromregelung
- energieeffiziente, drehzahlgeregelte Ventilatoren

Nicht alle genannten Maßnahmen sind ohne größere Aufwen-
dungen oder Umbauten im Bestand realisierbar. Es gibt jedoch
eine Reihe von Maßnahmen, die mit geringem Aufwand um

gesetzt werden können. Zu den niedriginvestiven Maßnahmen
gehören:

- Einhaltung der Mindestaußenluftmengen (keine Über-
schreitung)
- Absenk-, Abschaltbetrieb bei Nichtnutzung einzelner
Raumbereiche
- Luftqualitätsregelung (CO₂, Mischgas, andere)
- Raumluft-, Zulufttemperaturen jahreszeitlich variabel
vorgeben (Sommer (hoch), Winter (niedrig))
- Feuchteanforderungen minimieren
 - Befeuchtung erforderlich? → ggf. Zonierung ändern
 - geringer Feuchtesollwert im Winter (30 %)
 - hoher Feuchtesollwert im Sommer (50...60 %)
- regelmäßige Reinigung (Filter), Wartung und Instand-
setzung
- direkte Erfassung von Schadstoffen
- Abdichtung von Leckagen in Luftkanälen, Klappen

7.1.1 Konditionierung

Der Energiebedarf der Luftkonditionierung ist abhängig von
den Anforderungen der Nutzungsbereiche und von der Art und
Effizienz der zur Erreichung dieser Anforderungen eingesetzten
Anlagentechnik. Da sich sowohl die Anforderungen als auch die
Art der Anlagentechnik projektspezifisch stark unterscheiden,
kann der Energiebedarf von RLT-Anlagen nicht verallgemeinert
werden. Gleichzeitig kommen in der Regel mehrere Energie-
träger zum Einsatz, die eine allgemeine Aussage erschweren.
Eine Ermittlung des Energiebedarfes von RLT-Anlagen mit einer
Differenzierung in die Energieträger Strom, Wärme, Dampf und
Kälte ermöglicht die DIN V 18599-3, in deren Anhang A spe-
zifische Energiekennwerte für 46 verschiedene Bauarten von
RLT-Anlagen mit verschiedenen Anforderungen an die Raum-
luftfeuchte enthalten sind.

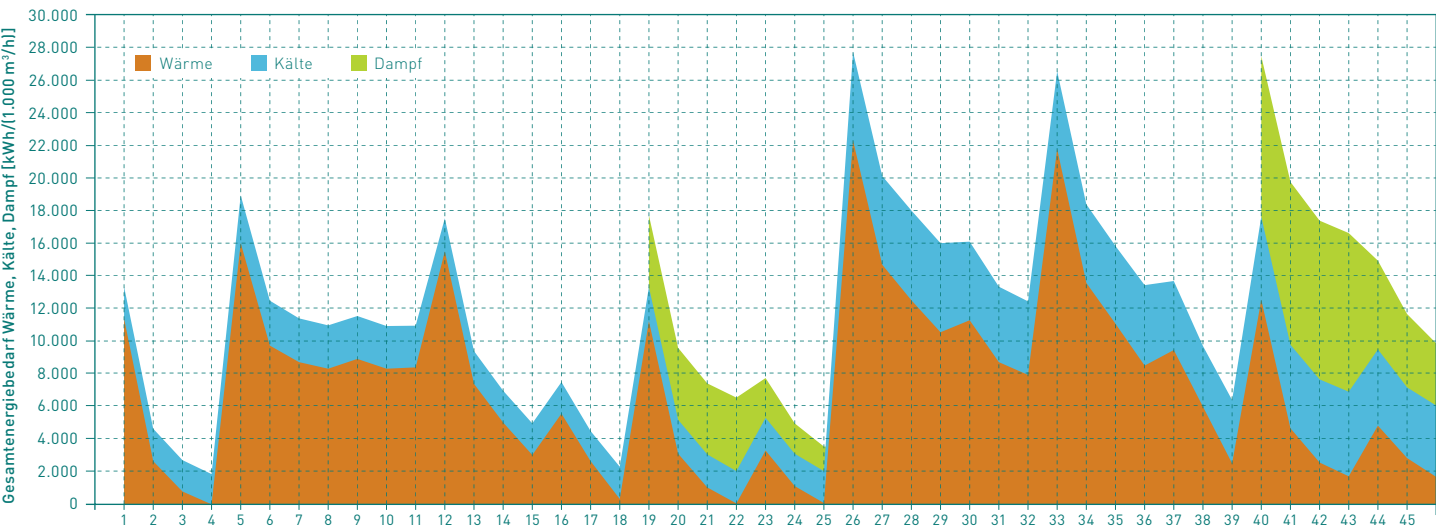


Abb. 17: Gesamtenergiebedarf Wärme, Kälte, Dampf nach DIN V 18599-3

Anlage 5 zeigt die entsprechenden Kennwerte auszugsweise.
Diese gelten für festgelegte Randbedingungen und müssen
ggf. noch auf den tatsächlichen Anwendungsfall umgerechnet
werden. In jedem Fall sind die spezifischen Kennwerte mit dem
tatsächlichen Luftvolumenstrom zu denormieren, um Absolut-
werte zu erhalten.

7.1.2 Transport und Verteilung

Durch anteilige Lastdeckung durch Wassersysteme (z.B. Flä-
chenkühlung) kann der Luftvolumenstrom auf das hygienisch
notwendige Maß reduziert und die erforderliche Aufbereitungs-
energie für die Außenluft stark abgesenkt werden.

7.1.3 Investition und Betriebskosten

Investitionskosten für Lüftungstechnische Maßnahmen weisen
eine große Bandbreite auf. Dies hängt vor allem mit der Komple-
xität der zu berücksichtigenden Funktionen zusammen. Daher
ist es sinnvoll, Angebote von unterschiedlichen Herstellern
einzuholen.

Anders ist die Situation bei den reinen Energiekosten. Die Tabel-
le 8 zeigt eine Möglichkeit der Bilanzierung der Energiekosten
unter Verwendung der Mindestaußenluftvolumenströme ent-
sprechend der DIN EN 15251. Bei konstanten Luftvolumenströ-
men ergeben sich z. B. Strombezugskosten für die Ventilatoren
für eine Raumluftkategorie II zwischen 1,30 €/m²a und
2,70 €/m²a.

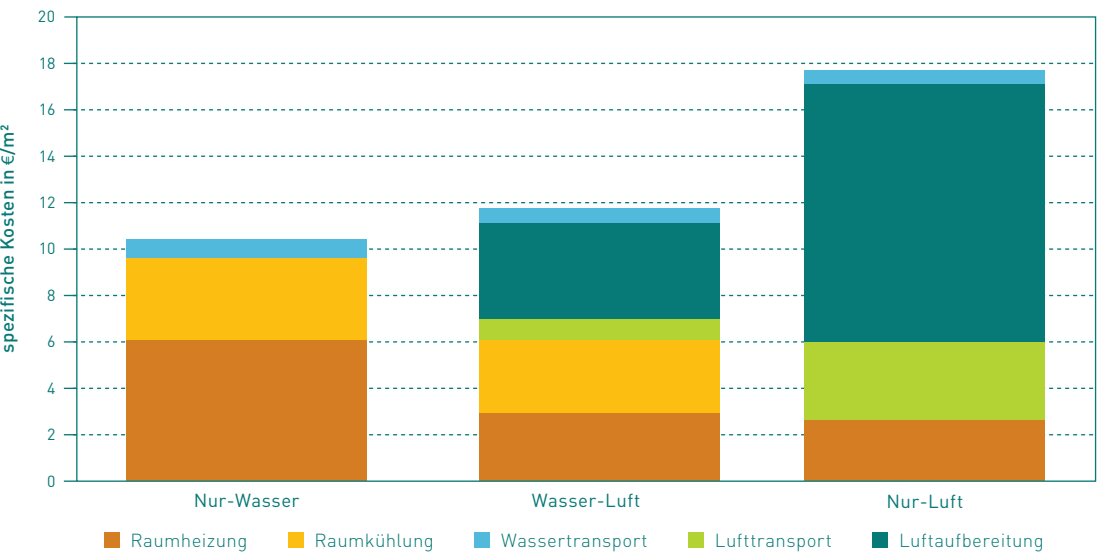


Abb. 18: Kostenvergleich verschiedenen Versorgungskonzepte in einem Bürogebäude

Einzelbüro	Kategorie	Grundfläche m² / Person	belegt	sehr schadstoffarm		schadstoffarm		nicht schadstoffarm	
				Gebäude	Gesamt	Gebäude	Gesamt	Gebäude	Gesamt
Einhaltung der SFP-Werte der EnEV 2013									
			l/s m²	l/s m²	l/s m²	l/s m²	l/s m²	l/s m²	l/s m²
Volumenstrom	I	10,0	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0
	II	10,0	0,7	0,3	1,0	0,7	1,4	1,4	2,1
	III	10,0	0,4	0,2	0,6	0,4	0,8	0,8	1,2
					W/m²		W/m²		W/m²
Elektr. Leistung SFP Zu+Ab	I				3,8		5,0		7,5
	II				2,5		3,5		5,3
	III				1,5		2,0		3,0
					W/m²		W/m²		W/m²
Heizleistung ohne WRG -14 auf 20°C	I				61,6		82,1		123,1
	II				41,0		57,5		86,2
	III				24,6		32,8		49,3
Betriebsstunden: Montag bis Freitag, 08.00 bis 18.00 Uhr									
					kWh/m² a		kWh/m² a		kWh/m² a
Elektr. Leistung SFP Zu+Ab	I				9,8		13,0		19,6
	II				6,5		9,1		13,7
	III				3,9		5,2		7,8
Heizleistung mit WRG	I				15,2		20,3		30,5
	II				10,7		14,2		21,3
	III				6,1		8,1		12,2
					€/m² a		€/m² a		€/m² a
Stromkosten (0,20 € /kWh)	I				2,0		2,6		3,9
	II				1,3		1,8		2,7
	III				0,8		1,0		1,6
Wärmekosten (0,10 € /kWh)	I				1,5		2,0		3,1
	II				1,1		1,4		2,1
	III				0,6		0,8		1,2

Tabelle 8: Energiekosten für Lüftungsanlagen

7.2 Versorgungs- und Regelungsstrategien unter energetischen Gesichtspunkten

7.2.1 Ventilator-Systemwirkungsgrad

Während früher wegen geringer Investitionskosten und niedriger Verbrauchskosten vorwiegend ein- oder mehrstufige Ventilatoren eingesetzt wurden, kommen im Neubaubereich heute fast nur noch drehzahlregelbare Ventilatoren zum Einsatz. Die Drehzahlregelung erfolgt dabei in Abhängigkeit der Motorbauart durch verschiedene Strategien. Für neue Ventilatoren gelten zudem Mindestanforderungen an die Effizienz nach der Richtlinie EU 327/2011 [16], die leistungsbezogene Mindestwirkungsgrade definiert. Der Gesamtwirkungsgrad (auch Systemwirkungsgrad) eines Luftfördersystems η_{sys} ergibt sich dabei aus dem Wirkungsgrad des Laufrades, des Motors, der Kraftübertragung und des Reglers.

$$\eta_{sys} = \eta_{Laufrad} \cdot \eta_{Motor} \cdot \eta_{Kraftübertragung} \cdot \eta_{Regler}$$

Unter Einbaubedingungen treten bei Ventilatorsystemen in RLT-Geräten Unterschiede zwischen Normkennlinie und Einbaukennlinie auf. Praktisch werden heute Maximalwerte von bis zu 65 % im optimalen Betriebspunkt erreicht. Untersuchungen an größeren Stichproben von RLT-Anlagen [17] zeigen aber, dass

Bestandsanlagen diese Werte zum Teil deutlich unterschreiten und damit ein sehr großes Energieeinsparpotential bieten. Die gewichteten Mittelwerte liegen gerade bei 38 % (Abluft) bzw. 42 % (Zuluft).

