

RLT – Anlagen

**Hinweise zur Planung, Ausführung und Betrieb
von Raumluftechnischen Anlagen
für öffentliche Gebäude**

Empfehlung Nr. 166

Stand: 01.07.2023

AMEV

Hinweise zur Planung, Ausführung und Betrieb von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude

RLT-Anlagen

lfd. Nr.: 166

Aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik
staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV)

Berlin, 01.07.2023

Geschäftsstelle des AMEV im
Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB)
Krausenstrasse 17-20, 10117 Berlin
11055 Berlin
Tel.: 030/18-335 16860
E-Mail: amev@bmwsb.bund.de

Der Inhalt dieser Broschüre darf für eigene Zwecke vervielfältigt werden. Eine Verwendung in nicht vom AMEV herausgegebenen Medien wie z. B. Fachartikeln oder kostenpflichtigen Veröffentlichungen ist vor der Veröffentlichung mit der AMEV-Geschäftsstelle zu vereinbaren.

Informationen über Neuerscheinungen erhalten Sie unter <http://amev-online.de> oder bei der AMEV-Geschäftsstelle

Inhaltsverzeichnis

Vorwort I

1.	Allgemeines	1
1.1.	Funktion.....	1
1.2.	Anwendung.....	1
1.3.	Erfordernis einer RLT-Anlage	2
1.4.	Anforderungen.....	3
1.4.1.	Grundsätzliche Anforderungen	3
1.4.2.	Anforderungen an die Raumlufthqualität.....	4
1.4.2.1	ASR A3.6 Lüftung	4
1.4.2.2	EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2	5
1.4.2.3	VDI 6022	5
1.4.3.	Anforderungen an die Raumtemperatur.....	6
1.4.3.1	ASR A3.5 Raumtemperaturen	6
1.4.3.2	DIN 4108 Teil 2.....	6
1.4.3.3	EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2	7
1.4.4.	Anforderungen an die lokale thermische Behaglichkeit.....	8
1.4.5.	Anforderungen an die Raumlufthfeuchte.....	8
1.4.5.1	ASR A3.6 Lüftung	8
1.4.5.2	EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2	9
1.4.5.3	VDI 6022	9
1.4.6.	Hygienemanagement in der Bauphase	9
2.	Grundlagen	10
2.1.	Systeme	10
2.1.1.	Strömungsformen im Raum	10
2.1.2.	Nur-Luft-Systeme.....	11
2.1.3.	Luft-Wasser-Systeme	11
2.1.4.	Freie Kühlung durch Außenluft (direkt und indirekt)	12
2.1.5.	Adiabate Fortluftkühlung	13
2.1.6.	Feuchterückgewinnung.....	13
2.1.7.	Entfeuchtungskälterückgewinnung	13
2.1.8.	Hybride Lüftungssysteme	14
2.1.9.	Zentrale/ Dezentrale/ Semizentrale Lüftungsanlagen.....	14
2.2.	Geräte und Komponenten.....	15
2.2.1.	Luftleitungen	15
2.2.2.	Reinigungsöffnungen.....	16
2.2.3.	Ventilatoren und Lüftungsgeräte	16
2.2.4.	Luftfilter.....	16
2.2.5.	Luftbefeuchtungseinrichtungen.....	18
2.2.6.	Wärmeübertrager.....	19
2.2.7.	Wärmerückgewinnung (WRG)	19
2.2.8.	Drossel- und Jalousieklappen	19

2.2.9.	Brand- und Rauchschutzklappen.....	19
2.2.10.	Volumenstromregler und Mischkästen.....	20
2.2.11.	Luftdurchlässe	20
2.3.	Energieeffizienz.....	20
2.3.1.	Kennwerte für elektrische Antriebsleistungen der Zu- und Abluftventilatoren.....	20
2.3.2.	Wärmerückgewinnung (WRG).....	22
2.4.	Regelung und Gebäudeautomation	23
2.4.1.	Gebäudeautomation	23
2.4.2.	Regelstrategien	25
3.	Anforderungen und Auslegungsdaten für ausgewählte Anwendungsbereiche	29
3.1	Bürogebäude.....	29
3.1.1	Büroräume.....	29
3.1.2	Sitzungsräume	29
3.1.3	Toilettenräume	30
3.1.4	Wasch- und Duschräume	30
3.1.5	Umkleideräume	30
3.1.6	Lager- und Nebenräume.....	31
3.2	Schulen	31
3.2.1	Allgemeine Unterrichtsräume	31
3.2.2	Aulen und Festräume	32
3.2.3	Naturwissenschaftliche Fachräume	32
3.2.4	Musikräume.....	32
3.2.5	Werkräume und Werkstätten	33
3.2.6	Lehrküchen.....	33
3.3	Universitäten und Hochschulen	33
3.3.1	Seminarräume.....	33
3.3.2	Hörsäle.....	33
3.3.3	Laboratorien	34
3.3.3.1	Lagerräume für gefährliche Arbeitsstoffe	35
3.3.4	Sonderbereiche Forschung	35
3.3.5	Reinräume.....	36
3.4	Krankenhäuser und Kliniken.....	36
3.5	Sportbauten.....	38
3.5.1	Sporthallen	38
3.5.2	Gymnastikräume	39
3.5.3	Konditions- und Krafttrainingsräume.....	39
3.5.4	Umkleideräume	39
3.5.5	Wasch- und Duschräume	39
3.6	Bäderbauten.....	39
3.6.1	Nebenräume in Bäderbauten.....	39
3.7	Betriebsbauten	39
3.7.1	Werkstätten	40
3.7.2	Wäschereien	40
3.8	Kulturbauten	40

3.8.1	Bibliotheken und Archivbauten.....	40
3.8.2	Museen.....	42
3.9	Rechenzentren (RZ) einschl. RZ-Flächen/Bereiche	45
3.9.1	Kernaspekt IT Sicherheitsgesetz	45
3.9.2	Bauliche Anforderungen	45
3.9.3	Planungshinweise	46
3.10	Speiseräume	48
3.11	Küchen	48
3.12	Unterkunftsgebäude	50
4.	Planung und Ausführung.....	51
4.1.	Integrale Planung	51
4.2.	Vermeidung stofflicher Verunreinigungen	52
4.3.	Bestimmung der Außenluftvolumenströme	52
4.3.1.	Berechnung nach Personen- und Flächenbezug (Verfahren 1)	52
4.3.2.	Berechnung nach Stoffkonzentrationen und deren Richtwerte (Verfahren 2).....	53
4.3.3.	Berechnung nach pauschal vorgegebenen Kenngrößen (Verfahren 3).....	54
4.4.	Lüftungseffektivität.....	56
4.5.	Auslegung Nur-Luft-System.....	56
4.6.	Anwendung von Luft-Wasser-Systemen	57
4.7.	Luftbe- und Entfeuchtung.....	58
4.8.	Auslegung der Anlagenteile	58
4.9.	Lebenszykluskosten	58
4.10.	Energiekonzept.....	59
4.10.1	Wärmeversorgung	59
4.10.2.	Kälteversorgung	59
4.10.3.	Sicherheitsstrom-/Ersatzstromversorgung	59
4.11.	Abnahme und Inbetriebnahme.....	60
4.12.	Dokumentation	60
4.12.1.	Anlagenkataster und CAFM-System.....	62
4.13.	Inbetriebnahmemanagement	62
4.14.	Bauliche und technische Hinweise.....	62
4.14.1.	Technikzentrale	63
4.14.2.	Außenluftansaugöffnung/Fortluftaustrittsöffnung.....	63
4.14.3.	Schall- und Brandschutz	64
4.14.3.1	Schallschutz	64
4.14.3.2	Brandschutzmaßnahmen bei RLT- Anlagen	64
4.14.3.1.	Entrauchung von Gebäuden	65
4.14.3.2.	Rauchfreihaltung von Rettungswegen	66
5.	Beispielhafte Systemlösungen	67
5.1.	Allgemeine Unterrichtsräume (z. B. Seminarräume)	67
5.2.	Hörsaal.....	69
5.3.	Laborgebäude	71
5.4.	Große Versorgungssysteme mit Mehrzonenanlage	74

5.5.	Küchen	76
5.6.	Rechenzentrum	78
6.	Betreiben von RLT-Anlagen.....	80
6.1.	Betreiberpflichten.....	80
6.2.	Inbetriebnahme und Übergabe/Übernahme.....	81
6.3.	Bedienen	82
6.3.1.	Stellen	82
6.3.2.	Überwachen	82
6.4.	Instandhaltung	82
6.4.1.	Inspektion	83
6.4.2.	Wartung.....	83
6.4.3.	Instandsetzung und Verbesserung	83
6.4.4.	Instandhaltungsmanagement	84
6.5.	Energetische Inspektion	84
6.6.	Energiemonitoring und -controlling	85
7.	Anhänge.....	87
7.1.	Zusammenstellung von Auslegungsdaten für ausgewählte Anwendungsbereiche.....	87
7.1.1.	Lüftung unter Pandemiebedingungen, insbesondere von Schulen und vergleichbarer Räume	92
7.1.2.	Systemkriterien zur Raumbelüftung	102
7.1.3.	Vergleich zentraler und dezentraler Systeme	103
7.2.	Checkliste Betreiben von RLT-Anlagen	105
7.2.1.	Gesamtanlage	105
7.2.2.	Ventilatoren	106
7.2.3.	Motoren	107
7.2.4.	Wärmeübertrager	107
7.2.5.	Filter	108
7.2.6.	Luftbefeuchter	108
7.2.7.	Jalousieklappen.....	109
7.2.8.	Brandschutzklappen	110
7.2.9.	Luftleitungen, Kammern, RLT-Gerätetüren	110
7.2.10.	Kälteanlagen	110
7.2.11.	Steuerung, Regelung, Gebäudeautomation.....	110
7.2.12.	Checkliste zur systematischen Fehlersuche	112
7.3.	Begriffe und Definitionen	115
7.3.1.	Entfeuchtung	115
7.3.2.	Heizlast/Heizleistung	115
7.3.3.	Kühllast/Kühlleistung	115
7.3.4.	Luftwechselrate	116
7.4.	Zusammenstellung der wichtigsten Vorschriften und Regelwerke	116
7.4.1.	Empfehlungen des Arbeitskreises Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV).....	116
7.4.2.	Gesetze und Verordnungen, insbesondere:.....	117

7.4.3.	Normen des Deutschen Instituts für Normung (DIN), insbesondere:	118
7.4.4.	Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), insbesondere:	120
7.4.5.	Bestimmungen des Verbandes der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik e.V. (VDE).....	121
7.4.6.	Arbeitsblätter des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)	121
7.4.7.	Technische Regeln des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW).....	121
7.4.8.	Richtlinien und Hinweise des Bundes	121
7.4.9.	Unfallverhütungsvorschriften	121
7.4.10.	Verdingungsordnung für Bauleistungen Teil C (VOB/Teil C), insbesondere:.....	121
Mitarbeiter		122

Vorwort

Die Zusammenführung der beiden AMEV-Empfehlungen „RLT Anlagenbau 2018“ und „Bedien RLT 2008“ zur Empfehlung „Hinweise zur Planung, Ausführung und Betrieb von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude (RLT-Anlagen)“ erfolgte aus Gründen planerischer und betrieblicher Zusammenhänge, fortgeschriebener rechtlicher und normativer Regelwerke sowie der technischen Entwicklung in der Raumluftechnik. Durch die Fusion konnten redundante Themenbeschreibungen entfallen, beispielhafte Systemlösungen neu aufgenommen und Empfehlungen zu Raumkühllasten in Verbindung mit geeigneten Anlagentechniken angepasst werden.