Komponente	Wirkungsgrad
Laufrad	
Rückwärtsgekrümmt	70 bis 75 %
Trommelläufer	50 bis 55 %
Kraftübertragung	
Direkt	100 %
Flachriemen	95 - 98 % (0,5 kW bis 20 kW)
Keilriemen	88 - 97 % (0,5 kW bis 20 kW)
Motor - Wirkungsgrad bei 5kW	
IE1	84 %
IE2	87 %
IE3 (EC-Motor)	89 %
IE4	91 %
Drehzahlregelung	
Transformator	90 %
Frequenzumrichter	96 %
EC-Motor	100 %

Tabelle 9: Zusammenstellung der Wirkungsgrade einzelner Komponenten

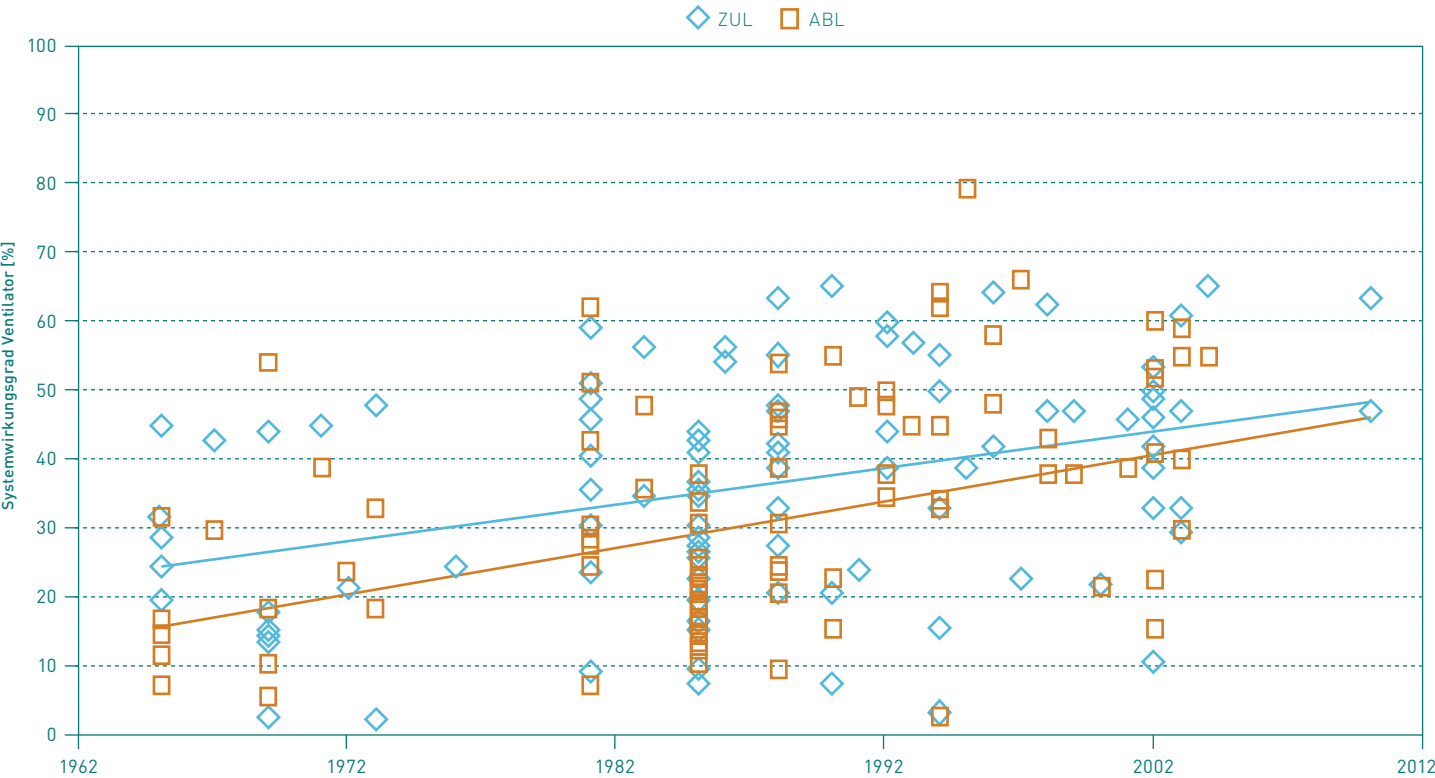


Abb. 19: Ventilator-Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit des Baualters [17]

7.2.2 Ventilator-Volumenstromregelung

Der Volumenstrom steht in 3. Potenz im Zusammenhang mit der Leistung der Ventilatoren.

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta p}{\rho \cdot \eta}$$

P - Leistung der Pumpe/ des Ventilators

V - zu fördernder Volumenstrom

m - zu fördernder Massestrom

Δp - zu überwindender Druckverlust

ρ - Dichte des Wassers/ der Luft

η - Wirkungsgrad der Pumpe/ des Ventilators und des dazugehörigen Motors

→ Beispiel: Durch die Reduzierung des Volumenstromes um 20 % halbiert sich der Ventilator-Energiebedarf.

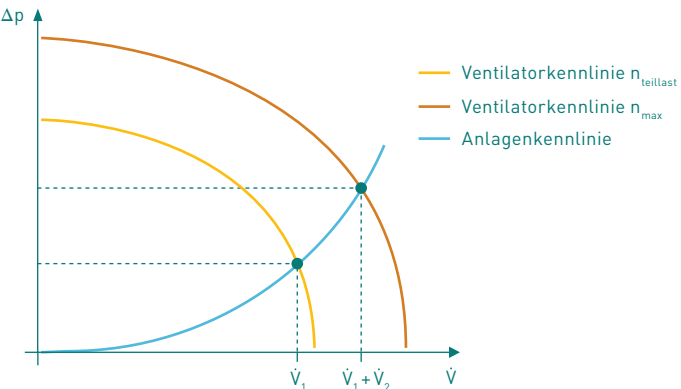


Abb. 20: Ventilator- und Anlagenkennlinie bei verschiedenen Luftvolumenströmen

7.2.3 Ventilator-Druckregelung

Bei RLT-Anlagen mit drehzahlregelbaren Ventilatoren und variablen Volumenstromreglern kann durch eine Verlegung der Drucksensoren an das Kanalende im Teillastbetrieb eine signifikante Reduzierung des Kanaldruckes und damit des Ventilator-Energiebedarfes erreicht werden.

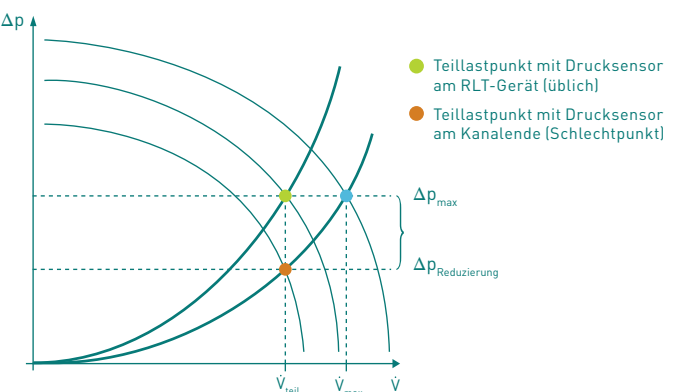


Abb. 21: Ventilator- und Anlagenkennlinie bei verschiedenen Druckregelungen

7.2.4 Dynamische Filterüberwachung

Die elektrische Antriebsenergie, die erforderlich ist, um den Widerstand der Luftfilter zu überwinden und somit die Güte der Zuluft zu gewährleisten, kann bis zu 70 % des gesamten Stromverbrauchs der Ventilatoren betragen und ist demzufolge nicht vernachlässigbar. Der übliche ausgeführte Standard der Filterüberwachung in Lüftungsanlagen ist binär. Das heißt, dass je nach geforderter Filtergüte und Nennluftmenge ein Maximalwert für den Druckverlust über den Filter definiert wird. Wird dieser Wert überschritten, wird ein entsprechender Differenzdruckgeber ausgelöst und eine Wartungsmeldung erzeugt.

Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden werden jedoch immer häufiger bedarfsabhängig mit unterschiedlichen Drehzahlen bzw. stufenlos geregelt. Ein Betrieb der Lüftungsanlage im Bereich der Nennluftmenge findet somit nur in Ausnahmefällen statt. Das heißt aber auch, dass die Filter im Lüftungsgerät den größten Teil des Jahres unterhalb der Nennluftmenge betrieben werden. Im Ergebnis wird ein bereits stark verschmutzter Filter im Teillastbereich einen Druckverlust aufweisen, der nicht zur Auslösung der Filterüberwachung führt, obwohl bei der Nennluftmenge dieser Grenzwert bereits erreicht wäre. Eine elegantere und wesentlich energieeffizientere Lösung zur Filterüberwachung von Lüftungsanlagen mit variabler Luftmengenregelung ist eine dynamische Filterüberwachung, bei der in Abhängigkeit des eingesetzten Filtermaterials für jede Luftmenge ein entsprechender maximaler Verschmutzungszustand des Filters parametrisiert und gemessen werden kann.

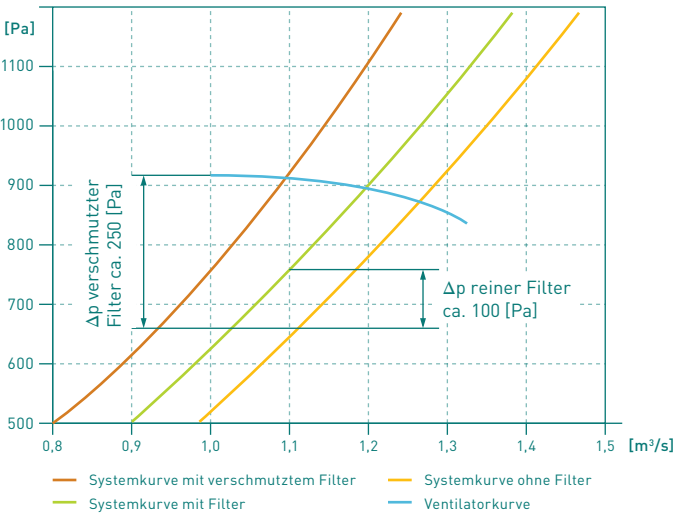


Abb. 22: Beispiel für die Änderung der Luftleistung in einer Anlage mit reinem bzw. verschmutztem Filter

Die Veränderung der Filterüberwachung durch ein dynamisches Überwachungsprinzip stellt häufig eine ausgesprochen wirtschaftliche Investition dar. Refinanzierungszeiträume für das eingesetzte Kapital von unter 2 Jahren sind nicht ungewöhnlich.

7.2.5 Zonen- oder Einzelraumregelung mit VVS

Die energetischen Vorteile der Einzelraumregelung mit variablem Volumenstrom (VVS) entstehen durch folgende Abhängigkeiten:

- Der Volumenstrom ändert sich proportional mit der Drehzahl:
$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$
- Die Drücke ändern sich proportional mit dem Quadrat der Drehzahl:
$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$
- Der Leistungsbedarf des Laufrades ändert sich proportional mit der dritten Potenz:
$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^3$$

Damit ergibt sich bei einer Verringerung des Luftvolumenstromes auf 50 % im Idealfall eine Reduzierung der elektrischen Leistung des Ventilators auf 12,5 %.

Die Tabelle 10 zeigt ein entsprechendes Beispiel. Die jährlichen Einsparungen beim Einsatz von VVS hängen vor allem von der Zeitdauer des reduzierten Volumenstromes ab. Es besteht eine Einsparung von 2.939 kWh für eine Zeitaufteilung von 30 % Voll- und 70 % Teillast. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung an Elektroenergie in Höhe von 62 %.

	Einheit	Ausgangsvariante Konstant-Volumenstrom	Vergleichsvariante Variabler-Volumenstrom VVS	
Anzahl Stunden	-	2.600	780	1.820
Volumenstrom	m³/h	10.000	10.000	5.000
Druckerhöhung	Pa	1.000	1.000	250
Wirkungsgrad	%	65	65	55
elektr. Leistung	W	1.806	1.806	191
Elektroenergiebedarf	kWh/a	4.694	1.408	348
Einsparung: 2.939 kWh/a				

Tabelle 10: Vergleich Konstanter und Variabler Volumenstrom

7.2.6 Temperatur- und Feuchtregelungsstrategien

Die Temperatur- und Feuchtregelungsstrategien müssen sich an der Nutzung orientieren. Während bei technologischen Prozessen häufig geringe Schwankungen gefordert sind, kann bei einer Nutzung durch die Menschen eine größere Akzeptanz von Temperatur- und Feuchteschwankungen vorausgesetzt werden. Die Regelung nutzt diese zugelassene Schwankungsbreite durch sogenannte Nullenergiebänder aus. Dadurch wird der Aufwand für die Luftaufbereitung reduziert.

Die Kombination von einzelnen Komponenten (z. B. Heizer, Be- feuchter) führt in der Folge zu einer Kombination von Zustands- änderungen. Diese können idealisiert einzeln im h,x-Diagramm dargestellt werden. Für die praktische Realisierung in einer RLT-Anlage ist es jedoch notwendig, die gegenseitigen Beein- flussungen und die Möglichkeiten der Regelung zu erkennen.

↓

Nach DIN 19226 [02.94] (zitiert in [19]22) Regelungs- und Steuerungstechnik in der Versorgungstechnik) gilt für die Regelung folgende Definition:

Regelung ist ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine Größe, die Regelgröße, erfasst, mit einer anderen Größe, der Füh- rungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Kennzeichen für das Regeln ist der geschlossene Wirkungsablauf, bei dem die Regelgröße im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst.

Für die Darstellung der Regelung werden häufig Sequenzen verwendet. Als Sequenzen bezeichnet man die Vorgehens- weise, in Abhängigkeit vom geforderten Wert einer Stellgröße, unterschiedliche Luftbehandlungselemente anzusteuern. Die Darstellung einer Sequenz erfolgt in Form von Kennlinien, durch die für jede Anlagenkomponente deren individuelle Stellgröße Y über den gesamten Stellbereich festgelegt wird. Gelegentlich wird auf der x-Achse auch die Regelgröße oder die Regelabwei- chung aufgetragen.

Generell beeinflussen sich die Temperatur- und die Feuchte- regelung. Die Abbildung 23 zeigt die Beeinflussung der relati- ven Feuchte allein durch Schwankungen der Temperatur. Bei einer zulässigen Temperaturschwankung von ±0,5 K ergibt sich bereits ein Unterschied in der relativen Feuchte zwischen 47 % und 50 %.

In Klimaanlage werden definitionsgemäß immer die Tempera- tur und die Feuchtigkeit geregelt. Für die Entfeuchtung kommen dabei häufig Luftkühler zum Einsatz, bei denen Kühlen und Entfeuchten zeitgleich erfolgt.

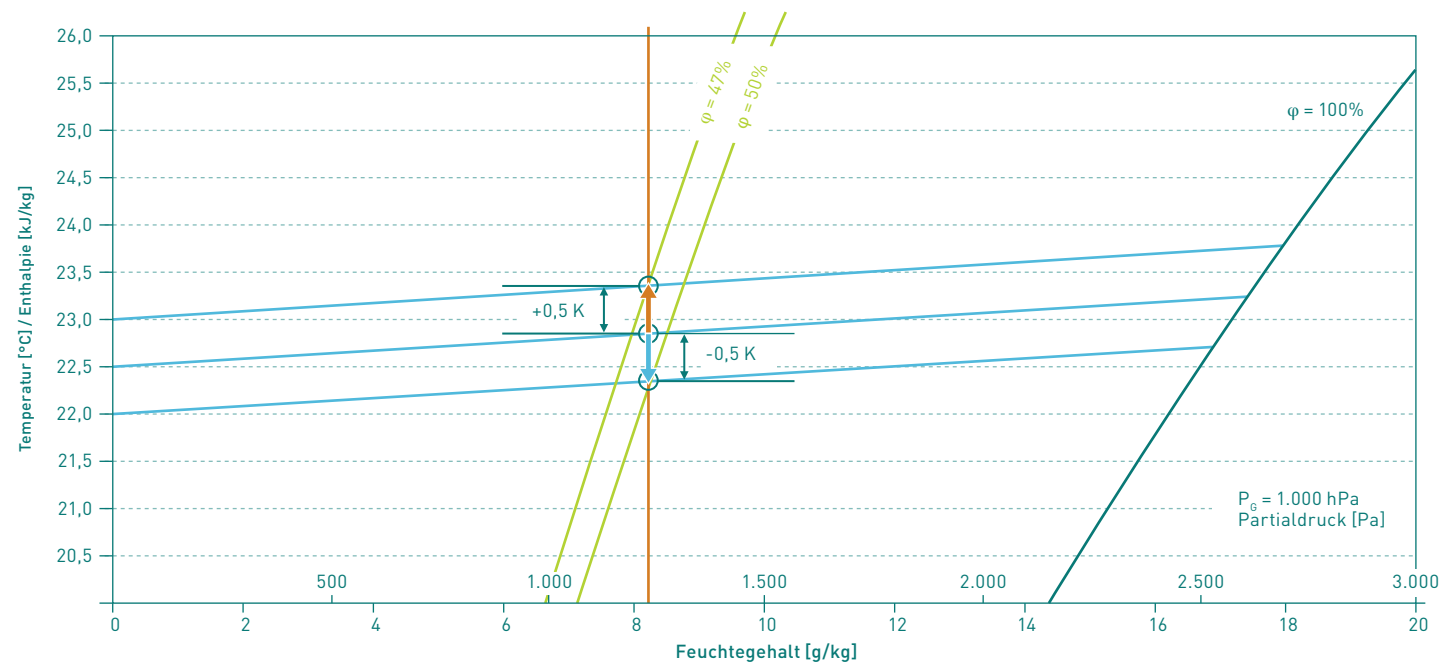


Abb. 23: Abhängigkeit der relativen Feuchte von der Temperaturkonstanz im Raum

Die Abbildung 23 zeigt die zwei prinzipiell möglichen Schaltungsvarianten von Luftkühlern. In der beischgeregelter Schaltung ergibt sich im Luftkühler ein konstanter Kaltwasser-

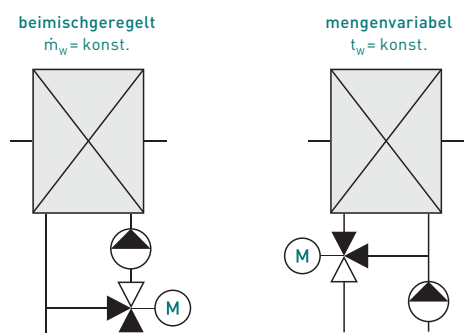


Abb. 24: Schaltungsvarianten der Luftkühler nach [22]

massenstrom. Die Anpassung der Luftaustrittstempertur an den Sollwert erfolgt durch Beimischung aus dem Rücklauf.

In der mengengeregelten Schaltung ist der Kaltwassermassenstrom variabel. Dafür bleibt die Kaltwassereintrittstempertur konstant.

Die Abbildung 24 zeigt den Verlauf der Zustandsänderung bei beischgeregelter Schaltung. Um z. B. eine Abkühlung der Luft um $\Delta t = 8 \text{ K}$ zu erreichen, muss eine Enthalpiedifferenz, d.h. eine spezifische Leistung von ca. $\Delta h = 8,3 \text{ kJ/kg}$ aufgewendet werden. Die Kaltwassertempertur kann vergleichsweise hoch sein.

Die Auswirkungen einer mengengeregelten Schaltung zeigt die Abbildung 25. Die Kaltwassertempertur liegt konstant bei z. B. $t_{w,k} = 6 \text{ °C}$. Dadurch kommt es sofort zu einer Entfeuchtung der Luft. Um die gleiche Abkühlung der Luft um $\Delta t = 8 \text{ K}$ zu erreichen, muss eine Enthalpiedifferenz von $\Delta h = 12,8 \text{ kJ/kg}$ aufgewendet werden. Zusätzlich sinkt die Leistungszahl einer Kältemaschine bei niedrigen Verdampfungstemperaturen.

Aus diesem Grund hat eine LA, bei der nur die Kühlung, d. h. die Temperaturabnahme, im Vordergrund steht immer mit einem beischgeregelter Luftkühler zu arbeiten.

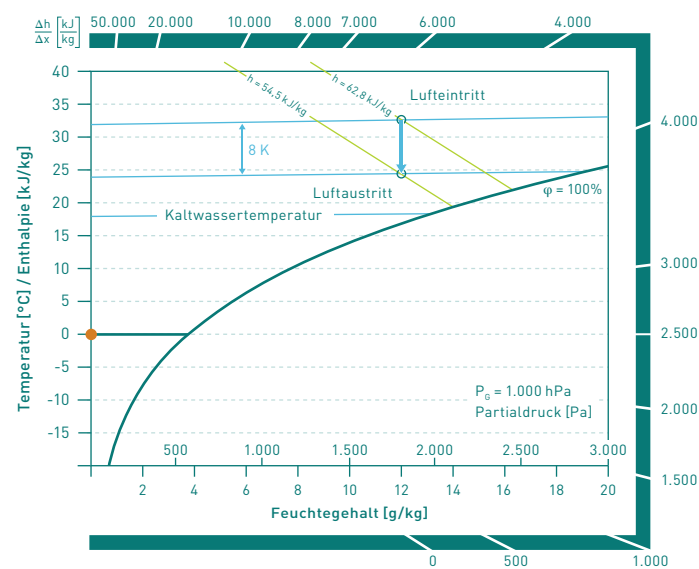


Abb. 25: Zustandsänderung der Luft bei beischgeregelter Schaltung

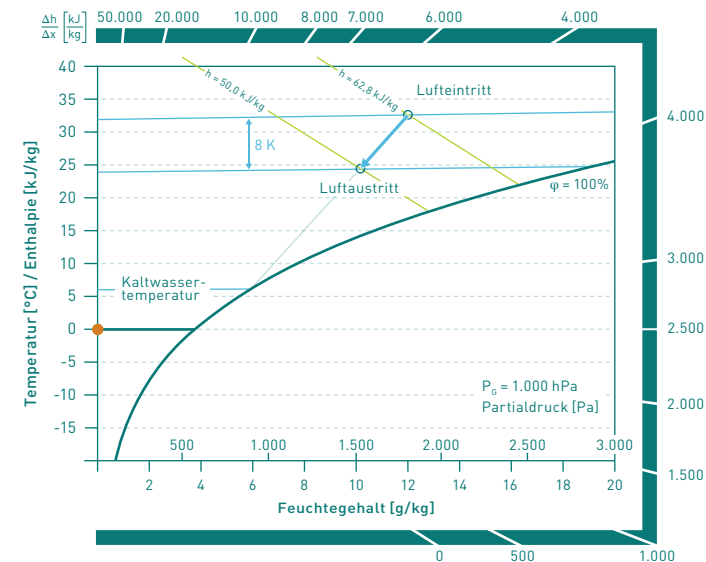


Abb. 26: Zustandsänderung der Luft bei mengengeregelter Schaltung

Für eine Klimaanlage, bei der auch die Entfeuchtung von Bedeutung ist, sollte daher die mengengeregelte Schaltung im Luftkühler zum Einsatz kommen.

7.2.7 Luftqualitätsregelung (Mischgas- oder CO₂-geführt)

Bei der Luftqualitätsregelung wird der Außenluftvolumenstrom entsprechend dem Sensorsignal reduziert. Die energetischen Einsparungen werden durch die verringerte elektrische Leistung der Ventilatoren (siehe VVS) und durch die eingesparte thermische Aufbereitungsenergie bestimmt. Die größte Verbreitung haben die CO₂-Sensoren gefunden, da CO₂ als guter Indikator für alle vom Menschen ausgehenden Luftverunreinigungen wirkt. Bei Mischgassensoren muss die Querempfindlichkeit in Bezug auf die Luftfeuchte beachtet werden.

7.3 Einfluss des Betriebes auf die Wirtschaftlichkeit und Gesamteffizienz von Lüftungsanlagen

7.3.1 Kanalundichtheiten

Die Hinweise zur Kanalundichtheit finden sich aktuell in der DIN EN 13779. Die Klassifizierung und die Prüfung der Dichtheit von runden Luftleitungen sind in EN 12237, die von rechteckigen Luftleitungen in EN 1507 angegeben. Die Dichtheitsklasse sollte so gewählt werden, dass die Undichtheit einen festgelegten Anteil des Luftvolumenstromes für die gesamte Anlage unter Betriebsbedingungen nicht übersteigt. Um übermäßige Energieverluste zu vermeiden und die vorgesehene Luftverteilung zu sichern, sollte dieser Anteil üblicherweise geringer als 2 % sein, was im Allgemeinen der Klasse B nach EN 12237 und EN 1507 entspricht.

Die vereinbarten Luftvolumenströme (z. B. der Außenluftvolumenstrom je Person) müssen im Aufenthaltsbereich eingehalten werden. Bei signifikanten Undichtheiten im Luftleitungssystem und in der Luftbehandlungseinheit muss der durch den Ventilator geförderter Luftvolumenstrom vergrößert werden. Der Elektroenergieaufwand steigt.

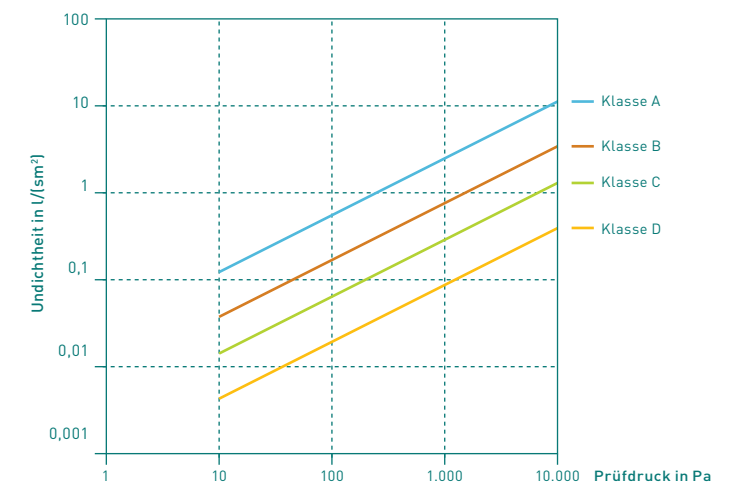


Abb. 27: Undichtheit in Abhängigkeit des Prüfdruckes entnommen aus DIN EN 13779

Die Überprüfung der Undichtheit von Kanälen erfolgt entsprechend DIN EN 12599 [23]. Bei großen und komplexen Luftleitungssystemen kann die Leckage nur an einem Teil der Anlage gemessen werden. Die Messung muss erfolgen, während die Leitung eingebaut wird und zugänglich ist. Sobald ein ausreichend großer Teil des Luftleitungssystems montiert ist, werden dessen Öffnungen verschlossen. Ein Ventilator, der über eine Messeinrichtung mit dem abgedichteten Luftleitungsbereich verbunden ist, erzeugt einen Über- bzw. Unterdruck zur Atmosphäre (Prüfdruck).

Der Prüfdruck wird auf einen der folgenden Werte eingestellt, wobei der Wert möglichst in der Mitte des mittleren Betriebsdrucks liegen sollte:

- 200 Pa, 400 Pa oder 1000 Pa als Überdruck bei Zuluftleitungen
- 200 Pa, 400 Pa oder 750 Pa als Unterdruck bei Abluftleitungen.

Die Energieverluste undichter Luftleitungen verhalten sich direkt proportional zum Leckagevolumenstrom. Dieser steigt mit

- sinkender Dichtheitsklasse,
- steigender Kanaloberfläche und
- steigendem Kanalinnendruck.

Insbesondere bei Anlagen mit ausgedehnten Leitungssystemen sollte daher eine möglichst hohe Dichtheitsklasse gewählt werden, um übermäßige Energieverluste zu vermeiden.

EN 16798 Teil 5-1 definiert ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Leckagevolumenstroms. Aufgrund der beschriebenen Abhängigkeiten ist dieser nicht für eine Vielzahl von RLT-Anlagen verallgemeinerungsfähig, sondern für jede RLT-Anlage im Einzelfall zu ermitteln.

7.3.2 Rohr- und Luftleitungs­dämmung

Für Kaltwasser- und Kälteverteilungen besteht eine Dämmpflicht seit EnEV 2009 gemäß Anlage 5. Eine prinzipielle Pflicht zur Dämmung von Luftkanälen besteht dagegen auch mit Vorliegen der EnEV 2014 nicht. In der Regel werden Außen- und Fortluftleitungen diffusionsdicht isoliert, um dem Kondensationschutz Rechnung zu tragen. Die Dämmstoffdicken sind dabei projektspezifisch in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte zu wählen und liegen oft nur im Bereich zwischen 5 und 25 mm.

Um Energieverluste von Leitungen mit Kälteträgern zu minimieren, kann es insbesondere bei der Verlegung in Bereichen mit hohen thermischen Wärmelasten (z.B. Dachböden, Fernwärmekanäle, Kollektorgänge) zweckmäßig sein, neben der Diffusionsdichtheit auf eine ausreichende Dämmwirkung zu achten. Das ist besonders dann wichtig, wenn der Kälteträger nur eine geringe Untertemperatur gegenüber dem versorgten Raum aufweist. Neben einschlägigen Richtlinien (z.B. VDI 2087) sind die Dämmmaßnahmen nach den Regeln der Wirtschaftlichkeit durchzuführen.