Die Normung für RLT-Anlagen lässt Planern und Bauherren grundsätzlich Freiräume für die Festlegung von qualitativen Anforderungen. Die Freiräume verlangen aber im Gegenzug von Bauherren und Planern konkrete Vereinbarungen, welche climatechnischen Parameter aus den Vorschlagslisten der Normen angewendet werden sollen, um von Beginn an eine gemeinsame Basis als Planungsgrundlage zu finden und Missverständnisse zu vermeiden.

Dies kann bei Erfüllung der Mindestanforderungen zu relativ preiswerten Lüftungssystemen führen. Darüber hinaus gehende Komfortansprüche erhöhen den technischen und finanziellen Aufwand. Immer wichtiger werden auch Abwägungen, statt der freien Lüftung maschinelle Lüftungsanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung zur Erreichung ambitionierter Energieeinsparziele (z. B. bei Passivhausanforderungen, klimaneutralen Gebäuden, Plus-Energie-Häusern) einzusetzen.

Die Empfehlung „RLT-Anlagen“ gibt Hinweise, wie unter den aktuellen Rahmenbedingungen europäischer und nationaler Regelwerke (Richtlinien, Gesetze, Verordnungen und Normen) für kommunale und staatliche Gebäude verfahren werden soll. Sie dient den Planern der öffentlichen Hand als Hilfe, die Anforderungen der einschlägigen Regelwerke nach den Maßgaben von Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit unter Beachtung des Klimaschutzes umzusetzen. Die Empfehlung soll gleichermaßen das Personal in den Verwaltungen des Bundes, der Länder und Kommunen beim zuverlässigen, wirtschaftlichen und energiesparenden Betrieb - auch unter Beachtung der Erfahrungen und Empfehlungen im Zusammenhang mit Covid-19 - der RLT-Anlagen unterstützen.

Berlin, 01.07.2023

Walter Arnold

Vorsitzender des AMEV

Ralf Hengelhaupt

Obmann RLT-Anlagenbau

1. Allgemeines

1.1. Funktion

Raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) sind ventilatorgestützte Anlagen mit mindestens einer der Funktionen Filtern, Heizen, Kühlen, Befeuchten oder Entfeuchten. RLT-Anlagen dienen im Wesentlichen der

- Abführung von Stoff- und Wärmelasten
- Zuführung von Wärme
- Zuführung unbelasteter Zuluft (auf Basis von Außenluft)
- Rückgewinnung von Wärme-/Kälteenergie
- Raumluftkonditionierung

RLT-Anlagen bestehen aus den RLT-Geräten und dem damit verbundenen Luftleitungsnetz. RLT-Geräte enthalten neben Ventilator und Antrieb entsprechende Filter sowie Teile zur Wärmerückgewinnung und ggf. weitere zusätzliche geräteinterne Bauteile (z. B. zusätzliche Filterstufen, Erhitzer, Kühler, Befeuchter). RLT-Anlagen verursachen Investitions-, Betriebs- und Instandsetzungskosten (DIN 18960). Der Bedarf für eine RLT-Anlage bzw. die Frage, ob damit verbundene wirtschaftliche Vorteile vorliegen, muss daher immer fallbezogen untersucht werden.

Eine RLT-Anlage ist zu unterscheiden von einer gemäß EN 16798-1 definierten Lüftungsanlage als Kombination von Geräten oder Bauteilen, die dafür konstruiert und ausgelegt ist, um Innenräume mit Außenluft zu versorgen und verunreinigte Raumluf abzuführen. Der Begriff Lüftungsanlage gemäß EN 16798-1 kann auf maschinelle, freie und kombinierte Lüftung hinweisen.

1.2. Anwendung

Der Anwendungsbereich der vorliegenden Planungs- und Ausführungshinweise erstreckt sich auf Neu-, Um- und Erweiterungsbauten sowie auf Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen (Bauunterhaltung) in Gebäuden staatlicher und kommunaler Verwaltungen.

Die vorliegenden Betriebshinweise richten sich an das technische Personal, das für den Betrieb der RLT-Anlagen in Gebäuden staatlicher und kommunaler Verwaltungen zuständig ist.

Besondere Richtlinien und Festlegungen einzelner Verwaltungen bleiben davon unberührt.

1.3. Erfordernis einer RLT-Anlage

Es ist sicherzustellen, dass in Räumen von Gebäuden der lufthygienische Austausch mit Außenluft gewährleistet ist. Dieser Grundsatz gilt unabhängig von der Entscheidung für eine maschinelle oder freie (natürliche) Lüftung.

Folgende Gebäudeeigenschaften können eine freie Lüftung begünstigen (Tabelle 1):

Gebäudeeigenschaft	Günstig	noch günstig	Ungünstig
Gesamtenergie- durchlassgrad der Fenster, einschließlich Sonnenschutz gemäß DIN4108-2	0,1 verstellbar	0,2 verstellbar	>0,2 nicht verstellbar
Verglasungsanteil der Fassade	30 – 40 %	40 – 50 %	> 50 %
Raumtiefe zum nächstgelegenen Fenster	< 5 m	7m	> 8 m
Nachtlüftung durch gekippte Fenster oder Lüftungsflügel (einbruchsicher, regensicher) Raumwirksame Wärmespeicher- Kapazität	Möglich Schwere Bauweise, keine abgehängten Decken		nicht möglich Leichte Bauweise

Tabelle 1: Thermisch und Lüftungstechnisch günstige Gebäudeeigenschaften

In den Fällen, in denen die Anforderung an die Raumluftqualität durch die freie Lüftung über Fenster nicht mehr ordnungsgemäß sichergestellt werden kann, sind RLT-Anlagen einzusetzen, wie z. B.:

- für fensterlose Räume,
- für Räume mit nicht zu öffnenden Fenstern, z. B. wegen
 - Sicherheitsanforderungen,
 - eines zu hohen Außenlärmpegels,
 - einer zu hohen Schadgaskonzentration der umgebenden Atmosphäre,
 - Vollverdunkelung,
 - extremer Windverhältnisse,
 - zu hoher Konzentration gefährlicher bzw. gesundheitsgefährdender Stoffe und/oder Keime im Rauminneren,
- wenn ein spezifisches Raumvolumen vom 5 m³/Person unterschritten wird und es sich um einen Aufenthaltsraum oder Arbeitsraum handelt
- wenn bei einseitiger Lüftung und einer Raumtiefe von bis zu 10 m und einer Raumhöhe von bis zu 4 m die Öffnungsfläche der Fenster bei Kippstellung

0,35 m² pro anwesende Person, bei Stoßlüftung 1,05 m² pro 10 m² Grundfläche unterschreitet (ASR A3.6 max. zulässige Raumtiefe)

- wenn bei Querlüftung und einer Raumtiefe von bis zu 20 m und einer Raumhöhe von bis zu 4 m die Öffnungsfläche der Fenster bei Kippstellung 0,20 m² pro anwesende Person, bei Stoßlüftung 0,60 m² pro 10 m² Grundfläche unterschreitet (ASR A3.6)
- für Räume, in denen hohe sensible und/oder latente Lasten auftreten,
- für Räume, in denen erhebliche Verunreinigungen freigesetzt werden,
- für Räume, in denen definierte Raumluftzustände (Temperatur, Feuchte, Luftgeschwindigkeit, Keimpegel) in vorgegebenen Grenzen gehalten werden müssen,
- bei besonderen Energiesparanforderungen in Verbindung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung
- bei besonderen baurechtlichen Vorschriften
- bei besonderen Nutzungsanforderungen.

1.4. Anforderungen

Für die Planung, Ausführung und den Betrieb von RLT-Anlagen sind vielzählige Anforderungen zu beachten, auf die in den nachfolgenden Abschnitten ausführlich eingegangen wird. Ergänzend dazu sind als Anlagen 7.1.1 und 7.1.2 zwei Dokumente beigefügt, um auf die Situation der Lüftung unter Pandemiebedingungen hinzuweisen bzw. geeignete technische Lösungen im Einzelfall auszuwählen.

1.4.1. Grundsätzliche Anforderungen

Bei Planungen von Neu-, Um- und Erweiterungsbauten sowie Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen müssen die rechtlichen, normativen und nutzungsspezifischen Anforderungen an die Raumluft berücksichtigt werden.

RLT-Anlagen sollen eine gesundheitlich unbedenkliche Raumluftqualität sicherstellen und gleichermaßen zum behaglichen Raumklima beitragen. Die schallschutztechnischen Anforderungen müssen ebenso erfüllt werden. Die Luftqualität und die raumklimatische Behaglichkeit werden durch die RLT-Anlage selbst, die Personen und deren Aktivitäten, den Außenluftzustand, den Raum mit seinen baulichen und technischen Eigenschaften sowie den Einrichtungsgegenständen beeinflusst. Auch die Lufttemperatur, die Wandoberflächentemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und die Strahlungstemperaturasymmetrie wirken auf die raumklimatische Behaglichkeit ein.

Allem voran müssen die Anforderungen gemäß dem Arbeitsschutzgesetz ArbSchG und darauf basierend der Arbeitsstättenverordnung ArbStättV bzw. der Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR erfüllt werden. Hierzu zählen insbesondere die ASR A3.5 Raumtemperatur und A3.6 Lüftung.

Kommt es am Arbeitsplatz zu Tätigkeiten mit Gefahrstoffen oder biologischen Arbeitsstoffen, gelten hinsichtlich der stofflichen Gefährdungen an diesen Arbeitsplätzen die Vorschriften nach der Gefahrstoffverordnung oder der Biostoffverordnung einschließlich der entsprechenden Technischen Regeln. Aus der Gefährdungsbeurteilung des Arbeitsplatzes können sich darüber hinaus bedarfsweise Anforderungen an die Raumluft ergeben.

Bei der Versorgung von Räumen in denen Personen ursächlich für die Verunreinigung der Raumluft in Frage kommen (z. B. Büros, Besprechungs-, Seminarräume, Hörsäle, Klassenräume in Schulen), wird empfohlen, RLT-Anlagen ohne Umluft zu betreiben. Nach den heutigen Regeln der Technik werden RLT-Anlagen so geplant, dass bedarfsgerecht aufbereitete Außenluft in die Arbeits- und Aufenthaltsbereiche gefördert und die Raumabluft als Fortluft abgeführt wird.

Zwingend zu erfüllen sind ebenso die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gemäß dem durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) geforderten Nachweis entsprechend der DIN 4108 Teil 2. Ziel dieser Norm ist es, durch bauliche Maßnahmen die Überhitzung von beheizten Räumen zu verhindern. Demnach muss bereits in der Planungsphase eines Gebäudes der sommerliche Wärmeschutz mit einbezogen werden. Durch bauliche Maßnahmen soll weitgehend verhindert werden, dass unzumutbare hohe Innentemperaturen entstehen und maschinelle und energieintensive Kühlmaßnahmen erforderlich werden.

1.4.2. Anforderungen an die Raumluftqualität

1.4.2.1 ASR A3.6 Lüftung

Sind Personen die bestimmende Ursache für die Verunreinigung der Raumluft, ist gemäß ASR A3.6 der Kohlenstoffdioxidgehalt ein anerkannter Indikator für die Bewertung der Luftqualität. In der ASR A3.6 werden folgende CO₂-Grenzwerte und ggf. Handlungserfordernisse für Arbeitsräume genannt:

Bei einer CO₂-Konzentration [ppm] < 1000: Keine weiteren Maßnahmen erforderlich

Bei einer CO₂-Konzentration [ppm] < 2000: Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern, Lüftungsplan aufstellen, Außenluftvolumenstrom oder Luftwechsel erhöhen

Bei einer CO₂-Konzentration [ppm] > 2000: verstärkte Lüftung, Reduzierung der Personenzahl im Raum

Die Forderungen der ASR A3.6 sind zwingend einzuhalten. Es wird deswegen empfohlen, sich an der mittleren CO₂-Konzentration innerhalb eines Nutzungsintervalls zu orientieren und diese nicht über den Wert von 1.000 ppm steigen zu lassen. Dabei sollte der Maximalwert von 2.000 ppm ebenfalls nicht überschritten werden.