Zuluftleitungen werden daher üblicherweise mit Dämmstoffdicken von 30 bis 50 mm isoliert. Bei Abluftleitungen ist oft keine

Dämmung erforderlich. In Einzelfällen kann es jedoch sinnvoll sein, einen Wärmeeintrag in die Luftleitung durch Dämmung zu vermeiden (z.B. bei DEC-Anlagen). In anderen Fällen kann ein Wärmeeintrag ggf. den Wärmerückgewinnungseffekt verbessern.

Leitungssystem	Einsatzgebiet	Leistungsverlust bei Erwärmung
Luft 13°C (10K Untertemperatur)	Mindestluftwechsel	10 % pro K
Kaltwasser 6/12°C	Umluftkühlung	7 % pro K
Kaltwasser 16/20°C	Flächenkühlung	20 % pro K

Tabelle 11: Leistungsverluste pro K Temperaturerhöhung für verschiedene Leitungssysteme

7.3.3 Möglichkeiten zur Nachrüstung und Effizienzverbesserung

WRG-Nachrüstung

Die Nachrüstung einer Wärmerückgewinnungseinrichtung kann wirtschaftlich sein, insbesondere dann, wenn es sich um große Anlagen mit langen Betriebszeiten handelt. Bei kleinen Anlagen mit geringen Betriebszeiten liegt die Amortisationszeit dagegen oft über der technischen Nutzungsdauer. Abbildung 28 zeigt diese Nutzungsdauerüberschreitung für verschiedene Nachrüstlösungen in Abhängigkeit der Anlagenbaugröße und der Betriebszeit. Ist keine Nutzungsdauerüberschreitung ausgewiesen, liegt die Amortisationsdauer unter der technischen Nutzungsdauer.

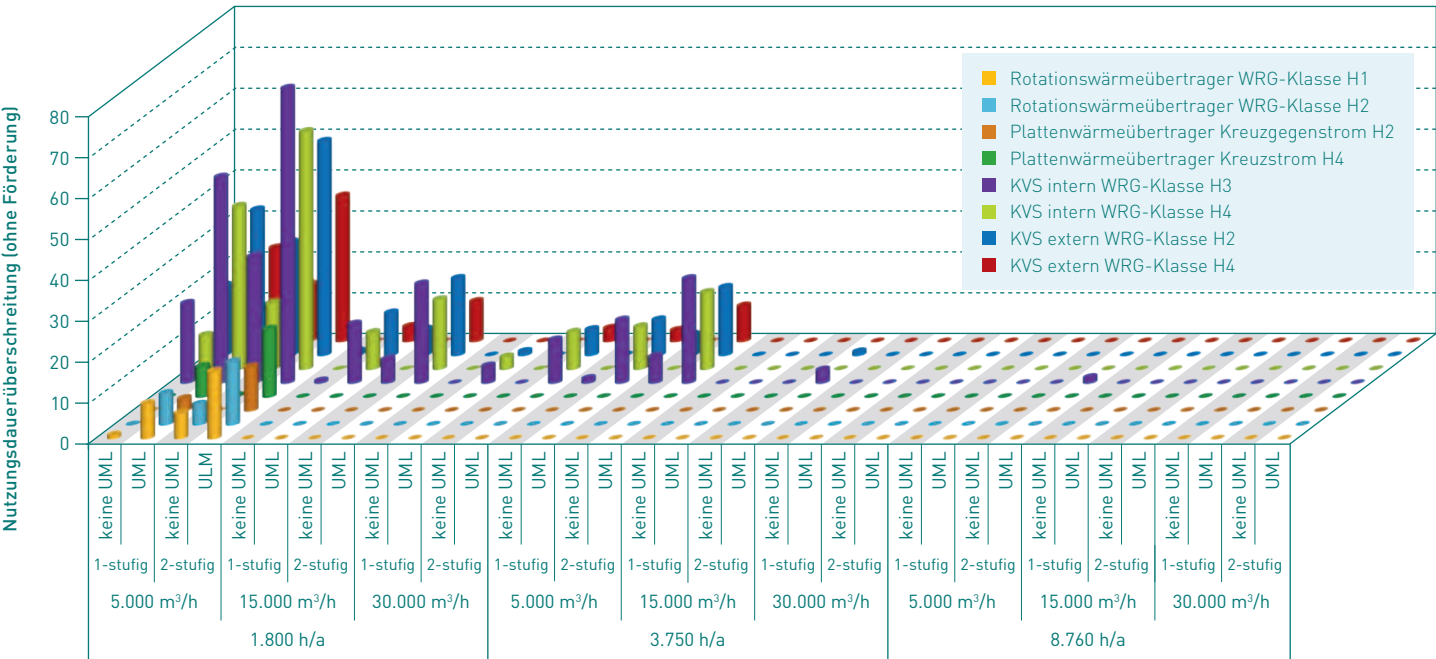


Abb. 28: Überschreitung der technischen Nutzungsdauer bei einer WRG-Nachrüstung * Die Absolutwerte der Nutzungsüberschreitung sind in Anlage 6 tabellarisch dargestellt.

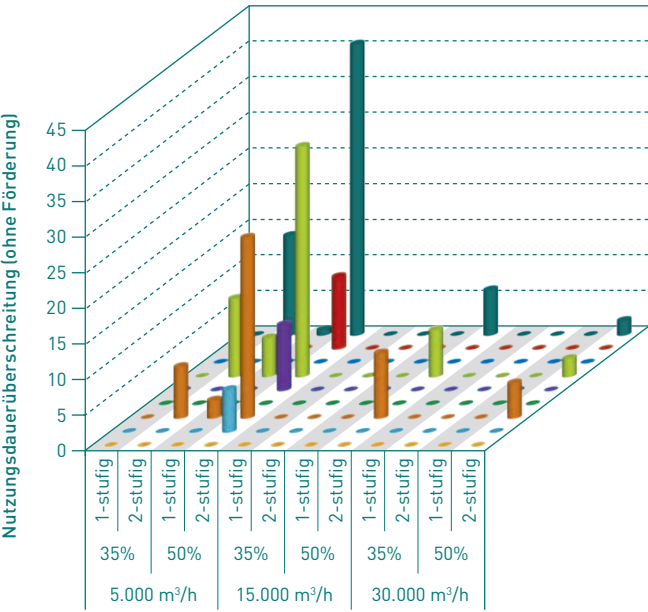


Abb. 29: Überschreitung der technischen Nutzungsdauer beim Austausch von Ventilatoren

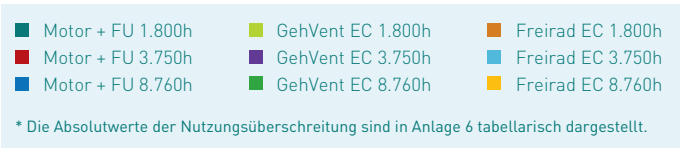
Bei größeren RLT-Anlagen (ca. 15.000 m³/h) mit mittleren Betriebsstunden (Büro mit 3750 h/a) liegen die Amortisationszeiten in Abhängigkeit der Nachrüstlösung zwischen 5 und 10 Jahren. Insgesamt gelten folgende Aussagen:

- oft keine Wirtschaftlichkeit bei kleinen Baugrößen mit geringen Betriebszeiten gegeben
- keine generelle Wirtschaftlichkeit einer bestimmten Nachrüstlösung gegeben
- WRG-Klasse (H1 ... H5) hat geringen Einfluss auf Amortisationsdauer
- Platzbedarf ist oft entscheidendes Investitionskriterium

Austausch von Ventilatoren

Ein Austausch der Ventilatoren in RLT-Bestandsgaräten führt in der Regel zu hohen Einsparungen an Verbrauchskosten. Im Zuge des Austauschs ist eine im Bestand oft nicht vorhandene variable Volumenstromregelung realisierbar. Oft kann in diesem Zusammenhang auch eine Anpassung der tatsächlich erforderlichen Luftvolumenströme vorgenommen werden.

Bei der praktischen Realisierung muss neben dem finanziellen Aufwand für den Umbau der Ventilatorkammer, auch die Integration in das MSR-Konzept (Einbau Messwertaufnehmer für die Regelgröße, Reglerbaustein, Programmierung und Einregulierung des RLT-Gerätes) kostenseitig betrachtet werden. Exemplarische Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, dass sich Lösungen, die eine stufige Luftmengenumschaltung in eine variable Volumenstromregelung überführen, in der Regel innerhalb der Nutzungsdauer der Ventilatoren amortisieren. Abbildung 29 zeigt die Nutzungsdauerüberschreitung für drei verschiedene



Austauschlösungen in Abhängigkeit der Anlagenbaugröße, der Betriebszeit und der Art und Effizienz (Ventilator 1-, 2-stufig, Systemwirkungsgrad 35 %, 50 %) der Bestandsventilatoren. Ist keine Nutzungsdauerüberschreitung ausgewiesen, liegt die Amortisationsdauer unter der technischen Nutzungsdauer. Die Absolutwerte der Nutzungsdauerüberschreitung sind in Anlage 6 tabellarisch dargestellt.

Folgende Austauschlösungen sind dargestellt:

- Austausch durch AC-Motor stetig mit Flachriemen und FU, einschl. MSR, Laufrad aus Bestand (Motor + FU)
- Austausch durch Gehäuseventilator mit EC-Motor direkt getrieben, Anpassung Ventilatorkammer, einschl. MSR (GehVent EC)
- Austausch durch freilaufendes Rad mit EC-Motor, Umbau Ventilatorkammer, einschl. MSR (Freirad EC)

Der Ventilatoraustausch ist innerhalb der technischen Nutzungsdauer immer wirtschaftlich, außer bei bereits 2-stufig regelbaren Bestandsventilatoren mit hoher Effizienz. Dort ist die Wirtschaftlichkeit nur bei mittleren und höheren Betriebsstunden gegeben. Dabei zeigen alle Austauschvarianten ein prinzipiell ähnliches Ergebnis. Die kostengünstigste Variante (Motor + FU), bei der nur der Motor mit Regler getauscht wird und das Laufrad erhalten bleibt, erreicht keine niedrigeren Amortisationszeiten, da nur eine geringere Effizienzverbesserung gegenüber den beiden Komplettaustauschvarianten erreicht wird. Bei größeren RLT-Anlagen (ab 15.000 m³/h) mit mittleren Betriebsstunden (z.B. Büro mit 3750 h/a) liegen die realen Amortisationszeiten in Abhängigkeit der Art und Effizienz des Bestandssystems zwischen 3 und 12 Jahren. Insgesamt gelten folgende Aussagen:

- keine generelle Wirtschaftlichkeit einer bestimmten Austauschlösung
- keine Wirtschaftlichkeit bei geringen Betriebsstunden und höherer Effizienz im Bestand
- Haupteinflussfaktor ist die Effizienz des Bestandssystems, die vor dem Austausch ermittelt werden muss

8.1 Anforderungen und Leistungsumfang

Die energetische Inspektion ist ein Prüfverfahren zur Feststellung der energetischen Qualität einer eingebauten Klimaanlage im Zusammenspiel mit dem klimatisierten Gebäudebereich. Die Anforderungen an eine Energetische Inspektion von Klimaanlage sind im §12 der Energieeinsparverordnung [2] definiert. Darin sind alle Informationen zu Geltungsbereichen, Art und Umfang der Tätigkeiten, einzuhaltenden Fristen und erforderlicher Fachkunde beschrieben.

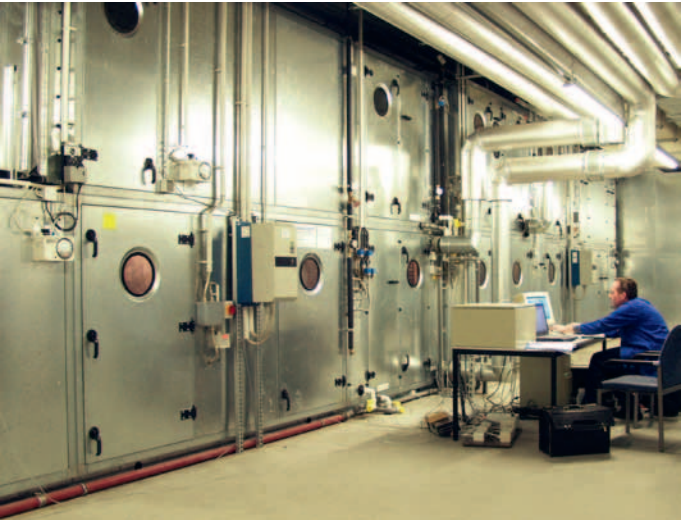


Abb.30: Energetische Inspektion

Demnach sind nur Klimaanlage mit einer Nennkälteleistung von mehr als 12 kW in festgelegten Fristen einer verpflichtenden Energetischen Inspektion zu unterziehen. Dazu gehören:

- nur-Luft-Klima- und -Teilklimaanlagen (RLT-Geräte)
- Raumkühlssysteme ohne Lüftungsfunktion (z.B. VRF-Systeme)
- kaltwasserbasierte Raumkühlssysteme zur stillen Kühlung (Kühldecken, Kühlsegel, Betonkernaktivierung) einschließlich deren Kälteerzeuger
- sonstige maschinelle Systeme zur Temperaturabsenkung wie z. B. direkte oder indirekte Verdunstungskühlung, freie Kühlung über Kühlturm, geothermische Kühlung, Grund- und Oberflächenwasserkühlung

Für diese Anlagensysteme sind bei einer Energetischen Inspektion folgende wesentlichen Tätigkeiten durchzuführen:

- Prüfung der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf
- Feststellung der Effizienz der wesentlichen Komponenten
- Überprüfung des Nutzungs- und Betriebsverhaltens von Gebäude und Anlage
- Erteilung von Ratschlägen in Form von kurz gefassten fachlichen Hinweisen

Im Inspektionsbericht sind die Ergebnisse zu dokumentieren, Verbesserungspotenziale aufzuzeigen, Handlungsempfehlungen zu benennen und unter Angabe von Namen und Berufsbezeichnung zu bescheinigen. Der Betreiber hat diese Bescheinigung über die Durchführung der Inspektion der nach Landesrecht prüfenden Behörde auf Verlangen vorzuzeigen.