1.4.2.2 EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2

Für die Bemessung von RLT-Anlagen sind ausreichende Außenluftvolumenströme zu wählen, um die Forderung der ASR A3.6 zu erfüllen. Standards und Auslegungswerte für Wohn- und Nichtwohngebäude beschreibt die Europäische Norm EN 16798 Teil 1 (die die Norm DIN EN 15251 abgelöst hat) mit Nationalem Vorwort/Anhang in Verbindung mit dem Technischen Bericht CEN/TR 16798-2. EN 16798 Teil 1 legt Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik fest. Die Anwendung wird empfohlen, wenn das Innenraumklima durch die menschliche Nutzung bestimmt wird und Produktions- oder sonstige Prozesse keine größeren Auswirkungen auf das Innenraumklima haben.

Ausgangspunkt für die Festlegung der Auslegungswerte ist die Auswahl einer von vier möglichen Kategorien (IEQ Indoor Environment Quality) von Erwartungen an das Raumklima. Die gewählte Kategorie führt zu Raumluftwechsel, die die Auslegung einer RLT-Anlage maßgeblich beeinflussen.

Die höchste Kategorie IEQ I (hohes Maß an Erwartung) gilt gemäß EN 16798-1 nur für Nutzer mit besonderen Bedürfnissen (Kinder, ältere Personen, behinderte Personen usw.). Die Anwendung der Kategorie I sollte wegen der Besonderheit nur in Ausnahmefällen und nach Maßgabe der dafür zuständigen kommunalen oder staatlichen Verwaltungen verwendet werden.

Als Standard für ausreichende Außenluftvolumenströme zur Bemessung von RLT-Anlagen werden die Auslegungswerte der Kategorie IEQ II (mittleres Maß an Erwartung) empfohlen. Dieser Kategorie ist gemäß Tabelle B.8 der EN 16798-1, differenziert in Anteile je nach Personenbelegung und gebäudespezifischer Emission, ein Außenluftvolumenstrom von 7 l/(s, Person) zuzüglich 0,7 l/(s*m²) beigemessen oder gemäß Tabelle B.11 der CEN/TR 16798-2 für Büroräume eine CO₂-Konzentration in der Raumluft i. H. von rd. 400 ppm über Außenluftkonzentration, jeweils für ein schadstoffarmes Gebäude. Alternativ können die Standardwerte der Tabelle B.6 gemäß CEN/TR 16798-2 verwendet werden. Als gebäudespezifische Emissionen werden dabei ausschließlich die von Baumaterialien verursachten Abgaben chemischer Substanzen bezeichnet. Hinweise zu schadstoffarmen Bauen und zu Berechnungsverfahren der Außenluftvolumenströme finden sich unter Kapitel 4.2.

1.4.2.3 VDI 6022

Neben den Anforderungen der ASR A3.6 und der EN 16798 sind auch die Forderungen der VDI 6022 für die Raumluftqualität relevant. Nicht nach den hygienischen Anforderungen der VDI 6022 geplante und/oder nicht sachkundig betriebene RLT-Anlagen können Mitverursacher des sog. Sick-Building-Syndroms sein. Durch fachgerechte Planung, Ausführung, Instandhaltung und verantwortungsvollem Betrieb (Hinweise VDI 6022 - Hygienische Anforderungen an raumlufttechnische Anlagen) werden Verunreinigungen der Raumluft durch RLT-Anlagen vermieden.

1.4.3. Anforderungen an die Raumtemperatur

1.4.3.1 ASR A3.5 Raumtemperaturen

Handelt es sich um Arbeitsräume, sind die Anforderungen der ASR A3.5 Raumtemperaturen zu erfüllen. Die Lufttemperatur in Arbeitsräumen mit überwiegend sitzender Tätigkeit (leichte Arbeitsschwere) muss mindestens 20 °C betragen. Auf Grund von Energieinsparvorgaben im Zusammenhang mit dem Ukraine-Krieg und der dadurch entstandenen Energieknappheit (Gasmanagel) wurde hiervon abgewichen. Je nach Entscheidung der kommunalen und staatlichen Einrichtungen wurden geringere Raumtemperaturen (in der Regel 19 °C) zugelassen. Inwiefern diese auch künftig zu beachten sind, ist vom jeweiligen Entscheidungsträger festzulegen.

Die Lufttemperatur in Arbeitsräumen soll zudem 26°C nicht überschreiten. Wenn die Außenlufttemperatur über 26°C beträgt und unter der Voraussetzung, dass geeignete Sonnenschutzmaßnahmen (z. B. außenliegende Sonnenschutzeinrichtungen) eingehalten werden, sollen beim Überschreiten einer Lufttemperatur im Raum von 26°C zusätzliche Maßnahmen (z. B. effektive Steuerung des Sonnenschutzes und der Lüftungseinrichtungen, Nachtauskühlung, Lüftung in den frühen Morgenstunden, Lockerung der Bekleidungsregelungen) ergriffen werden. Bei Überschreitung der Lufttemperatur im Raum von 30°C müssen wirksame Maßnahmen ergriffen werden, welche die Beanspruchung der Beschäftigten reduzieren. Dabei gehen technische und organisatorische gegenüber personenbezogenen Maßnahmen vor. Wird die Lufttemperatur im Raum von 35 °C überschritten, so ist der Raum für die Zeit der Überschreitung nicht als Arbeitsraum geeignet. In schwierigen Fällen ist eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen.

1.4.3.2 DIN 4108 Teil 2

Die DIN 4108-2 gibt vor dem Hintergrund der Behaglichkeit und Energieeinsparung bauliche Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz vor, die gemäß GEG erfüllt werden müssen. Dies erfolgt mit dem Ziel, erträgliche Raumtemperaturen allein durch bauliche Maßnahmen zu erreichen. Neben dem vereinfachten Nachweisverfahren an Hand des Sonneneintragskennwertes ist die Anwendung der dynamisch-thermischen Berechnungsmethode als alternatives Nachweisverfahren zulässig, bei dem in Abhängigkeit der vorgegebenen Referenztemperatur (sogenannter Bezugswert der operativen Innentemperatur in Höhe von 25, 26 oder 27 °C je nach zugehöriger Sommerklimaregion A, B oder C) sowie weiterer Randbedingungen (u. a. Nutzungszeit, Kühllast, Art des Luftwechsels) bei Nichtwohngebäuden die Überschreitung (Übertemperaturgradstunden), ausgedrückt als Produkt von Zeit und Temperatur pro Jahr, nicht höher als 500 Kh/a liegen darf (z. B. darf die Überschreitung der operativen Innentemperatur um 2 Kelvin nicht länger als 250 h/a dauern).

1.4.3.3 EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2

Thermische Auslegungskriterien für die operative Raumtemperatur werden in der EN 16798-1 (als Nachfolgenorm der DIN EN 15251) in Verbindung mit dem Technischen Bericht CEN/TR 16798-2 beschrieben und gelten für die integrale Planung und Auslegung des Gebäudes (z. B. für baukonstruktive Aspekte wie thermische Speicherfähigkeit der Bauteile, Bemessung des Glasanteils in der Fassade, Sonnenschutz) einschließlich der Gebäudetechnik (z. B. Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage). Dabei wird zwischen Gebäuden mit und ohne maschinelle Kühlung unterschieden. Für die thermischen Auslegungswerte ohne maschinelle Kühlung wird allerdings vorausgesetzt, dass dies für Bürogebäude und andere Gebäude ähnlicher Art gilt, die hauptsächlich für die Nutzung durch Personen mit überwiegend sitzenden Tätigkeiten vorgesehen sind, einen leichten Zugang zu bedienbaren Fenstern bieten, deren Nutzer die Bekleidung frei an die thermischen Innen- und /oder Außenbedingungen anpassen können und in denen die thermischen Bedingungen hauptsächlich von den Nutzern durch Öffnen und Schließen von Öffnungen (z. B. Fenstern) in der Gebäudehülle geregelt werden. Da im Falle des erforderlichen Einsatzes von RLT-Anlagen die Bedienbarkeit von Fenstern in der Regel aus gegebenem Grund ausscheidet oder eingeschränkt ist und auch energetisch nicht sinnvoll ist, sollten bei Anwendung der EN 16798-1 die Auslegungswerte der operativen Raumtemperatur für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß Tabelle B.2 verwendet werden. Die Festlegung der Kategorie der Auslegungswerte der operativen Raumtemperatur sowie der zulässigen prozentualen zeitbezogenen Abweichung gemäß Anhang E, CEN/TR 16798-2, obliegt grundsätzlich den zuständigen staatlichen und kommunalen Verwaltungen. Orientierend an den Anforderungen der ASR A3.5, dass die Lufttemperatur in Arbeitsräumen 26°C nicht überschreiten soll, wird die Kategorie IEQ II (26 °C Höchstwert operative Raumtemperatur) gemäß Tabelle B.2 empfohlen. Gemäß Anhang E, CEN/TR 16798-2 darf die operative Raumtemperatur zeitlich bis zu 6 % der jährlichen Nutzungszeit überschritten werden.

Alternative Empfehlungen für operative Raumtemperaturen in Arbeits- und Besprechungsräumen in Verwaltungs- und Bürogebäuden gibt das Nationale Vorwort (Nationaler Anhang) der EN 16798, ohne Unterscheidung zwischen maschineller und freier Kühlung. Die Komfortraumtemperatur $\theta_{Ra,C}$ beträgt 22 °C bei Außentemperaturen unter 16 °C und 26 °C bei Außentemperaturen über 32 °C. Dazwischen wird die Komfortraumtemperatur durch folgende Gleichung beschrieben: $\theta_{Ra,C} = 18^{\circ} \text{C} + 0,25 \times \theta_{Au,C}$

Dabei ist $\theta_{Au,C}$ der Stundenmittelwert der Außentemperatur in °C.

Die zulässige Abweichung vom empfohlenen Komfortraumtemperaturbereich (Komfortraumtemperatur $\theta_{Ra,C} \pm 2 \text{ K}$) wird über ein Zeit- und Temperaturkriterium definiert. Die Kategorie II nach DIN EN 16798-1 gilt als noch erreicht, wenn in weniger als 1 % der Nutzungszeit des Raums der Sollwertbereich der operativen Raumtemperatur um maximal 2 K unter- bzw. um maximal 2 K überschritten wird. Bei einer Über- beziehungsweise Unterschreitung des vorgegebenen Bereichs der operativen Raumtemperatur in Zeiträumen von mehr als 1 % der Nutzungszeit des Raumes oder von mehr als 2 K ist die Kategorie II nicht mehr erreicht. Der Nutzer muss die Toleranzen der angegebenen Verläufe der Raumtemperaturen durch Anpassung seiner Bekleidung ausgleichen können. Für weitergehende Ausführungen wird auf das Nationale Vorwort (Nationaler Anhang) verwiesen.

Ähnlich dem simulationstechnisch geführten Wirksamkeitsnachweis beim sommerlichen Wärmeschutz (siehe Abschnitt 1.4.3.2) wird empfohlen, die Einhaltung der Raumtemperaturanforderungen der EN 16798 bzw. dem Nationalen Vorwort/Anhang und der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.5 bedarfsweise an Hand thermischer Gebäudesimulationen (dynamischer Berechnungsverfahren) für exemplarisch ausgewählte Räume zu überprüfen, soweit keine gesicherte Einschätzung (z. B. an Hand vergleichbarer Fälle) möglich ist.