Die im Oktober 2013 erschienene DIN SPEC 15240 [18] beschreibt umfassend alle Tätigkeiten zur Umsetzung der Energetischen Inspektion. Die Norm legt Inhalte und Mindestanforderungen an die Energetische Inspektion gemäß EnEV fest und kann neben Klimaanlage auch für reine Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden verwendet werden, für die gemäß EnEV 2009 keine Inspektionspflicht besteht.

In Form einer tabellarischen Übersicht sind die durchzuführen den Tätigkeiten in verpflichtende (Stufe A, B) und optionale Tätigkeiten (Stufe C) eingeteilt, wobei die Inspektionsstufe vertraglich vereinbart werden sollte.

Stufe A: Energetische Inspektion für einfache Klimaanlage; normaler Arbeitsumfang für kleine Gebäude und nur einzelne klimatisierte Nutzungsbereiche ohne RLT-Geräte zur Außenluftaufbereitung, zum Beispiel Split- und Multi-Split-Klimaanlagen, VRF Klimaanlage

Stufe B: Energetische Inspektion;normaler Arbeitsumfang für klimatisierte Nutzungsbereiche und Gebäude sowie umfangreiche Anlagentechnik mit vielen thermodynamischen Funktionen.

Stufe C: Optionale Leistungen bei umfassenden Inspektionen, die bei besonderen Verdachtsmomenten berücksichtigt werden können.

Im Rahmen der Inspektion des RLT-Gerätes sind in Stufe B zu- und abluftseitig der Luftvolumenstrom, die statische Druck-erhöhung und die Wirkleistung der Ventilatoren zu messen. In der Stufe A hingegen sind in der Regel keine Messungen erforderlich, da messtechnische Untersuchungen an Kälteanlagen zeitaufwendig und kostenintensiv sind. Hier sind anhand der Anlagenbauart und unter Verwendung der DIN V 18599-7 energetische Kennwerte abzuschätzen.

In Stufe A und B sind anhand der erhobenen Daten Teilenergiekennwerte für das RLT-Gerät und die Kältemaschine zu berechnen. Diese Kennwerte fassen den Energiebedarf aller Teildisziplinen (Heizen, Kühlen, Fördern, Hilfsenergien) zu einem einzelnen Kennwert zusammen und ermöglichen somit eine Aussage über die energetische Qualität des Gesamtsystems. Das erleichtert den Vergleich mehrerer Anlagen untereinander und hilft, die energetisch schlechteste Anlage einfach zu identifizieren.

Geschätztes Einsparpotenzial je Kategorie	Abschnitt DIN SPEC	niedrig	mittel	hoch
Kühllastreduzierung	5.6	kein Potenzial	Innere Lasten	Beleuchtung, Sonnenschutz, Luftvolumenstrom
Kühlleistung in Relation zur Kältemaschinenleistung	5.6.6	Gesamtkälteleistung entspricht Gesamtkühllast	Gesamtkälteleistung viel größer als Gesamtkühllast	
Luftvolumenstrom	6.2.1	III (nach DIN EN 15251)	II (nach DIN EN 15251)	I (nach DIN EN 15251)
Temperatur	6.2 und 6.3	III (nach DIN EN 15251)	II (nach DIN EN 15251)	I (nach DIN EN 15251)
Luftfeuchtigkeit	6.2 und 6.3	III (nach DIN EN 15251)	II (nach DIN EN 15251)	I (nach DIN EN 15251)
Regelparameter (Sollwerte)	7.3	keine Potenzial	Sollwerte Temperatur oder Feuchte	Sollwerte Temperatur und Feuchte
Betriebszeitanpassung	7.2	Keine	gering	bedeutend
Teilkenwert RLT-Gerät E_{RLT}	8	$\leq$ EnEV 2009	$\leq$ EnEV 2007	$>$ EnEV 2007
Kanalnetz (Dichtheitsklasse)	9	B,C	A	
Teilkenwert Kälteerzeugung E_{KK}	10	$\leq$ EnEV 2009	$\leq$ EnEV 2007	$>$ EnEV 2007
Kaltwasserverteilung $q_{Verteilung}$	11	$\leq$ EnEV 2009	$\leq$ EnEV 2007	$>$ EnEV 2007
Endgeräte	13	ok	Betriebsoptimierung möglich	
Beurteilung Klimakonzept	14	ok	Klimakonzept verbesserungswürdig	

Tabelle 12: Beurteilung des Gesamtsystems nach DIN SPEC 15240 [18]

Im Ergebnis der Inspektion ist ein Inspektionsbericht zu erstellen, der das energetische Gesamtkonzept bewertet und das Gesamtsystem beurteilt. Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind optionale Leistungen nach Stufe C. Für eine transparente Darstellung sind alle Einzelergebnisse zusammenfassend, wie in Tabelle 12 dargestellt, zu dokumentieren. Im Ergebnis erhält der Betreiber somit eine grafische Auswertung der Inspektions-ergebnisse, in der die grüne Bereiche einen guten energetischen Zustand dokumentieren, gelbe Bereiche Verbesserungspotenziale bieten und in den roten Bereichen ein dringender Handlungsbedarf abgeleitet werden kann.

8.2 Einsparpotenziale der energetischen Inspektion

Die energetische Inspektion selbst spart noch keine Energie, sie weist aber auf die vorhandenen Einsparpotenziale hin. Erste statistische Auswertungen von Inspektionsberichten [17] zeigen, dass durch die Energetische Inspektion große Potenziale erkannt werden können. Insbesondere im Bereich der Luftförderung liegen gerade bei alten RLT-Anlagen sehr große Einsparpotenziale (Seite 17, Abbildung 19).

Daher beziehen sich die statistisch am häufigsten auftretenden Modernisierungsempfehlungen auch auf Verbesserungen im

Bereich der Luftförderung. Das gilt sowohl im Bereich einer geringinvestiven betriebsorganisatorischen Maßnahme (Betriebsoptimierung) oder einer hochinvestiven Austauschmaßnahme (Komponententausch).

Bereits bei der Umsetzung aller Maßnahmen zur Betriebsoptimierung lassen sich im Schnitt bis zu 28 % Energie einsparen. Werden zusätzlich auch ineffiziente Komponenten ausgetauscht, kann der Energieverbrauch der Klimaanlage nahezu halbiert werden.

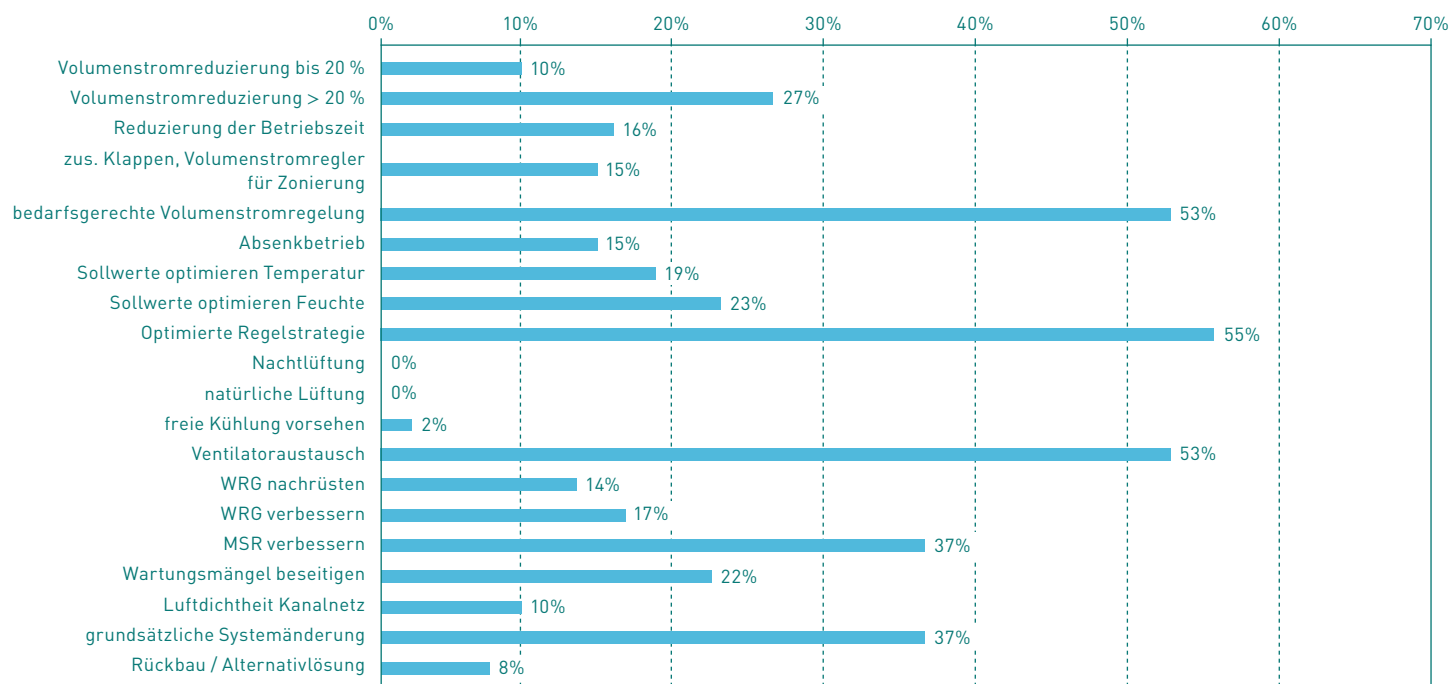


Abb. 31: Häufigkeit von Modernisierungsempfehlungen an RLT-Anlagen [17]

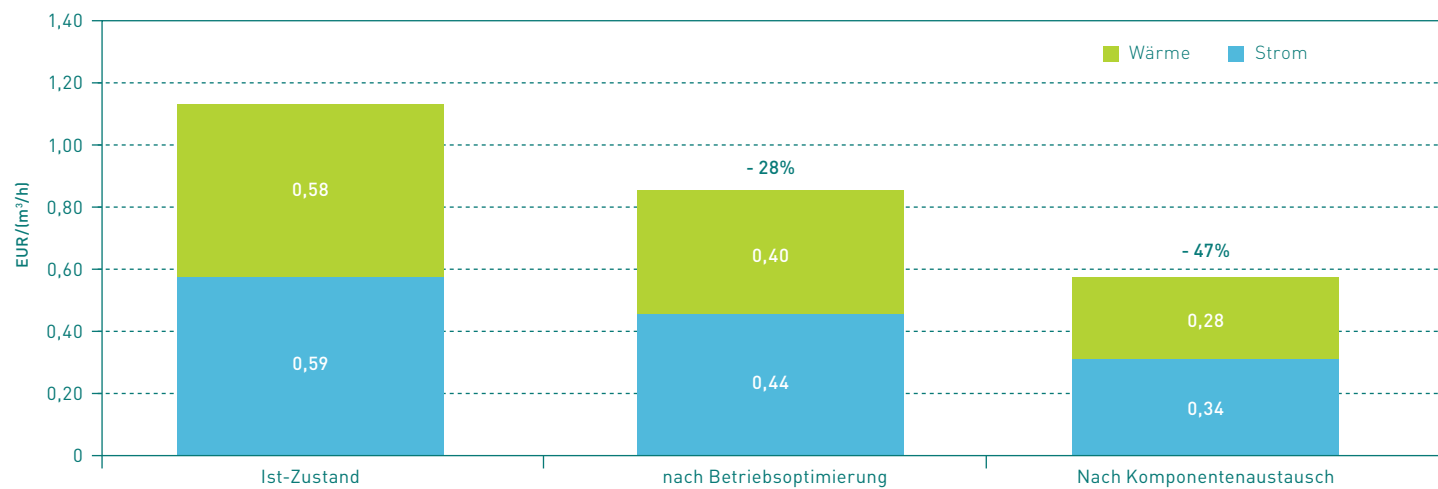


Abb. 32: Maximales spezifisches Energiekosten-Einsparpotenzial [17]

8.3 Weitere Anforderungen an RLT-Anlagen nach EnEV §15

Beim erstmaligen Einbau oder der Erneuerung von RLT-Anlagen mit mehr als 12 kW Nennkälteleistung bzw. mehr als 4.000 m³/h sind folgende Grenzwerte einzuhalten:

Strombedarf

- Begrenzung der spezifischen Ventilatorleistung auf SFP 4 („Specific Fan Power“) nach DIN EN 13779

Be- und Entfeuchtung

- Befeuchter müssen regelbar sein (Verdunstungs-befeuchter)
- Luftfeuchte muss direkt gemessen werden (keine Taupunktregelung)
- Sollwerte für Befeuchtung und Entfeuchtung müssen getrennt einstellbar sein

Volumenstromregelung

- Bedarfsgerechte Volumenstromregelung bei Anlagen → 9 m³/h je m² Nutzfläche
- Voraussetzung: geeignete Indikatoren (Bsp.: Zeit, Belegung, Last, CO₂)

Sonstige Anforderungen

- Wärmerückgewinnung Klassifizierung H3 nach DIN EN 13053
- Dämmung von Kaltwasserleitungen

8.4 Anforderungen des EEWärmeG §7

Gemäß EEWärmeG [21] ist in Neubauten ein Mindestanteil erneuerbarer Energien für die Deckung des Heiz- und Kühlenergiebedarfes einzusetzen. Als erneuerbare Energien zählen dabei:

- Geothermie,
- solare Strahlungsenergie,
- feste, flüssige oder gasförmige Biomasse,
- der Luft oder dem Wasser entnommene Umweltwärme (außer Abwärme aus technischen Prozessen oder baulichen Anlagen).