1.4.4. Anforderungen an die lokale thermische Behaglichkeit

Thermische Unbehaglichkeit kann durch Zugluft, Asymmetrie der Strahlungstemperatur, ungünstige vertikale Lufttemperaturdifferenzen und zu hohen oder niedrigen Fußbodenoberflächentemperaturen ausgelöst werden. Um dies zu verhindern, sind Mindestanforderungen bei der Auslegung von Gebäuden und der Gebäudetechnik zu beachten. EN 16798-1, Tabelle B.3 (siehe auch Nationaler Anhang) gibt Standardkriterien. Empfohlen werden die Auslegungskriterien der Kategorie IEQ II (z. B. max. Luftgeschwindigkeit $< 0,16 \text{ m/s}$ im Winter und $< 0,19 \text{ m/s}$ im Sommer, vertikale Lufttemperaturdifferenz Kopf Fuß max. 3 K). Bei Bedarf wird auf die ausführlicheren Betrachtungen der DIN EN ISO 7730 – Ergonomie der thermischen Umgebung – verwiesen.

1.4.5. Anforderungen an die Raumluchtfeuchte

1.4.5.1 ASR A3.6 Lüftung

Gemäß der ASR A3.6 braucht die Raumlucht üblicherweise nicht befeuchtet zu werden. Fallen jedoch betriebstechnisch oder arbeitsbedingt Feuchtelasten im Arbeitsraum an, dürfen aus physiologischen Gründen die Werte nach Tabelle 2 der ASR A3.6 (z. B. max. 55 % relative Luftfeuchtigkeit bei 26 °C Lufttemperatur oder 80 % bei 20 °C) nicht überschritten werden, es sei denn, die Natur des Betriebes erfordert höhere Luftfeuchten (z. B. Schwimmbad). Witterungsbedingte Feuchteschwankungen bleiben unberücksichtigt. Hohe Luftfeuchten an Raumbegrenzungsflächen können zur Befeuchtung von Bauteilen und zur Schimmelbildung führen. Sie sind daher zu vermeiden. Die Raumbegrenzungsflächen sind gemäß ASR A 3.6 so auszuführen, dass gegen Schimmelbildung vorgebeugt wird.

1.4.5.2 DIN EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2

Die DIN EN 16798, Teil 1 gibt unter dem Abschnitt B.3.3 den Hinweis, dass Be- oder Entfeuchtung üblicherweise nur in speziellen Gebäuden, wie z. B. in Museen und einigen Gesundheitseinrichtungen, erforderlich sind. Bei Gebäuden, die keinen anderen Anforderungen als denen der menschlichen Nutzung unterliegen (z. B. Büros), ist eine Be- oder Entfeuchtung gewöhnlich nicht erforderlich. Aus Gründen der Behaglichkeit bei sehr kalter Witterung im Winter kann gemäß DIN EN 16798-1 bei der Auslegung von Außenluftvolumenströmen der Kategorien IEQ I und II eine Feuchterückgewinnung vorgesehen werden.

Vor dem Hintergrund vorstehender Ausführungen wird empfohlen, besondere Forderungen an die Raumlufffeuchte mit dem Nutzer des Gebäudes frühzeitig im Zuge der Aufstellung der Planungsgrundlagen festzulegen. Dürfen aus Nutzungsgründen bestimmte Grenzwerte nicht über- bzw. unterschritten werden, sind Maßnahmen zur Befeuchtung bzw. Entfeuchtung zu treffen.

Die relative Raumlufffeuchte wird hinsichtlich des menschlichen Wohlbefindens in Abhängigkeit der Raumtemperatur im Bereich von 30 bis 65 % als optimal eingeschätzt.

1.4.5.3 VDI 6022

Über die Ausführung und den hygienischen Betrieb der Befeuchtungseinrichtungen gibt die VDI 6022 – wichtige Hinweise. Neben den hygienischen Aspekten sind auch der Instandhaltungs- und Betriebsaufwand sowie die Energiekosten der verschiedenen Befeuchtungssysteme zu berücksichtigen. Auf Grund dessen ist die Forderung einer Luftbefeuchtung immer kritisch zu überprüfen.

1.4.6. Hygienemanagement in der Bauphase

Zur Sicherstellung der Hygiene in RLT-Anlagen ist ein Hygienemanagement bereits während der Bauphase notwendig. Dieses begünstigt das Gelingen der Hygieneerstinspektion gemäß VDI 6022 zur Abnahme nach Fertigstellung. Unter Hygienemanagement ist die Überwachung und Kontrolle wesentlicher Ausführungsschritte im Rahmen der Installation von RLT-Anlagen und deren Komponenten zu verstehen. Dabei werden u. a. Sichtkontrollen, z. B. in Luftleitungen oder luftführenden Doppelböden durchgeführt. Ebenso werden die Anforderungen an Transport, Lagerung und Montage raumlufftechnischer Komponenten überprüft.

2. Grundlagen

2.1. Systeme

Bei der Festlegung der Anlagensysteme und Bauelemente ist darauf zu achten, dass diese bedarfs- und funktionsgerecht sowie energiesparend und nachhaltig geplant werden. Dies gilt auch für den stufenweisen Ausbau von RLT-Anlagen bei umfangreichen Bauvorhaben. Zur Sicherstellung des Gesundheitsschutzes von Personen sind der Planung, der Ausführung sowie dem Betrieb die Hygieneanforderungen gemäß VDI 6022 zu Grunde zu legen.

2.1.1. Strömungsformen im Raum

Grundsätzlich sollte Zuluft direkt in die Aufenthaltszonen eingebracht werden. Die Gesamtbeaufschlagung des Raumvolumens kann dadurch reduziert und in Folge dessen Energie eingespart werden. Folgende grundlegende Strömungsformen gibt es:

Systeme bei denen der Impuls der Zuluftzuführung die Strömung im Raum bestimmt (turbulente Mischluftströmung):

Die Zuluft wird energetisch aufwendig mit hohem Eintrittsimpuls eingeführt, um durch Induktion eine möglichst gute Mischung zwischen Zu- und Raumlufte zu erreichen. Örtliche Unterschiede von Temperaturen und Stoffkonzentrationen (Feuchte, Rauch, Gerüche usw.) sind bei Mischluftströmung gering, so dass die Anordnung der Abluftabsaugung ohne wesentlichen Einfluss auf die Raumlufteströmung ist. Bei der Auslegung der Zuluftdurchlässe sind die geplanten Teillastzustände zu berücksichtigen. Intermittierende und instationäre Raumlüftungen verbessern im Teillastbetrieb die Lüftungseffektivität sowie die Luftdurchmischung des Raumes.

Systeme bei denen die Konvektion der Wärmequellen die Strömung im Raum bestimmt (turbulenzarme Verdrängungsströmung):

Die Zuluft wird mit niedrigen Geschwindigkeiten und niedrigem Turbulenzgrad über entsprechend große Flächen in den Raum eingeführt, um möglichst eine geringe Mischung zwischen Zu- und Raumlufte zu erreichen.

Bei der Quelllüftung strömt die Zuluft im unteren Raumbereich mit einer geringen Untertemperatur (2 bis 4 K) in den Raum. Durch die auf Grund der Dichteunterschiede entstehende stabile Luftschichtung kommt es zu einer aufwärts gerichteten Strömung geringster Geschwindigkeit, aus der sich die Auftriebsströme örtlicher Wärmequellen herauslösen. Die Höhe der Frischluftschicht ist abhängig vom Verhältnis der thermischen Auftriebsströme zu dem eingeführten Zuluftvolumenstrom. Unterhalb der Mischzone wird im Raum eine deutlich bessere Luftqualität erreicht als unter gleichen Bedingungen mit einem Mischluftströmungssystem. Auf Grund des im gesamten Raum niedrigen Turbulenzgrades der Luftströmung werden bei diesem System bezüglich der Luftbewegung sehr gute Komfortbedingungen erreicht.

Systeme bei denen Lufteintrittsfläche und Luftgeschwindigkeit die Strömung bestimmen (laminare Verdrängungsströmung):

Die Verdrängungswirkung kann durch eine vollflächige oder partielle Kolbenströmung im Raum (laminare Strömung) erreicht werden. Die laminare Strömung erlaubt es, auf der angeströmten Seite von Arbeitszonen fast Zuluftqualität, z. B. bezüglich Partikelkonzentration, zu erreichen. Voraussetzung ist eine Geschwindigkeit der Kolbenströmung, die eine Mischungsfördernde Auftriebsströmung örtlicher Wärmequellen entgegen der Kolbenströmungsrichtung zuverlässig unterdrückt. Die erforderlichen Luftwechsel und der bautechnische Aufwand bei einer überwiegenden Anwendung in der OP-, Reinraum- sowie Messtechnik sind daher außerordentlich hoch.

2.1.2. Nur-Luft-Systeme

Zentrale Lüftungsanlagen mit konstantem Volumenstrom (KVS-Anlagen)

Nur-Luft-Anlagen mit konstanten Volumenströmen entsprechen der einfachsten Ausführung von RLT-Anlagen. Die einfache technische Konzeption mit niedrigen Investitions- und Betriebskosten bietet keine individuelle Regelmöglichkeit für einzelne Räume. Sie ist daher dann einzusetzen, wenn gleichartige Räume mit nahezu identischen Nutzungsprofilen versorgt werden müssen. Es ist ein strömungsgünstig ausgebildetes Leitungsnetz mit relativ großem Platzbedarf erforderlich. Nachteilig ist der hohe Energieverbrauch für die Luftförderung.

Zentrale Lüftungsanlagen mit variablem Volumenstrom (VVS-Anlage)

VVS-Anlagen ermöglichen ein energiesparendes RLT-Konzept mit guter Anpassung an örtlich und zeitlich wechselnde Lasten, individueller Raumtemperaturregelung durch Veränderung der Volumenströme, zeitweiser Volumenstromreduzierung bzw. Abschaltung von Räumen bei Nichtbenutzung. Die Auslegung der Zentralen erfolgt unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeiten. Bei der Auslegung der Luftdurchlässe müssen die veränderlichen Luftvolumenströme Berücksichtigung finden. VVS-Anlagen erfordern einen relativ hohen Aufwand an Investitionen und Regeltechnik.

2.1.3. Luft-Wasser-Systeme

Zentrale Lüftungsanlagen mit dezentraler Konditionierung (z. B. Induktionsgeräten, Multisplit-, VRF (Variable Refrigerant Flow-Geräte)

Der Einsatz ist bei großen Unterschieden in den thermischen Lasten der zu versorgenden Räume sowie hohen Ansprüchen an die individuelle Regelbarkeit sinnvoll. Induktionsanlagen haben bei hohen thermischen Lasten meist vorteilhafte Investitions- und Instandhaltungskosten und bieten eine gute Anpassung an örtlich und zeitlich wechselnde thermische Lasten. Die Induktions-, Multisplit- und VRF-Geräte können bei Stillstand der RLT-Anlage die Heiz- bzw. Kühllast ganz oder teilweise übernehmen.

Zentrale Lüftungsanlagen mit thermisch aktiven Raumflächen (z. B. Kühldecken, Kühlsegel, Bauteilaktivierung)

Die Anwendung von KVS-Anlagen kombiniert mit Kühldecken oder Kühlsegeln ist z. B. bis zu Kühllasten von ca. 100 W/m² sinnvoll. Diese Kühllast sollte zu 20 % durch den hygienischen Luftaustausch der RLT-Anlage und 80 % durch die Kühldecke/Kühlsegel abgeführt werden. Kühldecken/-Segel-Anlagen ermöglichen eine individuelle Raumtemperaturregelung und erreichen besonders günstige Komfortbedingungen.

Mit thermisch aktiven Raumflächen (wie z. B. Kühldecken, -segel) kann ganzjährig geheizt und gekühlt werden. Dabei sollte in Abhängigkeit der energetischen Qualität des Gebäudes möglichst auf ein konventionelles Heizsystem verzichtet werden, wodurch sich investive Einsparungen ergeben. Die Flächentemperierung ermöglicht zudem im Heizfall etwas geringere Raumlufttemperaturen und im Kühlfall etwas höhere (ca. 2 – 3 K), was Energiekosteneinsparungen ermöglicht.

Bei der Bauteilaktivierung werden komplette Speicherbauteile (Wände, Massivdecken) temperiert. Der Einsatz einer Bauteilaktivierung ist in der Regel nur sinnvoll, wenn eine Heiz- und eine Kühllast abgedeckt werden soll. Es werden niedrige Systemtemperaturen benötigt, um bevorzugt die natürlichen Wärmequellen (Grundwasser, Erdsonden, Solarthermie) nutzen zu können und um eine Unterschreitung des Oberflächentaupunktes vermeiden. Der Leistungsbereich der Bauteilaktivierung liegt wie folgt:

- im Heizfall: 20 – 30 W/m², Vorlauftemperatur: 26 – 29 °C
- im Kühlfall: 20 – 40 W/m², Vorlauftemperatur: 20 °C

Aufgrund der Trägheit und der niedrigen Systemtemperaturen eignet sich die Bauteilaktivierung in der Regel nur für die Abdeckung der Grundlasten (siehe hierzu AMEV Wärmeversorgungsanlagen Teil 1: Planung und Bau 2021 unter Kapitel 5.3.5).

Dezentrale Umluftanlagen (z. B. Ventilator-konvektoren)

Die Anlagen führen sehr hohe thermische Lasten (z. B. in Labor- oder DV-Räumen) ab bei geringer Behaglichkeit. Bei der Anlagenauslegung ist besonderes Augenmerk auf die Schalldruckwerte des raumseitigen Ventilators sowie auf die Raumluftströmung (Vermeidung von Zugerscheinungen) zu richten.

2.1.4. Freie Kühlung durch Außenluft (direkte und indirekt)

Bei der direkten freien Kühlung wird das thermische Potenzial der Außenluft durch Fensterlüftung oder durch die Zuluft einer RLT-Anlage den Räumen zugeführt. Arbeitsräume mit thermisch wirksamen Oberflächen können durch kühle Nachtluft (Nachtauskühlung) temperiert werden, um so bei sommerlichen Tagestemperaturen die Raumerwärmung zu dämpfen. Der Kühleffekt setzt voraus, dass die Außen- bzw. Zulufttemperatur kleiner als die Raumlufttemperatur ist. Auf die entsprechende Bypass-Einstellung des WRG-Systems ist zu achten. In Kombination mit baukonstruktiven (Abschnitt 1.3) und organisatorischen Maßnahmen können, abhängig vom Außenluftvolumenstrom und von der Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und Raumluft, Kühllasten bis 30 W/m² ohne aktive Kühleinrichtungen abgeführt werden.

Bei der indirekten freien Kühlung wird das Außenluftpotenzial nicht direkt, sondern entkoppelt über einen Wärmeübertrager (z. B. die WRG) genutzt. Die freie Kühlung kann auch genutzt werden, um über mehrfachfunktionale WRG-Systeme das Kältepotenzial für andere Prozesse (z. B. Kühldecke) zu nutzen, wenn auch in den Wintermonaten Kälte benötigt wird.

2.1.5. Adiabate Fortluftkühlung

In der Fortluftanlage kann die Abluft durch Zufuhr von 3 bis 5 g verdunstetem Wasser/(m³Luft) um 6 bis 10 K abgekühlt und das Kältepotenzial über das Wärmerückgewinnungssystem entsprechend der Rückwärmezahl (Temperaturänderungsgrad) an den Zuluftvolumenstrom übertragen werden. Kältemaschinen und Rückkühlwerke können durch diese Maßnahme mit erheblich geringerer Leistung ausgelegt werden oder gar entfallen. Die insgesamt erzielten Einsparungen sind den Mehrkosten für die adiabate Befeuchtung gegenüber zu stellen.

Die Wirkung der Verdunstungskühlung kann verbessert werden, wenn die Befeuchtung der Abluft direkt auf der Oberfläche des Wärmeübertragers (Hybridsystem) erfolgt. Hybride Befeuchtungssysteme können auch mehrstufig ausgeführt werden, da kein zusätzlicher Druckabfall erzeugt wird. Durch die mehrstufige Befeuchtung wird die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz in der WRG erhöht. Dadurch erhöht sich die Leistung der Verdunstungskühlung um rund 20 bis 30 % gegenüber einer einstufigen Befeuchtung.

2.1.6. Feuchterückgewinnung

Lüftungsanlagen, die neben Wärme auch Feuchte aus der Abluft zurückgewinnen, setzen im Wesentlichen drei verschiedene Techniken ein:

- Enthalpie-Verfahren in Plattenwärmeübertragern,
- Sorptions-Verfahren in Rotationswärmeübertragern oder Umschaltspeichern,
- Kondensations-Verfahren in Rotationswärmeübertragern oder Umschaltspeichern.

Es ist zu vermeiden, dass es durch Wärme- und Feuchterückgewinnungssysteme zur Übertragung von Abluft in die Zuluft kommt. Das kann durch die Anordnung von Überdruck auf der Zuluftseite gegenüber dem Abluftbereich verhindert werden. Es sollte sichergestellt werden, dass kein Infektionsrisiko durch Übertragung von Krankheitserregern von der Abluft auf die Zuluft ausgeht

2.1.7. Entfeuchtungskälterückgewinnung

Die mehrfachfunktionale Wärmerückgewinnung kann auch zur Entfeuchtung der Luft eingesetzt werden. Dazu ist die Außenluft unter den Taupunkt zu kühlen. Die sensible Kühlung erfolgt in der Regel mithilfe der indirekten Verdunstungskühlung und mittels z. B. mechanischer Kälteerzeugung. Um den Energiebedarf für die latente Kühlung weiter zu minimieren, lässt sich ein Großteil der latenten Entfeuchtungskälte zurückgewinnen.

Dazu wird die mehrfachfunktionale Wärmerückgewinnung in der Außenluft mindestens in zwei Register aufgeteilt. Zwischen den Registern wird zur latenten Entfeuchtung Kälte über den Wärmeträgerkreislauf eingekoppelt. Danach wird die so entfeuchtete und unterkühlte Luft durch das in Luftrichtung letzte Register geführt. In diesem findet eine Nacherwärmung der Außenluft statt, die gleichzeitig den Wärmeträger vor der Kälteeinkopplung vorkühlt. Diese Vorkühlung verringert die einzuspeisende Kälteleistung deutlich und die Nacherwärmung kann ohne zusätzlichen Energieaufwand realisiert werden.

2.1.8. Hybride Lüftungssysteme

Lüftungstechnische Konzepte, bei denen natürliche Antriebskräfte (thermischer Auftrieb, Wind) und mechanische Antriebskräfte (Ventilatoren) kombiniert werden, tragen die Bezeichnung hybride Systeme. Die im Gebäude vorhandenen Fenster sind fester Bestandteil des Lüftungskonzeptes und müssen mit Beginn des Planungsprozesses bekannt sein. Die natürliche Lüftung sollte umfassend genutzt werden, während die mechanische Lüftung erst zum Einsatz kommt, wenn beispielsweise Witterungsverhältnisse oder Außengeräusche dies erfordern.

2.1.9. Zentrale/ Dezentrale/ Semizentrale Lüftungsanlagen

Von Bedeutung ist die Frage der Zentralisierung, Dezentralisierung sowie ggf. auch die Kombination von RLT-Anlagen im Gebäude, die unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit zu untersuchen ist. Folgende Gesichtspunkte spielen dabei eine Rolle:

- Größe, Nutzung (Art, Betriebszeit) und Lage der zu versorgenden Bereiche,
- Platzbedarf für Geräte und Leitungen,
- Zur Verfügung stehender Technik-/ Aufstellungsraum (z. B. statische Randbedingungen),
- Zugänglichkeit für Instandhaltung, Ersatz,
- Lastschwerpunkte im Gebäude,
- Anordnung der Außenluftansaug- und Fortluftaustrittsöffnungen am Gebäude,
- Umfang und Häufigkeit von Teillastbetriebszuständen unter Berücksichtigung der Jahresbetriebsstunden (Vollbenutzungsstunden),
- Brandschutztechnische Anforderungen (z. B. wenig Durchdringungen von Brandabschnitten),
- Schallschutztechnische Anforderungen,
- Einsatz von zentralen Wärmerückgewinnungssystemen,
- Störungs- und Ausfallauswirkungen bei starker Zentralisierung,
- Anordnung von Rückkühlwerken,
- Gebäudeart, Geschoss-, Schachttyp, Abschottungen und Schleusen im Gebäude.

Die im Anhang 7.1.3 angefügten Kriterien für den Vergleich zentraler und dezentraler Systeme bieten eine Hilfestellung.

Eine Kombination aus zentralem und dezentralem Lüftungssystem ist die sogenannte semizentrale Lüftung, bei der in der zentralen RLT-Anlage dezentral Ventilatoren zur unterstützenden zonen-/bereichsweisen Luftförderung eingesetzt werden. Volumenstromregler können dadurch entfallen und Antriebsenergie durch bedarfsangepasste Luftvolumenströme in den jeweiligen Nutzungszonen eingespart werden.

Abwägende Untersuchungen und daraus resultierende Investitions- sowie Energie- und Betriebskostenermittlungen sollen im frühestmöglichen Stadium der Planung wirtschaftlich bewertet werden, da dann noch Spielräume für Änderungen und wirtschaftliche Optimierungen gegeben sind.

2.2. Geräte und Komponenten

Für die Auslegung der RLT-Geräte ist die Einhaltung der Anforderungen gemäß Ökodesign-Verordnung 1253/2014 entscheidend. Die Konformität der Geräte mit den Anforderungen der Verordnung wird in einer Eigenerklärung durch den Hersteller bestätigt (EG-Konformitätserklärung, CE-Kennzeichen). Der Hersteller trägt die Verantwortung für die Übereinstimmung seiner Produkte mit den spezifischen Ökodesign-Anforderungen (siehe auch Abschnitt 2.3.1).

2.2.1. Luftleitungen

Niedriger Energiebedarf, hohe Dichtheit, geringe Druck- und Wärmeverluste und günstige hygienische Bedingungen sind wesentliche Kostenfaktoren für den Betrieb von RLT-Anlagen und stehen in direktem Zusammenhang mit der Dimensionierung der Luftleitungen. Zur Reduzierung der Antriebsleistung der RLT-Geräte ist ein wirtschaftliches Optimum zwischen Leitungsquerschnitt und Luftgeschwindigkeit zu bestimmen. Anforderungen an die spezifische Ventilatorleistung (vgl. Kapitel 2.3.1) machen geringe Luftgeschwindigkeiten erforderlich. Luftgeschwindigkeiten im Luftleitungsnetz von max. 5 m/s (ggf. höher bei prozesstechnischen Anlagen) werden empfohlen. Ferner ist auf günstige Strömungsverhältnisse im Luftleitungsnetz zu achten, um Druckverluste und Strömungsgeräusche zu minimieren.