Können die vorgegebenen Anteile an erneuerbaren Energien nicht realisiert werden, sind sogenannte Ersatzmaßnahmen zulässig, die im §7 definiert sind. Dazu gehört auch die Nutzung von Abwärme durch raumlüfttechnische Anlagen in Wärmerückgewinnungssystemen (WRG), wenn

- der Wärmerückgewinnungsgrad der Anlage mindestens 70 % beträgt und
- die Leistungszahl (Verhältnis aus genutzter Wärme und Stromeinsatz für die WRG) mindestens 10

beträgt. Bei guter Auslegung der Wärmerückgewinnungssysteme können diese somit einen anteiligen Beitrag der Erfüllung der Anforderungen des EEWärmeG leisten.

[1]

Franzke, U.; Schiller, H.: Untersuchungen zum Energieeinsparpotenzial der Raumluftechnik in Deutschland. ILK-B-31-11-3667. 2011

[2]

Energieeinsparverordnung, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden

[3]

DIN V 18599 Teile 1 bis 11 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung 2011

[4]

Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) und Arbeitsstättenrichtlinien (ASR) des Bundes, ASR 3.5 - Raumtemperatur

[5]

AMEV-Richtlinie RLT-Anlagenbau 2011, Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude, Broschüre Nr. 111

[6]

Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), überarbeitete Fassung April 2013

[7]

Richtlinie zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer, 05.12.2008

[8]

DIN EN 15251 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung, 08/ 2007

[9]

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

[10]

DIN EN 16798 Teil 1 bis 18, Energieeffizienz von Gebäuden, Erscheinungsdatum Weißdruck in Deutscher Fassung voraussichtlich im Frühjahr 2016

[11]

EU-Verordnung Nr. 1253/2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen, 07.07.2014

[12]

Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Offenbach im Juli 2011

[13]

VDI 4710 Blatt 3: Meteorologische Grundlagen für die technische Gebäudeausrüstung. t,x-Korrelationen der Jahre 1991 bis 2005.

[14]

Trogisch, A.: Planungshilfen Lüftungstechnik; 5. Erweiterte Auflage, 2015, VDE-Verlag, Berlin, Offenbach

[15]

DIN SPEC 13779, Nationaler Anhang zu DIN EN 13779:2007-09, Deutsche Fassung, 12/2009

[16]

VERORDNUNG (EU) Nr. 327/2011 im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Ventilatoren, die durch Motoren mit einer elektrischen Eingangsleistung zwischen 125 W und 500 kW angetrieben werden, 30. März 2011

[17]

Schiller, H.; Mai, R.; Händel, C.: Chancen der energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche; Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben der Forschungsinitiative Zukunft-Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung, (Aktenzeichen II3-F20-11-1-165 / SWD-10.08.18.7-12.09), ILK-B-31-13-3819, 13.03.2013

[18]

DIN SPEC 15240: Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden -Energetische Inspektion von Klimaanlagen, Ausgabe 10/2013, Beuth-Verlag GmbH, Berlin

[19]

Franzke, U.; Finke, U.: Raumtemperatur und Luftqualität in Schulräumen. GI – GebäudeTechnik / InnenraumKlima, Verlag DIV Deutscher Industrieverlag GmbH. 2013; Jahrgang 134, Seite 300 - 309

[20]

VDI 3804: Raumluftechnik - Bürogebäude (VDI-Lüftungsregeln)

[21]

Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich - Erneuerbare-Energie-Wärme-Gesetz (EEWärmeG), Ausgabe 2011

[22]

Arbeitskreis der Professoren für Regelungstechnik in der Versorgungstechnik (Hrsg.): Regelungs- und Steuerungstechnik in der Versorgungstechnik, 2010, 6. Auflage, VDE VERLAG, Berlin, Offenbach

[23]

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

Abb. 1:	Lebenszyklus eines Gebäudes	3	Abb. 20:	Ventilator- und Anlagenkennlinie bei verschiedenen Luftvolumenströmen	18
Abb. 2:	Einteilung Deutschlands in 15 TRY-Regionen. Entnommen aus [12]	4	Abb. 21:	Ventilator- und Anlagenkennlinie bei verschiedenen Druckregelungen	18
Abb. 3:	Auslegungsbedingungen für den Standort Potsdam nach VDI 4710 Blatt 3	4	Abb. 22:	Beispiel für die Änderung der Luftleistung in einer Anlage mit reinem bzw. verschmutztem Filter	18
Abb. 4:	Behaglichkeitsbereich nach VDI 6022 Blatt 3	5	Abb. 23:	Abhängigkeit der relativen Feuchte von der Temperaturkonstanz im Raum	20
Abb. 5:	Zuordnung der neuen Normenreihe EN 16798	6	Abb. 24:	Schaltungsvarianten der Luftkühler nach [22]	20
Abb. 6:	Aufsplittung des SFP-Wertes nach EN 16798-3	6	Abb. 25:	Zustandsänderung der Luft bei beimischgeregelter Schaltung	20
Abb. 7:	Raumlufttemperatur in Abhängigkeit der Fassadenorientierung und des Sonnenschutzes	7	Abb. 26:	Zustandsänderung der Luft bei mengengeregelter Schaltung	21
Abb. 8:	Heizenergiebedarf in Abhängigkeit der Raumluftkategorie und der Schadstoffklasse des Gebäudes	7	Abb. 27:	Undichtheit in Abhängigkeit des Prüfdruckes entnommen aus DIN EN 13779	21
Abb. 9:	Abweichung der Raumlufttemperatur nach DIN EN 15251	8	Abb. 28:	Überschreitung der technischen Nutzungsdauer bei einer WGR-Nachrüstung	22
Abb. 10:	Lüftungszentrale in einem klassischen Nichtwohngebäude	9	Abb. 29:	Überschreitung der technischen Nutzungsdauer beim Austausch von Ventilatoren	23
Abb. 11:	Einteilung der Raumluftechnik	10	Abb. 30:	Energetische Inspektion	24
Abb. 12:	Einteilung der RLT-Anlagen in Anlehnung an DIN V 18599 Teil 7	10	Abb. 31:	Häufigkeit von Modernisierungsempfehlungen an RLT-Anlagen [17]	26
Abb. 13:	Bezeichnungen der Luftvolumenströme entsprechend der europäischen Normung	10	Abb. 32:	Maximales spezifisches Energiekosten-Einsparpotenzial [17]	26
Abb. 14:	Entwicklung der Raumlufttemperatur über der Höhe, entnommen aus VDI 3804 [20]	11			
Abb. 15:	Verlauf der Verdunstungskühlung	13			
Abb. 16:	Abminderungsfaktoren nach DIN V 18599-3 für eine Teilklimaanlage mit indirekter Verdunstungskühlung	13			
Abb. 17:	Gesamtenergiebedarf Wärme, Kälte, Dampf nach DIN V 18599-3	14			
Abb. 18:	Kostenvergleich verschiedenen Versorgungskonzepten in einem Bürogebäude	15			
Abb. 19:	Ventilator-Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit des Baualters [17]	17			

Tabelle 1:	Berechnung des notwendigen Außenluftvolumenstromes	5	Anlage 1:	24-Stundenwerte für Potsdam. Korrelation Temperatur-Feuchtegehalt nach VDI 4710 Blatt 3	31
Tabelle 2:	Empfohlene CO ₂ -Konzentration und Außenluftvolumenströme nach DIN EN 13779	5	Anlage 2:	Nationale Definition von Klima- und Lüftungsanlagen nach DIN SPEC 13779; Zusammenhang DIN 276 – DIN SPEC 13779	33
Tabelle 3:	Empfohlene Filterklassen nach VDI 3803 Blatt 4	5	Anlage 3:	Strömungsformen aus VDI 3804	34
Tabelle 4:	Bewertungskriterien der thermischen Behaglichkeit nach ISO 7730	5	Anlage 4:	46 Anlagenvarianten der DIN V 18599-3	35
Tabelle 5:	Übersicht über die Varianten	8	Anlage 5:	Spezifische Energiekennwerte Wärme, Kälte, Dampf nach DIN V 18599-3 (Auszug)	36
Tabelle 6:	Europäische Definition von Klima- und Lüftungsanlagen nach EN 16798-3	10	Anlage 6:	Überschreitung der technischen Nutzungsdauer (Tabellenwerte absolut)	37
Tabelle 7:	Arten von Wärmerückgewinnungssystemen	12		Überschreitung der technischen Nutzungsdauer beim Austausch von Ventilatoren (negative Werte: Unterschreitung der technischen Nutzungsdauer → Variante wirtschaftlich darstellbar)	38
Tabelle 8:	Energiekosten für Lüftungsanlagen	16			
Tabelle 9:	Zusammenstellung der Wirkungsgrade einzelner Komponenten	17			
Tabelle 10:	Vergleich Konstanter und Variabler Volumenstrom	19			
Tabelle 11:	Leistungsverluste pro K Temperaturerhöhung für verschiedene Leitungssysteme	22			
Tabelle 12:	Beurteilung des Gesamtsystems nach DIN SPEC 15240 [18]	25			

Anlage 1: 24-Stundenwerte für Potsdam. Korrelation Temperatur-Feuchtegehalt nach VDI 4710 Blatt 3

Korrelation Lufttemperatur t (in $^{\circ}\text{C}$) / Wasserdampfgehalt x (in g/kg tr. Luft); sommerliche Enthalpiesummen

Tabelle 3.4 - Potsdam; Zeitraum 1991 bis 2005; p = 1004 hPa

Tabelle 3.4.1 - Mittlere jährliche Anzahl der Fälle, 24 stündliche Messwerte je Tag

y-Achse: Temperaturskala von -24 °C bis 39 °C

Summe der „Zehntelstunden“, an denen die entsprechende Temperatur im Jahresdurchschnitt erreicht wird. In der äußeren rechten Spalte werden die Werte von „hohen Temperaturen“ bzw. zu „niedrigen Temperaturen“ zu Summenhäufigkeiten kumuliert. Dabei wird erkennbar, wie häufig eine bestimmte Temperatur pro Jahr über- oder unterschritten wird.

x-Achse: Skala des Wasserdampfgehalts von 0 bis 19 g/kg

Ähnlich wie bei den Temperaturen werden auch bei den Feuchten in zwei horizontalen Skalen die Summen der jährlichen Zehntelstunden in dem jeweiligen Feuchtebereich und die Summenhäufigkeiten für $x = 0 \text{ g/kg}$ bis $x = 19 \text{ g/kg}$ dargestellt.

t/x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Summe	Summen- häufigkeit
39																					0	0
38								1	1												2	2
37					1		1			1											3	5
36						1	1	1	2	1											6	11
35							1	3	2	1	1	1	1	1							11	22
34							3	1	5	7	1	4	2	2	1					1	27	49
33							2	7	2	5	7	4	2	1	1						31	80
32						2	11	9	9	15	13	14	5	3	1	1					83	163
31						1	13	13	25	16	15	22	4	10	5	1					125	288
30					2	11	15	22	32	35	23	23	15	9	6						193	481
29						11	27	43	37	42	40	30	21	17	3	1					272	753
28					3	22	15	50	63	62	46	33	28	18	7	1					368	1.121
27				1	11	21	19	67	73	65	73	53	37	20	11	5					478	1.599
26					13	29	32	79	102	81	81	59	40	32	17	1					592	2.191
25				1	14	35	41	88	113	130	107	66	49	35	11	3	1				720	2.911
24				5	27	38	91	99	129	141	127	100	61	43	16	5		1			883	3.794
23				3	15	45	91	143	159	173	157	106	76	45	11	2	1				1.027	4.821
22				3	19	53	94	173	186	201	153	145	87	59	22	4	1				1.200	6.021
21			3	13	32	63	107	239	251	223	213	163	104	39	16	7	1				1.474	7.495
20			5	14	41	73	148	245	325	273	248	189	132	68	34	7					1.802	9.297
19			3	17	58	86	187	281	355	329	273	219	135	92	25						2.060	11.357
18		1	4	25	53	109	217	341	443	398	331	257	194	105							2.478	13.835
17			2	33	77	143	267	410	522	433	351	289	303								2.830	16.665
16			13	42	69	181	303	460	581	478	438	501	37								3.103	19.768
15		1	13	55	89	204	332	564	707	550	725	219									3.459	23.227
14		1	7	55	99	226	366	669	758	718	643										3.542	26.769
13		1	15	68	129	281	491	769	853	1.056	25										3.688	30.457
12		1	24	87	166	314	612	927	1.321	361											3.813	34.270
11		3	29	99	197	399	739	1.047	1.157												3.670	37.940
10	1	3	29	123	260	539	828	1.506	214												3.503	41.443
9		1	43	169	365	737	1.035	1.021													3.371	44.814
8		6	50	208	465	965	1.441	171													3.306	48.120
7		10	71	221	697	1.281	1.170														3.450	51.570
6		8	88	268	954	1.859	333														3.510	55.080
5		11	105	403	1.316	1.789															3.624	58.704

t/x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Summe	Summen- häufigkeit
4		8	143	587	1.827	1.004															3.569	62.273
3		14	166	825	2.561	17															3.583	65.856
2		17	175	1.154	2.223																3.569	69.425
1		19	225	1.872	1.243																3.359	72.784
0		23	301	3.271	86																3.681	76.465
-0		21	454	2.204																	2.679	79.144
-1		36	700	1.377																	2.113	81.257
-2		39	1.027	547																	1.613	82.870
-3	3	72	1.089	15																	1.179	84.049
-4	2	99	798																		899	84.948
-5	1	122	600																		723	85671
-6	2	175	363																		540	86211
-7	1	295	109																		406	86616
-8	3	281																			284	86900
-9	1	250																			251	87151
-10	5	156																			161	87312
-11	6	125																			131	87443
-12	2	72																			74	87517
-13	4	58																			62	87579
-14	1	35																			36	87615
-15	10	12																			22	87637
-16	10																				10	87647
-17	13																				13	87660
-18	2																				2	87662
-19																					0	87662
-20																					0	87662
-21																					0	87662
-22																					0	87662
-23																					0	87662
-24																					0	87662