In Anlehnung an die DIN EN 16798-3 und VDI 3803 Teil 1 wird als allgemeine Mindestanforderung an Luftleitungen die Dichtheitsklasse ATC 4 (Klasse B gem. DIN EN 13779) definiert, ATC 3 (Klasse C gem. DIN EN 13779) wird empfohlen. Die Dichtheitsklasse ATC 2 (Klasse D) wird bei sehr hohen Dichtheitsanforderungen (z. B. sehr hohe Anforderungen an Hygiene wie z. B. in Behandlungsbereichen von Krankenhäusern) nahegelegt.

Für die Materialauswahl sind in besonderen Fällen die Gesichtspunkte des Brandschutzes, der Hygiene und der Korrosionsbeständigkeit zu berücksichtigen. Sie bestehen meist aus verzinktem Stahlblech in Rund- und Rechteckform, gefalzt oder geschweißt. Auch Aluminium und Edelstahlbleche kommen zum Einsatz. Luftführende Oberflächen müssen glatt sein, um Schmutzablagerungen zu vermeiden.

2.2.2. Reinigungsöffnungen

Um die hygienischen Anforderungen (VDI 6022) zu erfüllen, sind Luftleitungen mit Reinigungsöffnungen zu versehen, so dass das komplette Leitungssystem gereinigt werden kann. Die Einbaulage aller Reinigungsöffnungen muss aus den Montage- und Revisionsplänen ersichtlich sein. Hinweise gibt die DIN EN 12097.

Die erforderliche Anzahl und Anordnung von Reinigungsöffnungen richtet sich nach der Ausgestaltung (Größe, Verlauf, Einbauteile, Zugänglichkeit etc.) der jeweiligen Luftleitungen sowie nach der geplanten Reinigungsmethode.

2.2.3. Ventilatoren und Lüftungsgeräte

Bei der Auswahl und dem Einbau von Ventilatoren ist die VDI 3803 zu beachten.

Hauptkenndaten von Ventilatoren sind:

- Luftvolumenstrom
- Förderdruck
- Antriebsleistung
- Schallemission
- spezifische Ventilatorleistung
- Einbaurichtung / Einbauart

Auf Grund der hygienischen Anforderungen der VDI 6022 sollten in der Regel Ventilatoren ohne Riemenantriebe (insbesondere Freiläufer) zum Einsatz kommen.

Ventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln sind vorzuziehen. Der Einsatz von Energiesparmotoren wird generell empfohlen. Abhängig vom Regelbereich sollte der Einsatz der stufenlosen Drehzahlregelung mit Frequenzumformern bevorzugt werden.

Auf die Anforderungen an die spezifische Ventilatorleistung wird in Abschnitt 2.3.1 eingegangen.

2.2.4. Luftfilter

Luftfilter tragen dazu bei, die geforderte Luftqualität in den belüfteten Bereichen zu sichern und die Anlagenkomponenten sowie das luftführende Leitungsnetz vor Verschmutzung zu schützen.

Zur Filterung von Partikeln werden in der Raumluftechnik hauptsächlich Filter aus Glasfasern und synthetischen Faserstoffen sowie Metallfilter eingesetzt. Auf Sonderfälle beschränkt ist der Einsatz von Aktivkohlefiltern zur Adsorption gasförmiger Stoffe. Hierzu zählen Gerüche aus Küchen, aber auch Dämpfe und Gase aus Prozessen sowie radioaktive Gase. Randbedingungen für den Einbau sowie Qualitäten an die Luftfilter sind in der VDI 6022 Blatt 1 und VDI 3803 Blatt 1 und Blatt 4 definiert. Gemäß VDI 6022 Blatt 1 sind in RLT-Anlagen und -Geräten nur Luftfilter einzusetzen, die nach DIN ISO 16890-1 oder DIN EN 1822 (Schwebstofffilter) geprüft und einzeln sichtbar gekennzeichnet sind.

Für die im Gültigkeitszeitraum der ehemaligen DIN EN 779 errichteten RLT-Anlagen können auch Filter eingesetzt werden, die nach DIN EN 779 geprüft sind.

Nach der Richtlinie DIN EN ISO 16890 wird der Feinstaub in drei Fraktionen eingeteilt: PM₁₀, PM_{2,5} und PM₁. Jede davon besteht aus einem Teilchengemisch zwischen 1110 µm, 2,5 µm oder 0,3 µm und 1. Ein Luftfilter wiederum wird einer dieser Fraktionen zugewiesen, wenn er im Test mindestens 50 Prozent des entsprechenden Staubgemischs abscheidet.

Eine Orientierung für den Vergleich der aktuellen mit den bisherigen Filterklassen ermöglicht die folgende Tabelle 2 des Fachverbandes Gebäude-Klima FGK (Status Report 44 11/2017):

Bisher DIN EN 779	DIN EN ISO 16890
M 5	ePM 10 $\geq$ 50 %
M 6	ePM 2,5 $\geq$ 50 %
F 7	ePM 1 $\geq$ 50 %
F 8	ePM 1 $\geq$ 70 %
F 9	ePM 1 $\geq$ 80 %

Tabelle 2: Gegenüberstellung Filterklassen DIN EN 779 gegenüber DIN EN ISO 16890

Erläuterung: z. B. bedeutet „ePM 10 $\geq$ 50 %“ einen Feinstaubabscheidegrad von $\geq$ 50 % für Partikel bis 10 µm

Die Mindestfilterklassen sind abhängig von der Außenluft- (ODA) und der gewünschten Zuluftqualität (SUP). Die DIN EN 16798-3, Tabelle 16 beschreibt entsprechende Mindestfilterqualitäten.

Aus Gründen der Hygiene empfiehlt die VDI 6022 Blatt 1 den Einsatz von zwei Filterstufen. Die erste Filterstufe dient dem Schutz der Komponenten, die zweite Filterstufe stellt die Zuluftqualität sicher.

Bei der Auslegung von Luftfiltern ist auf einen geringen Anfangsdruckverlust und ein hohes Staubspeichervermögen zu achten. Der vom Hersteller genannte Nenn-Luftvolumenstrom der Filter sollte nicht überschritten werden, da die Abscheideleistung mit steigender Filterbelastung nachlässt.

Auf Basis der bekannten PM₁₀ Belastung mit Berücksichtigung der Partikelverteilungsdichte am Aufstellungsort kann der Filter nach DIN EN 16890-1 berechnet und ausgelegt werden.

Die Standzeit ist der Einsatzzeitraum eines Filters bis zu seinem Austausch. Die max. zulässigen Filterendwiderstände der einzelnen Filterklassen sind in der DIN EN 13053 definiert. Der von den Herstellern empfohlene Enddruckverlust liegt in der Praxis aufgrund der energetischen Kriterien zumeist deutlich niedriger.

Die VDI 6022 empfiehlt aus hygienischer Sicht den Filterwechsel der 1. Filterstufe nach spätestens 12 Monaten, den der 2. Filterstufe nach 24 Monaten. Bei Küchen gelten kürzere Fristen entsprechend VDI 2052. Um den bestimmungsgemäßen Betrieb eines Filters sicherzustellen, ist der sofortige Austausch der Filter notwendig, wenn auf der Anströmseite ein Filterkuchen entsteht. Als Filterkuchen wird das Zusammenbacken von Schmutzteilchen auf der Filteroberfläche bezeichnet. Die Bildung eines Filterkuchens ist mit einem signifikanten Anstieg des Druckverlustes verbunden und liegt bei Grobstaubfiltern bei ca. 150 Pa und bei Feinstaubfiltern bei etwa 300 Pa. Ein vorzeitiger Filterwechsel ist nach 2.500 Betriebsstunden oftmals wirtschaftlicher. Wegen des Staubeintrages während der Bau- und Probetriebsphase müssen die Filter vor der Übergabe an den Nutzer gewechselt werden.

Ein mikrobielles Wachstum (Schimmelpilz, Bakterien, Hefen) auf Luftfiltern ist durch geeignete Maßnahmen zu verhindern. Dies kann gemäß VDI 6022 und VDI 3803 durch die Vermeidung einer langanhaltenden hohen relativen Luftfeuchte im Bereich der Luftfilter erfolgen.

Für die 1. Filterstufe (Vorfilter) kann eine Durchfeuchtung durch die Beimischung vorerwärmter Luft vor dem Filter oder periodische Aufwärmung bei Anlagenstillstand vermieden werden. Für die höheren Filterstufen sind zur Vermeidung lang anhaltender relativer Luftfeuchten entsprechende Regelstrategien erforderlich.

Das Auswechseln der Luftfilter ist von der Staubluftseite vorzusehen. Zur Überwachung des Filterwiderstandes sind Differenzdruckmessgeräte anzubringen. Gemäß Ökodesign-Verordnung 1253/2014 für RLT-Anlagen sind für Filter in Lüftungsanlagen Filterüberwachungen mit optischem oder akustischem Signal bei Überschreitung des höchstzulässigen Filterenddruckes vorzusehen. Die optische Kontrollmöglichkeit der Filterkammern ist sicherzustellen.

Beim Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen (WRG-Anlagen) ist die Filterung der Abluft zur Sicherstellung hoher Rückwärmezahlen notwendig.

Für besondere funktionelle Anforderungen (z. B. Reinraumtechnik, Gesundheitswesen) werden höherwertigere Filterklassen eingesetzt.

2.2.5. Luftbefeuchtungseinrichtungen

In der Raumluftechnik kommen vier Befeuchtungsverfahren zur Anwendung: Dampfbefeuchtung, Aerosolzerstäubung, Verdunstungsbestäubung, Hybridbefeuchtung. Alle Luftbefeuchter-Bauarten verursachen einen hohen Betriebsaufwand.

Bei der Planung von Einrichtungen zur Luftbefeuchtung sind Maßnahmen zum Schutz vor Verkeimung der Befeuchteranlagen bzw. der nachfolgenden Anlagenbereiche unabdingbar. Zudem sind die Anforderungen der VDI-Richtlinie 6022 sowie des GEG §66 für die Errichtung von Luftbefeuchtungseinrichtungen einzuhalten.

Dampfbefeuchter, die Befeuchtungsart mit der besten Hygiene, arbeiten überwiegend mit Dampfzylindern, in denen meist mit elektrischer Energie Dampf erzeugt wird. In den Zylindern setzen sich Härtebildner (Kalk, Kalkseifen) ab, so dass die Zylinder betriebsstundenabhängig auszutauschen sind.

2.2.6. Wärmeübertrager

Wärmeübertrager für RLT-Anlagen unterscheiden sich von der Bauart her in den verwendeten Werkstoffen, in der Art der Wärmeübertragungsflächen sowie in der Fließrichtung des Wärmeträgers in Bezug auf den Luftstrom (Gleichstrom, Gegenstrom, Kreuzstrom). Für RLT-Anlagen werden zur Heizung, Kühlung und Wärmerückgewinnung vorwiegend wasserbeaufschlagte, berippte Rohrbündel-Wärmeübertrager im Gegenstrom eingesetzt.

Zur Inspektion und Reinigung sowie gegebenenfalls zur Desinfektion sind Wärmeübertrager beidseitig zugänglich zu gestalten (bis lichte Gerätehöhe von 1,6 m ausziehbar, ohne andere Einbauteile abbauen zu müssen). Die speziellen Anforderungen an die Wärmeübertrager im Krankenhausbau werden in der DIN 1946 Teil 4 beschrieben.

Kühleraggregate mit Taupunktunterschreitung sind grundsätzlich mit Kondensatwannen mit Ablauf am tiefsten Punkt und allseitigem Ablaufgefälle auszustatten. Für Kühler ist ein frei auslaufender spülbarer Abfluss mit Rückschlagsyphon vorzusehen.

2.2.7. Wärmerückgewinnung (WRG)

In RLT-Anlagen kommen folgende WRG-Arten zum Einsatz:

- Regenerative WRG (Temperatur- und Feuchteübertragung)
- Rekuperative WRG (nur Temperaturübertragung)

Eine Übersicht zu Grundlagen, Kennzahlen sowie Planungskriterien finden sich in der VDI 3803 Blatt 5. Ausführungen zum Thema Energieeffizienz folgen im Abschnitt 2.3.2.

2.2.8. Drossel- und Jalousieklappen

Einfache Blechklappen in Luftleitungen dienen dem Abgleich der Luftvolumenströme bei der ersten Einregulierung der Anlage. Die korrekte Stellung sollte für spätere Kontrollen markiert sein.

Jalousieklappen bestehen aus mehreren einzelnen Lamellen, die über ein Gestänge miteinander verbunden sind. Anwendungsbereiche sind u. a. in Außen- und Fortluftleitungen sowie in Mischkammern. Bei Außen- und Fortluftklappen ist darauf zu achten, dass diese in der Endlage dicht schließen.

Bei der Auslegung von Drossel- und Jalousieklappen ist zu beachten, dass eine gute Drosselwirkung nur dann eintritt, wenn der Widerstand der geöffneten Klappe einen gewissen Teil des Gesamtwiderstandes des betreffenden Kanalsystems ausmacht.

Druckentlastungsklappen in Kanal-, Geräte- oder Raumwänden öffnen selbsttätig, wenn der zulässige Druck im betrachteten Bereich überschritten wird. Im Normalfall sind sie geschlossen.

2.2.9. Brand- und Rauchschutzklappen

Werden feuerwiderstandsfähige Wände oder Decken von Lüftungsleitungen durchdrungen sind Brand- bzw. Rauchschutzklappen einzubauen. Randbedingungen zur Anordnung sind

den länderspezifischen Lüftungsanlagen-Richtlinien bzw. der Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LüAR) zu entnehmen.

Werden Brand- und Rauchschutzklappen eingesetzt, sind die Verwendbarkeitsnachweise der Hersteller zu beachten. Die Nachweise sollten in der Leistungsausschreibung gefordert und im Werkvertrag festgehalten werden.

2.2.10. Volumenstromregler und Mischkästen

Volumenstromregler werden eingesetzt, um selbsttätig über den Leitungsdruck für einen konstanten Volumenstrom (feste Sollwerte) zu sorgen oder über einen Stellmotor eine Veränderung des Volumenstromes (variable Sollwerte) zu erreichen.

Bei hohen Differenzdrücken werden aus Schallschutzgründen oft Volumenstromregler in schallgedämmter Ausführung sowie schalldämpfende Maßnahmen im Kanalnetz erforderlich.

2.2.11. Luftdurchlässe

Neben der Auslegung der RLT-Anlage beeinflusst die Wahl der Luftdurchlässe die thermische Behaglichkeit im Raum entscheidend. Die Luftführung im Raum wird maßgeblich durch die Art und die Lage der Zuluftdurchlässe bestimmt. Wesentliche Kriterien für die Auswahl der Luftdurchlässe sind Zu- und Raumlufttemperatur, spezifische Raumkühllast sowie Ausblas- bzw. Raumhöhe.

Für Mischlüftung kommen Zuluftauslässe mit hohem Austrittsimpuls zum Einsatz (z. B. Drallauslässe, Weitwurfdüsen). Quellluftauslässe haben eine großflächige Öffnung, um die Zuluft impulsarm in den Raum einbringen zu können.

Auch wenn Art und Lage der Abluftdurchlässe einen geringen Einfluss auf das Strömungsbild im Raum haben, ist die Abluft bei Räumen mit starken Wärme- und Stofflastquellen möglichst nahe an den betreffenden Quellen abzusaugen. Bei Quelllüftung wird die Abluft grundsätzlich im Deckenbereich entnommen.

2.3. Energieeffizienz

2.3.1. Kennwerte für elektrische Antriebsleistungen der Zu- und Abluftventilatoren

Beim Betrieb von RLT-Anlagen haben die Energiekosten für den Antrieb der Ventilatoren einen großen Anteil an den Gesamtbetriebskosten. Mit der konstruktiven Ausgestaltung der RLT-Anlagen und mit den gewählten Durchtrittsgeschwindigkeiten wird auf die erforderliche Druckdifferenz zur Luftförderung und damit auf die Ventilatorleistung der Anlage unmittelbar Einfluss genommen.

Zwingend einzuhaltende Vorgaben für RLT-Geräte macht die Ökodesign-Verordnung 1253/2014. Mit Inkrafttreten dieser Verordnung wurden die Mindestanforderungen an die innere spezifische Ventilatorleistung ($S_{VLint.}$) von RLT-Geräten (sowohl für Wohnräume als auch für Nichtwohnräume) zum 01.01.2016 und 01.01.2018 verschärft. Unter der inneren spezifischen Ventilatorleistung ist die Summe von SFP-Werten ($SFP = \text{Specific Fan Power}$) einzelner Basiskomponenten zu verstehen, aus denen sich das RLT-Gerät zusammensetzt. Zur Basisausstattung eines RLT-Gerätes gehören gemäß Ökodesign-Verordnung DIN EN 16798 neben Gehäuse, Ventilator und Antrieb, die Wärmerückgewinnung sowie Filter auf der Zuluft- und Abluftseite.

Die Verordnung gilt für Lüftungsgeräte, die durch Personen oder Gebäudeemissionen verunreinigte Luft in einem Gebäude durch Außenluft ersetzen. Ausnahmen gelten für industrielle oder produktionstechnische Prozesse (z. B. in thermisch hochbelasteten Räumen wie Rechenzentren, Serverräume sowie für Digestorien in Laboren, Dunstabzugshauben in Küchen). Ab einer Nennluftmenge $\geq 1000 \text{ m}^3/\text{h}$ werden RLT-Geräte als Nicht-Wohnraumlüftungsgeräte angesehen, $< 250 \text{ m}^3/\text{h}$ als Wohnraumlüftungsgeräte. Für Luftmengen dazwischen ist die Deklaration dem Hersteller überlassen. Für Nicht-Wohnraumlüftungsanlagen haben dabei die Anforderungen an die vorgeschriebene Wärmerückgewinnung (WRG) und an die Luftfilter an Einfluss gewonnen. Bei den Effizienzbetrachtungen der WRG wird zwischen Kreislaufverbundsystemen und sonstigen Systemen (z. B. Plattenwärmeübertrager) differenziert (siehe hierzu Abschnitt 3.2). Verantwortlich für die Einhaltung der Effizienzanforderungen sind die Gerätehersteller, die im Zuge des Inverkehrbringens oder der Inbetriebnahme der Lüftungsgeräte die Konformität des Gerätes mit der Verordnung bestätigen müssen.

Die Verschärfung der Energieeffizienzanforderungen hat in der Regel ein größeres Volumen der RLT-Geräte zur Folge und insofern einen vergrößerten Platzbedarf bei der Geräteaufstellung. Dies ist der Minimierung von Druckverlusten durch reduzierte Luftgeschwindigkeiten im Gerät ($\leq 2 \text{ m/s}$) geschuldet (z. B. Vergrößerung des Gerätequerschnitts um 25 % bei reduzierter Luftgeschwindigkeit von 2,4 auf 1,8 m/s und gleichem Luftvolumenstrom). Dieser Aspekt muss bei der Projektierung und Planung von RLT-Technikräumen beachtet werden. Sofern bei der Sanierung von RLT-Anlagen die vorhandenen baulichen und räumlichen Randbedingungen nur mit wirtschaftlich nicht vertretbarem Aufwand angepasst werden müssten oder technisch nicht geändert werden können, sind Lösungen zu finden, die der Effizienzanforderung technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar nahekommen. Mit der zu erwartenden Neufassung der Ökodesign-Verordnung im Jahr 2024 ist mit erhöhten Effizienzanforderungen zu rechnen.

Neben den vorbeschriebenen Anforderungen der Ökodesign-Verordnung für RLT-Geräte kategorisiert Tabelle 14 der DIN EN 16798-3 (Nachfolgenorm für die zurückgezogene DIN EN 13779) spezifische Ventilatorleistungen (SFP) in Bezug auf die gesamte RLT-Anlage bzw. das Gebäude. Die spezifische Ventilatorleistung SFP ist die auf das Fördervolumen bezogene Gesamtantriebsleistung je RLT-Anlage bzw. Gebäude. Demnach gibt es folgende Kategorien von Geräteeffizienzen (Tabelle 3):

Kategorie	SFP in $\left[W/\frac{m^3}{s}\right]$
SFP 0	< 300
SFP 1	≤ 500
SFP 2	≤ 750
SFP 3	≤ 1.250
SFP 4	≤ 2.000
SFP 5	≤ 3.000
SFP 6	≤ 4.500
SFP 7	> 4.500

Tabelle 3: Einteilung der spezifischen Ventilatorleistungen (SFP) in Kategorien

In der Praxis ist zu beachten, dass zusätzliche Druckverluste von besonderen Komponenten die spezifische Ventilatorleistung erhöhen (erweiterte spezifische Ventilatorleistung). Hierzu gibt Tabelle 15 der DIN EN 16798-3 Empfehlungen. Anwendungsspezifische Zuordnungen werden in einem noch in der Entwicklung befindlichen Nationalen Anhang zu erwarten sein. Grundsätzlich sind jedoch die SFP-Mindestanforderungen gemäß § 65 GEG zu erfüllen. Hieraus ergibt sich die Kategorie SFP 4. Auf Grund der Entwicklung der Energieeffizienz von RLT-Geräten wird die Kategorie 3 als SFP-Mindestanforderung empfohlen.

2.3.2. Wärmerückgewinnung (WRG)

Die Notwendigkeit und die Anforderungen an die Wärmerückgewinnungsanlagen in RLT-Anlagen werden in der GEG geregelt. Beim Einbau und Erneuerung von Klimaanlage mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 12 kW und raumluftechnischen Anlagen, die für einen Zuluftvolumenstrom von wenigstens 4000 m³/h ausgelegt sind, ist nach GEG §68 eine Einrichtung zur Wärmerückgewinnung vorzusehen (mindestens H3 nach DIN EN 13053: 2007).

Die Ökodesign-Verordnung 1253/2014 schreibt - bis auf wenige Ausnahmen - für Lüftungsgeräte die Ausstattung mit WRG-Systemen vor. Bei Anwendung von RLT-Geräten muss diese Verordnung zwingend berücksichtigt werden. Die Verordnung fordert für WRG-Systeme in kombinierten RLT-Geräten (Zu- und Abluftgeräten) einen Übertragungsgrad von mindestens 73 % (Ausnahme KV-System 68 %) bei ausgeglichenen Massenströmen. Die Anforderungen an die WRG gilt gemäß EU 1253/2014 nicht bei reinen Zu- oder Abluftgeräten.

Der Auslegung der Wärmerückgewinnung kommt eine besondere Bedeutung zu. Wärmerückgewinnungsmaßnahmen beeinflussen nicht nur die Betriebskosten, sondern auch die notwendigen Leistungskapazitäten und die Investitionskosten für Heizungs-, Kälte-Rückkühlanlagen und deren Rohrleitungstrassen. Mehrfachfunktionale Wärmerückgewinnungssysteme (z. B. Wärmerückgewinnungssysteme-, Hochleistungs-Kreislaufverbundsysteme zur Vorerwärmung der Außenluft im Winter, Abkühlung im

Sommer, Einkopplung von Solarwärme) wirken besonders energieeffizient. Systeme für mehrfachfunktionale Wärmerückgewinnung kommen vorzugsweise dann zum Einsatz, wenn bei der Planung die Systemgrenzen über das WRG-System hinaus erweitert und beispielsweise die Kältemaschine, die Rückkühlung oder die Wärmeerzeugung mit in das Gesamtkonzept einbezogen werden. Der Mehraufwand für das Wärmerückgewinnungssystem kann sich bei Betrachtung des Gesamtsystems schnell amortisieren. Mehrfachfunktionale Wärmerückgewinnungssysteme bieten aufgrund der hohen Wärmeübertragungsflächen die Möglichkeit, sonst übliche Komponenten, wie nachgeschaltete, luftseitige Wärmeübertrager einschließlich deren Druckverluste und deren Platzbedarf, einzusparen.