Summe	67	1.976	6.654	13.765	13.112	10.539	9.127	9.449	8.427	5.795	4.091	2.497	1.333	599	187	38	4	1	0	1
-------	----	-------	-------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----	-----	----	---	---	---	---

Summehäufigkeit	67	2.043	8.697	22.462	35.574	46.113	55.240	64.689	73.116	78.911	83.002	85.499	86.832	87.431	87.618	87.656	87.660	87.661	87.661	87662
-----------------	----	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------

Summenhäufigkeit der sommerlichen Enthalpien (in Zehntelstunden)

Enthalpie (kJ/kg tr.L.)	≥ 80	≥ 78	≥ 76	≥ 74	≥ 72	≥ 70	≥ 68	≥ 66	≥ 64	≥ 62	≥ 60	≥ 58	≥ 56	≥ 54	≥ 52	≥ 50	≥ 48	≥ 46	≥ 44	≥ 42
-------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Summehäufigkeit	1	1	1	1	3	6	18	50	116	228	434	750	1.231	1.840	2.769	3.890	5.503	7.384	9.663	12.750
-----------------	---	---	---	---	---	---	----	----	-----	-----	-----	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

Anlage 2: Nationale Definition von Klima- und Lüftungsanlagen nach DIN SPEC 13779

Kategorie	Filterung	Thermodynamische Funktion					Benennung
		Lüftung	Heizung	Kühlung	Befeuchtung	Entfeuchtung	
THM - C0	x	x	—	—	—	—	Einfache Belüftungsanlage
THM - C1	x	x	x	—	—	—	Lüftungsanlage mit der Funktion Heizen oder Luftheizen
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	—	von der Anlage nicht beeinflusst					
	x	von der Anlage geregelt und im Raum sichergestellt					
	(x)	durch die Anlage beeinflusst, jedoch ohne Garantiewert im Raum					
	THM	Thermodynamische Funktion der Anlage					

Zusammenhang DIN 276 – DIN SPEC 13779

Bezeichnung	Kostengruppe nach DIN 276	Kategorie nach DIN SPEC 13779
Lüftungsanlagen	431	THM-C0, THM-C1
Teilklimaanlagen	432	THM-C2, THM-C3, THM-C4
Klimaanlagen	433	THM-C5
Kälteanlagen	434	nicht erfasst

Anlage 3: Strömungsformen aus VDI 3804

Einbauort	Strömungsform	Luftführung	Maximale Kühllast (W/m²)	Temperaturdifferenz Zuluft/Raum in 1,10m Höhe	Temperaturdifferenz Zuluft/Abluft	Lüftungseffektivität	Art der Luftdurchlässe
Decke	ML		≤ 60	-3 bis -5	-3 bis -5	1	tangential über Schlitz
			≤ 100	-8 bis -12	-8 bis -12	1	Drall- oder hochind. Schlitzdurchlass
	MQL		≤ 80	-6 bis -8	-7 bis -10	1,2	hochind. Schlitzdurchlass
Boden	MQL		≤ 100	-6 bis -8	-8 bis -12	1,5	Bodendralldurchlass
	QL		≤ 40	-1 bis -3	-2 bis -7	2	Sockel- oder runder Bodendurchlass
Wand	ML		≤ 60	-4 bis -6	-4 bis -6	1	Flurwandschlitz oder Gitter
	MQL		≤ 60	-6 bis -8	-7 bis -10	1,2	Schlitzdurchlass
	QL		≤ 40	-1 bis -4	-2 bis -8	2	Flächendurchlass
Fassade	ML		≤ 60	-4 bis -6	-4 bis -6	1	Schlitz- bzw. Fensterblasanlage
	MQL		≤ 80	-6 bis -8	-7 bis -10	1,2 bis 1,5	Drall-Induktivdurchlass
	QL		≤ 40	-1 bis -3	-2 bis -7	2	Flächendurchlass

Anlage 4: 46 Anlagenvarianten der DIN V 18599-3

Variantennummer	Feuchteanforderungen			Befeuchter-Typ			WRG-Typ			WRG-Größe		
	keine	mit Toleranz	ohne Toleranz	Verdunstung, nicht regelbar	Verdunstung, regelbar	Dampf	ohne	nur Wärme	Wärme + Feuchte	45%	60%	75%
1	x						x					
2	x							x		x		
3	x							x			x	
4	x							x				x
5		x		x			x					
6		x		x				x		x		
7		x		x				x			x	
8		x		x				x				x
9		x		x					x	x		
10		x		x					x		x	
11		x		x					x			x
12		x			x		x					
13		x			x			x		x		
14		x			x			x			x	
15		x			x			x				x
16		x			x				x	x		
17		x			x				x		x	
18		x			x				x			x
19		x				x	x					
20		x				x		x		x		
21		x				x		x			x	
22		x				x		x				x
23		x				x			x	x		
24		x				x			x		x	
25		x				x			x			x
26			x	x			x					
27			x	x				x		x		
28			x	x				x			x	
29			x	x				x				x
30			x	x					x	x		
31			x	x					x		x	
32			x	x					x			x
33			x		x		x					
34			x		x			x		x		
35			x		x			x			x	
36			x		x			x				x
37			x		x				x	x		
38			x		x				x		x	
39			x		x				x			x
40			x			x	x					
41			x			x		x		x		
42			x			x		x			x	

Varianten- nummer	Feuchteanforderungen			Befeuchter-Typ			WRG-Typ			WRG-Größe		
	keine	mit Toleranz	ohne Toleranz	Verdunstung, nicht regelbar	Verdunstung, regelbar	Dampf	ohne	nur Wärme	Wärme + Feuchte	45%	60%	75%
43			x			x		x				x
44			x			x			x	x		
45			x			x			x		x	
46			x			x			x			x

Anlage 5: Spezifische Energiekennwerte Wärme, Kälte, Dampf nach DIN V 18599-3 (Auszug)

Variantennummer	Feuchteanforderungen			Befeuchter-Typ			WRG-Typ			Rückwärmzahl			Energiekennwert für $\theta_{v, \text{mech}} = 18\text{ °C}$; $t_{v, \text{mech}} = 12\text{ h}$; $d_{v, \text{mech}} = 365\text{ d}$						
	Gesamtjahr																		
	keine	mit Toleranz	ohne Toleranz	verdunstung nicht regelbar	Verdunstung regelbar	Dampfe- feuchter	keine	nur Wärme	Wärme + Feuchte	45%	60%	75%	Wärme			Dampf	Kälte		
													qh, 18°C, 12h	gh,u	gh,o	qh, 12h	qc, 18°C, 12h	gc,u	gc,o
													$\frac{Wh}{m^3/h}$	$\frac{Wh}{k \cdot m^3/h}$	$\frac{Wh}{k \cdot m^3/h}$	$\frac{Wh}{m^3/h}$	$\frac{Wh}{m^3/h}$	$\frac{Wh}{k \cdot m^3/h}$	$\frac{Wh}{k \cdot m^3/h}$
1	x						x						10.291	924	1.150	0	2.358	855	389
2	x							x		x			3.096	559	947	0	2.322	855	389
3	x							x			x		1.148	274	783	0	2.309	856	389
4	x							x				x	40	9	443	0	2.303	855	392
5		x		x			x						14.753	1.008	1.256	0	3.077	757	223
6		x		x				x		x			8.855	808	1.117	0	3.042	757	223
7		x		x				x			x		7.777	782	1.012	0	3.032	757	223
8		x		x				x				x	7.403	782	904	0	3.024	757	223
9		x		x					x	x			7.892	808	1.117	0	2.951	681	223
10		x		x					x		x		7.372	782	1.012	0	2.915	655	223
11		x		x					x			x	7.361	782	904	0	2.877	630	223
12		x			x		x						14.061	978	1.246	0	2.431	786	233

Anlage 6: Überschreitung der technischen Nutzungsdauer (Tabellenwerte absolut)

Betriebsstunden	1.800 h/a											
Nennluftvolumenstrom	5.000 m³/h				15.000 m³/h				30.000 m³/h			
Ventilator	1-stufig		2-stufig		1-stufig		2-stufig		1-stufig		2-stufig	
Umluft (Mischkammer T-geregelt 12°C)	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML
KVS extern WRG-Klasse H4	7,0	23,2	14,3	36,0	-4,2	3,8	-0,6	10,0	-7,1	-1,2	-4,5	3,4
KVS extern WRG-Klasse H2	17,2	36,0	28,1	52,9	1,2	10,6	6,6	19,1	-4,8	1,1	-1,4	6,5
KVS intern WRG-Klasse H4	8,5	40,3	16,4	58,7	-4,6	9,2	-1,1	17,3	-7,2	3,2	-4,6	9,3
KVS intern WRG-Klasse H3	19,8	50,9	31,4	72,8	0,7	14,7	6,0	24,6	-4,8	4,4	-1,4	10,8
Plattenwärmeübertrager Kreuzstrom H4	-4,6	7,6	0,5	16,8	-13,1	-8,3	-10,8	-4,3	-14,9	-11,0	-13,2	-8,0
Plattenwärmeübertrager Kreuzgegenstrom H2	-5,0	3,2	0	10,9	-12,0	-7,5	-9,4	-3,4	-13,7	-10,1	-11,6	-6,8
Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H2	0,1	7,9	5,2	15,6	-8,3	-4,6	-6,0	-1,2	-9,9	-7,2	-8,2	-4,6
Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H1	1,1	8,8	6,4	16,7	-8,2	-5,1	-6,0	-1,7	-9,9	-7,5	-8,1	-4,9

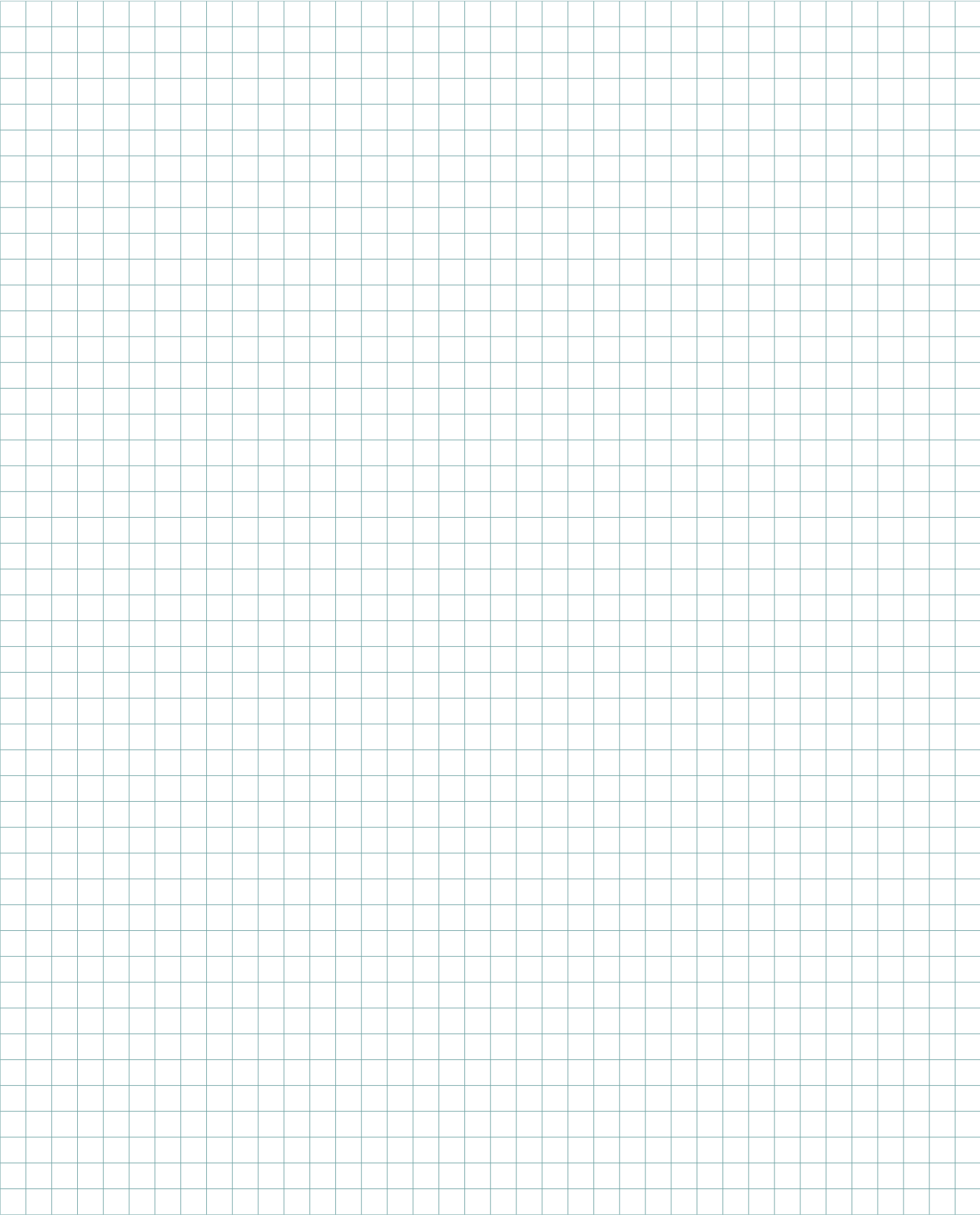
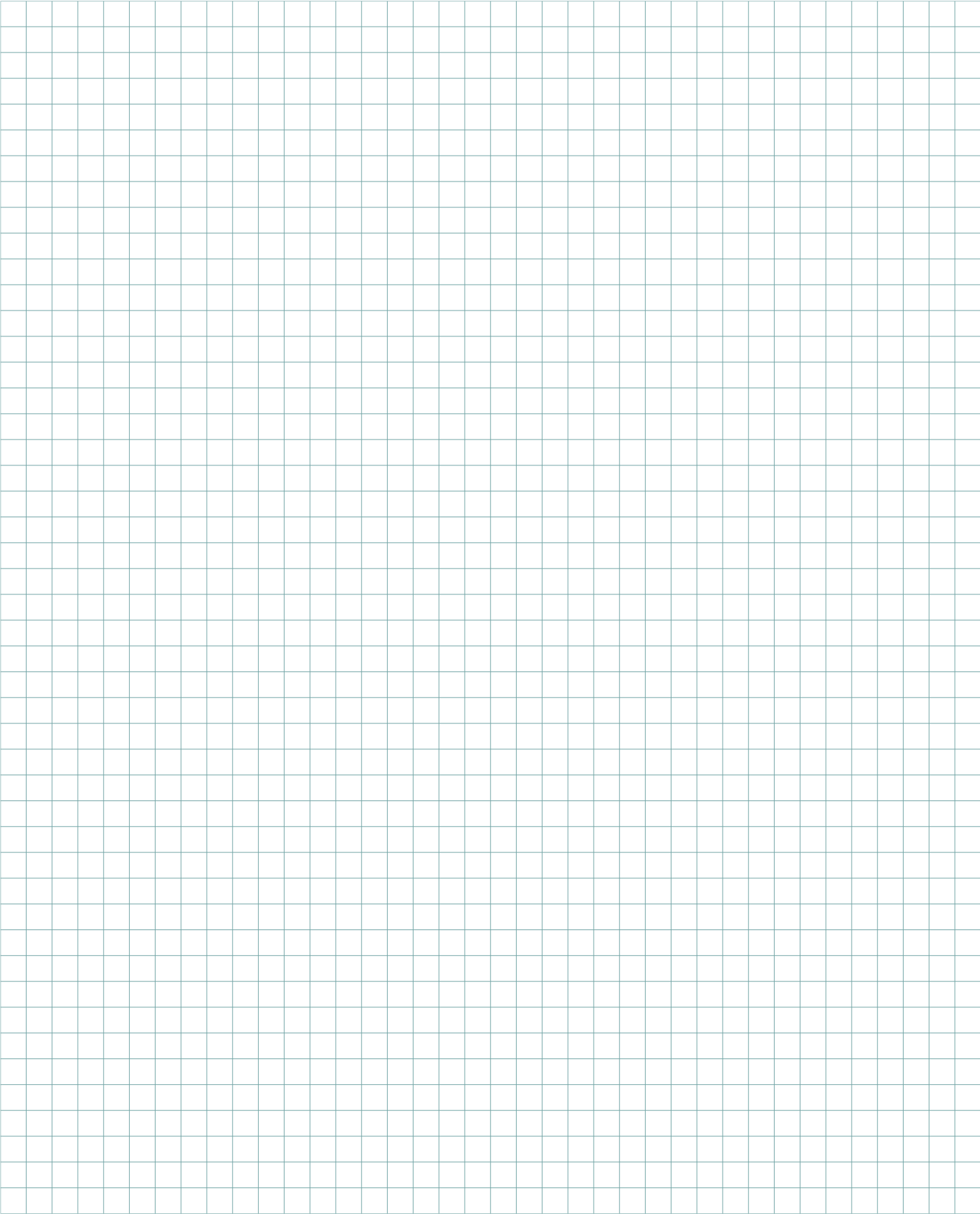
Betriebsstunden	3.750 h/a											
Nennluftvolumenstrom	5.000 m³/h				15.000 m³/h				30.000 m³/h			
Ventilator	1-stufig		2-stufig		1-stufig		2-stufig		1-stufig		2-stufig	
Umluft (Mischkammer T-geregelt 12°C)	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML
KVS extern WRG-Klasse H4	-4,7	2,9	-1,2	8,9	-9,9	-6,2	-8,2	-3,3	-11,3	-8,5	-10,0	-6,4
KVS extern WRG-Klasse H2	0,2	8,9	5,3	16,9	-7,4	-3,0	-4,9	1,0	-10,2	-7,4	-8,6	-4,9
KVS intern WRG-Klasse H4	-4,0	1,6	-0,3	19,1	-10,1	-3,8	-8,5	0	-11,4	-6,6	-10,2	-3,7
KVS intern WRG-Klasse H3	1,3	15,7	6,7	25,9	-7,6	-1,2	-5,2	3,4	-10,2	-6,0	-8,6	-3,0
Plattenwärmeübertrager Kreuzstrom H4	-12,8	-7,1	-10,4	-2,8	-16,8	-14,5	-15,7	-12,7	-17,6	-15,8	-16,8	-14,4
Plattenwärmeübertrager Kreuzgegenstrom H2	-13,0	-9,1	-10,6	-5,5	-16,3	-14,2	-15,0	-12,2	-17,1	-15,4	-16,1	-13,8
Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H2	-7,9	-4,2	-5,5	-0,6	-11,8	-10,1	-10,8	-8,5	-12,6	-11,3	-11,8	-10,1
Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H1	-7,5	-3,9	-4,9	-0,2	-11,8	-10,3	-10,8	-8,8	-12,6	-11,5	-11,8	-10,3

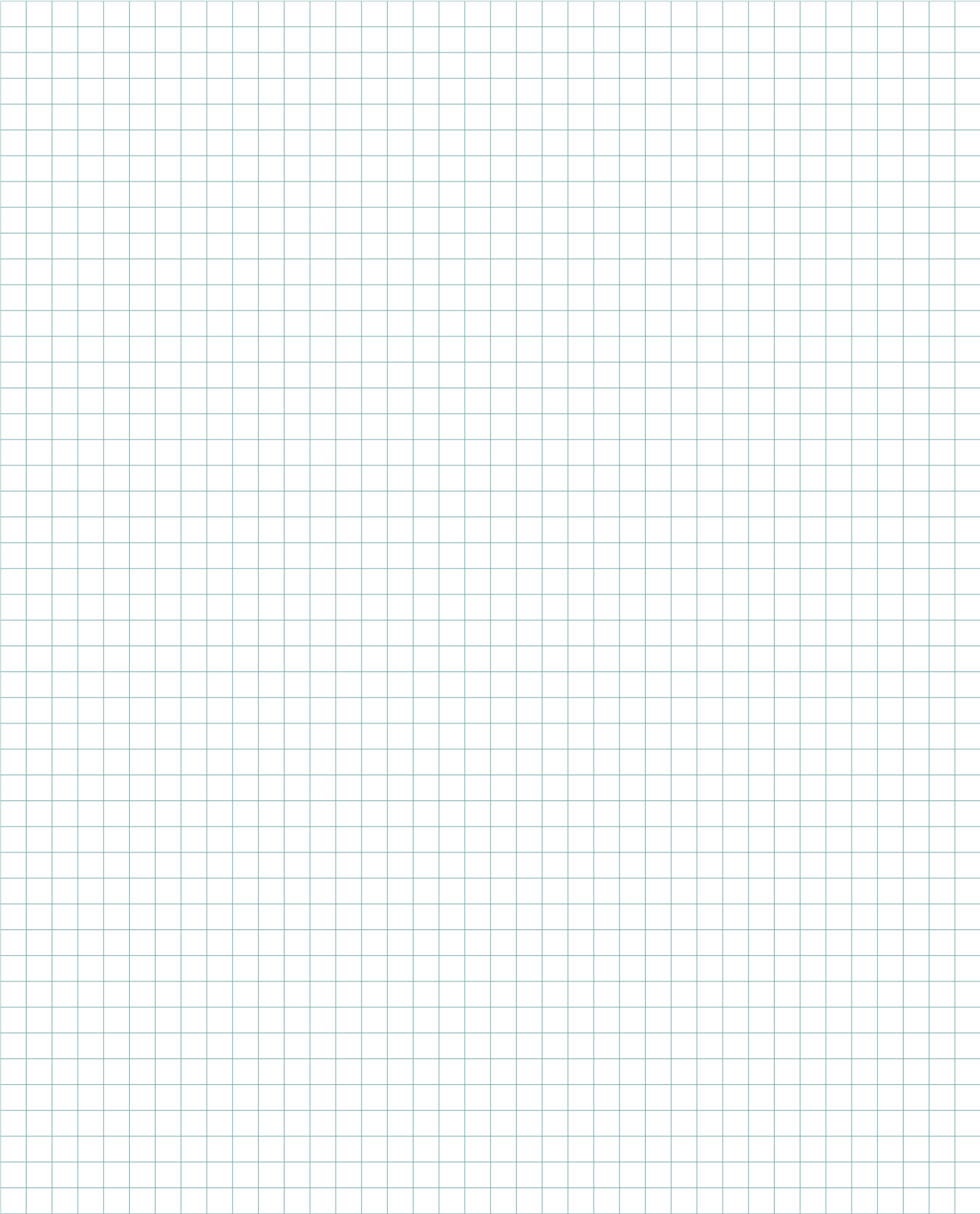
Betriebsstunden	8.760 h/a											
Nennluftvolumenstrom	5.000 m³/h				15.000 m³/h				30.000 m³/h			
Ventilator	1-stufig		2-stufig		1-stufig		2-stufig		1-stufig		2-stufig	
Umluft (Mischkammer T-geregelt 12°C)	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML	keine UML	UML
KVS extern WRG-Klasse H4	-10,8	-7,7	-9,3	-5,2	-12,9	-11,4	-12,2	-10,2	-13,5	-12,3	-13,0	-11,5
KVS extern WRG-Klasse H2	-8,8	-5,2	-6,7	-2,0	-11,9	-10,1	-10,8	-8,5	-13,0	-11,9	-12,4	-10,9
KVS intern WRG-Klasse H4	-10,5	-4,8	-9,0	-1,3	-13,0	-10,5	-12,4	-9,0	-13,5	-11,6	-13,0	-10,5
KVS intern WRG-Klasse H3	-8,4	-2,6	-6,2	1,5	-12,0	-9,4	-11,0	-7,6	-13,0	-11,4	-12,4	-10,2
Plattenwärmeübertrager Kreuzstrom H4	-17,0	-14,7	-16,1	-13,0	-18,7	-17,7	-18,2	-17,0	-19,0	-18,3	-18,7	-17,7
Plattenwärmeübertrager Kreuzgegenstrom H2	-17,1	-15,6	-16,1	-14,1	-18,5	-17,6	-18,0	-16,8	-18,8	-18,1	-18,4	-17,5
Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H2	-12,1	-10,6	-11,1	-9,1	-13,7	-13,0	-13,3	-12,3	-14,0	-13,5	-13,7	-13,0
Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H1	-11,9	-10,5	-10,9	-8,9	-13,7	-13,1	-13,3	-12,5	-14,0	-13,6	-13,7	-13,1

Überschreitung der technischen Nutzungsdauer beim Austausch von Ventilatoren
(negative Werte: Unterschreitung der technischen Nutzungsdauer → Variante wirtschaftlich darstellbar)

Nennluftvolumenstrom	5.000 m³/h				15.000 m³/h				30.000 m³/h			
Systemwirkungsgrad Bestand	35%		50%		35%		50%		35%		50%	
Ventilator	1-stufig	2-stufig	1-stufig	2-stufig	1-stufig	2-stufig	1-stufig	2-stufig	1-stufig	2-stufig	1-stufig	2-stufig
Motor + FU 1.800h	-5,7	14,0	0,8	40,8	-12,8	-4,5	-10,0	6,4	-13,7	-6,9	-11,5	2,1
Motor + FU 3.750h	-12,1	-2,6	-9,0	10,2	-15,5	-11,5	-14,2	-6,3	-16,0	-12,7	-14,9	-8,4
Motor + FU 8.760h	-15,5	-11,4	-14,1	-5,9	-16,9	-15,2	-16,4	-13,0	-17,1	-15,7	-16,7	-13,9
GehVent EC 1.800h	-1,1	11,0	5,5	32,3	-7,4	-2,4	-4,7	6,6	-8,4	-4,4	-6,2	2,6
GehVent EC 3.750h	-6,8	-0,9	-3,6	9,3	-9,8	-7,4	-8,5	-3,1	-10,3	-8,4	-9,2	-5,0
GehVent EC 8.760h	-9,8	-7,3	-8,4	-2,9	-11,1	-10,0	-10,5	-8,2	-11,3	-10,4	-10,8	-9,0
Freirad EC 1.800h	-2,9	7,3	2,6	25,4	-6,8	-1,1	-3,7	9,2	-7,9	-3,3	-5,4	5,0
Freirad EC 3.750h	-7,6	-2,7	-5,0	6,0	-9,5	-6,8	-8,0	-1,8	-10,0	-7,8	-8,8	-3,8
Freirad EC 8.760h	-10,1	-8,0	-9,0	-4,3	-10,9	-9,8	-10,3	-7,6	-11,2	-10,2	-10,6	-8,5

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of thin, light gray horizontal and vertical lines that intersect to form small squares across the entire surface. There are no margins, text, or other markings on the paper.





Herausgeber

Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH
Pirnaische Straße 9
01069 Dresden
Telefon: 0351 4910-3152
Telefax: 0351 4910-3155
E-Mail: info@saena.de
Internet: www.saena.de

Redaktion

Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH

Gestaltung

media project creative network GmbH
Glashütter Straße 101, 01277 Dresden

Druck

LAUSITZER DRUCKHAUS GmbH

Weitere Informationen unter:

Beratertelefon: 0351 4910-3179

www.saena.de/beratung
www.saena.de/broschüren
www.saena.de/veranstaltungen
www.saena.de/fördermittelratgeber
www.saena.de/energieportal-sachsen
www.saena.de/digitale-bauherrenmappe
www.saena.de/energie-experten

Bildquellen

Seite 12: Klingenburg GmbH, System HPWRG by HOWA-THERM®; Copyright: ©kaschikre

2. überarbeitete Auflage von 11/2016