Zur Bewertung der WRG-Systeme ist besonders die Rückwärmezahl bzw. der Temperaturänderungsgrad geeignet, da dieser nahezu unabhängig von dem Temperaturpotenzial zwischen Außen- und Fortluft ist. Wärmerückgewinnungssysteme mit Rückwärmezahlen (Temperaturänderungsgrad) größer 0,7 sind z. B. hintereinandergeschaltete Kreuzstromplattenwärmetauscher, Hochleistungskreislaufverbundsysteme, Kreuzstromplattenwärmeübertrager- und Regeneratoren mit drehender Speichermasse (VDI 3803 B. 5).

Wärmerückgewinnungssysteme verursachen erhöhte Druckverluste luftseitig und eventuell auch wasserseitig, d. h. einen erhöhten Strombedarf für Ventilatoren und Pumpenantriebe. Das Verhältnis des erhöhten Strombedarfs zur zurückgewonnenen Wärme kennzeichnet die Effizienz des Wärmerückgewinnungssystems und ist entsprechend zu bewerten und soweit wie möglich zu optimieren (unter Beachtung von Volllast- und Teillaststunden). Niedrige Druckverluste der WRG sind anzustreben.

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von WRG-Systemen sind neben den investiven auch die energetischen und betrieblichen Faktoren über den technischen Lebenszyklus einzubeziehen. Als Berechnungsgrundlage ist die VDI 2067 und VDI 3803 B. 5 heranzuziehen.

2.4. Regelung und Gebäudeautomation

2.4.1. Gebäudeautomation

Mit der Gebäudeautomation soll anlagenübergreifend das Gebäude durch automatisierte Prozesse energetisch sparsam betrieben und gleichzeitig für den Nutzer ein optimaler Komfort ermöglicht werden. Sie umfasst gemäß VDI 3814 den Bereich der Anlagenautomation mit der Automation von technischen Anlagen einschließlich der lokalen Bedien- und Anzeigekomponenten in Gebäuden sowie beispielsweise als Teil des GA-Managements, Bedienfunktionen als grafische Management- und Bedieneinrichtungen (MBE).

Die Gebäudeautomation ermöglicht gewerkeübergreifend die Abfrage von Informationen der technischen Gebäudeausrüstung und kann durch die Nutzung von Überwachungs-, Steuerungs-, Regelungs- und Optimierungsprogrammen, entscheidend dazu beitragen, dass der Energieeinsatz bestimmungsgemäß erfolgt und Potentiale zur Reduzierung besser ausgeschöpft werden können. Die Gebäudeautomation ist somit das zentrale Werkzeug zum energieeffizienten und sicheren Gebäudebetrieb und stellt daher eine unabdingbare Voraussetzung für eine effiziente zentrale Betriebsüberwachung und Anlagenbedienung dar. Sie ist ein wichtiger Bestandteil eines zuverlässigen Instandhaltungsmanagements ermöglicht eine sehr gute Unterstützung von Monitoring- und Benchmarking-Aufgaben.

Bei der Planung der Regelungs- und Steuerungstechnik und deren Einbindung in die Gebäudeautomation sind – insbesondere im Hinblick auf die Nutzung der möglichen Energieeinsparpotentiale – bei der Planung und beim Betrieb von Raumluftechnischen Anlagen folgende Aspekte zu beachten:

- Bedarfsgeführte Förderung und Verteilung des Luftvolumenstroms durch den Einsatz von drehzahlgeregelten Ventilatoren
- Bedarfsangepasste Lüftung von Einzelräumen (variable Volumenströme)
- Minimierung von Druckverlusten in Geräten und im Kanalnetz
- Bedarfsgeführte Luftaufbereitung (Heizen, Kühlen, Befeuchte, Entfeuchten) mit Einbindung eines Wärmerückgewinnungssystems
- Gegeneinander verriegelndes Heizen und Kühlen
- Zusammenfassen von Bereichen mit gleicher Nutzung oder ähnlichem Verhalten in Zonen
- Differenzierte, zonenweise angepasste Betriebszeiten und Sollwerte, die jahreszeitlich variabel vorgegeben werden können
- Verschiedene Betriebsarten der Anlage und von Anlagenteilen
- Vernetzung von Einzelkomponenten der Regelung und Steuerung zu einem energieeffizienten Gesamtsystem
- Erfassen und Meldung, wenn Toleranzwerte einzelner Datenpunkte über- oder unterschritten werden
- Trendfunktionen für weitere Analysen

Für die praktische Umsetzung der Bedarfsanforderungen, Planung, Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation wird auf die AMEV-Empfehlung Gebäudeautomation verwiesen.

2.4.2. Regelstrategien

Für die unterschiedlichen Anwendungen können diverse Regelstrategien gewählt und kombiniert werden. Wichtige Regelfunktionen sind:

- Temperaturregelung
- Feuchteregelung
- Luftqualitätsregelung
- Druckregelung

Temperaturregelung

Eine Temperaturregelung wird anhand unterschiedlicher Führungsgrößen realisiert. Dabei wird entsprechend dem Einbauort des Temperaturfühlers in Zulufttemperatur-, Ablufttemperatur- oder Kaskadenregelung unterschieden. Der stetige Regler vergleicht die vom Fühler gemessene Temperatur mit dem Sollwert. Bei Abweichung wird in Sequenz die Bypassklappe der Wärmerückgewinnung das Heizventil, oder das Kühlventil verstellt. Bei einer Kaskadenregelung sind zwei Regler hintereinander verschachtelt, um eine höhere Regelgüte zu erreichen. Mit dem Ausgangssignal des Führungsreglers wird nicht das Stellventil, sondern der Sollwert des Folgereglers verstellt. Dessen Ausgangssignal wirkt dann wieder in Sequenz auf die Stellventile und die WRG. Soll z. B. die Raumtemperatur geregelt werden, wird vom Raumtemperaturregler (Führungsregler) die Raumtemperatur erfasst, und bei Sollwertabweichung verstellt der Regler den Sollwert des Zulufttemperaturreglers (Folgeregler). Sollwerte können entweder auf einen konstanten Wert eingestellt werden oder sie werden stetig in Abhängigkeit von der Außentemperatur verändert. Darüber hinaus kann durch Begrenzung der Zulufttemperatur auf einen minimalen oder maximalen Wert die Einhaltung von behaglichen Temperaturen sichergestellt werden.

Feuchteregelung

Auch bei der direkten Feuchteregelung wird in Abhängigkeit vom Einbauort des Feuchtefühlers zwischen der Zuluftfeuchte-, Abluftfeuchte- oder der Kaskadenregelung unterschieden. Die Regelstrategie ist zudem auch von der Art der Befeuchtung abhängig. Bei Verwendung eines Dampfbefeuchters verstellt der stetige Regler anhand des gemessenen Feuchtegehalts in Sequenz den Dampfbefeuchter (befeuchten) und den Luftkühler (entfeuchten). Da auch die Temperaturregelung den Luftkühler ansteuert, muss hier eine Maximalauswahl getroffen werden und nur das größte Signal wird an das Kühlerventil weitergeleitet. Zur sicheren Vermeidung von Feuchteausscheidungen ist bei der Dampfbefeuchtung der Feuchtegehalt über einen Feuchtwächter oder einen zweiten Regler zu begrenzen. Bei der Verwendung eines adiabaten Luftbefeuchters, z. B. eines geregelten Wäschers, muss wegen der Absenkung der Lufttemperatur während der Befeuchtung auch der Vorerwärmer von der Feuchtereglung angesteuert werden. Dessen Ventil wird dann geöffnet, wenn die gewünschte absolute Feuchte nicht erreicht werden kann. Der Feuchteregler wirkt daher in Sequenz zum Entfeuchten auf den Kühler und zum Befeuchten zunächst auf die Befeuchterpumpe und dann auf den Vorerwärmer. Der

Zulufttemperaturregler wirkt dabei auf den Nacherwärmer und auf den Kühler (Maxauswahl).

Luftqualitätsregelung

Lüftungsanlagen mit variablem Volumenstrom und lokaler Heizung stellen eine wirtschaftliche Möglichkeit dar, die Lüfterneuerung in den einzelnen Räumen individuell nach der Luftqualität (CO₂ und/oder VOC-Gehalt) zu regeln. Das Energieeinsparpotenzial ist gegenüber konventionellen Anlagen mit konstanten Luftvolumenströmen erheblich, ohne dass dabei der Komfort beeinträchtigt wird.

Werden mehrere Räume über eine Lüftungsanlage versorgt, wird jeder Raum mit einem variablen Volumenstromregler in der Zu- und Abluft, einem Luftqualitätsfühler sowie einem Präsenzmelder ausgestattet. Bei Anwesenheit von Personen werden die Klappen der entsprechenden Volumenstromregler vom Präsenzmelder freigegeben und ein Mindestvolumenstrom wird im Raum ausgeregelt. Der Luftqualitätssensor ist das Schlüsselement dieser Regelung, dessen Installationsort sollte zur Gewährleistung einer guten Durchspülung möglichst im Abluftkanal montiert werden. Die dort gemessene CO₂ – Konzentration vergleicht der Regler mit dem eingestellten Sollwert und verändert bei Abweichung sein Stellsignal und damit den Stellklappenwinkel der entsprechenden Volumenstromregler. Der Luftstrom variiert dabei linear zwischen dem eingestellten mindest- und dem maximalen Volumenstrom. Es wird jedem Raum nur der unbedingt notwendige Volumenstrom, der zur Einhaltung der Raumluftqualität erforderlich ist, zugeführt. Infolgedessen variiert auch der Luftstrom im gesamten Kanalnetz. Abhängig von den Lastverhältnissen in den einzelnen Räumen stellt sich ein zu fördernder Gesamtvolumenstrom der Anlage ein. Der berechnete Bemessungsvolumenstrom wird meist nur selten (bei Vollbelegung) erreicht, sodass auch die Förderleistungen der Ventilatoren dem Bedarf angepasst und in ihrer Leistung reduziert werden müssen. Infolgedessen ergeben sich Energieeinsparungen zum einen durch den geringeren elektrischen Leistungsbedarf, der zur Luftförderung aufgebracht werden muss und zum anderen durch den geringeren Heiz- und Kältebedarf für die Luftkonditionierung.

Druckregelung

Ventilator Drehzahlregelung über konstanten Kanaldruck

Um in einem Kanalnetz mit variablen Volumenstromreglern den Volumenstrom dem tatsächlichen Bedarf anzupassen wird die Drehzahl des Ventilators über den Differenzdruck des Kanalnetzes geregelt. Am stetigen Druckregler wird ein bestimmter Unter- (Abluft) bzw. Überdruck (Zuluft) fest eingestellt. Der Druckfühler zur Erfassung des tatsächlichen Kanaldrucks sollte bei VVS-Anlagen in der Nähe des Ventilators angeordnet werden, da mit variierendem Luftbedarf sich auch der Schlechtpunkt der Anlage ändert. Eine Installation des Fühlers am Strangende könnte unter bestimmten Betriebsbedingungen zu einer Unterversorgung verschiedener Bereiche führen. Ändert sich die Luftmenge im Kanalnetz, z. B. bei einer Luftqualitätsregelung, verändert sich auch der statische Druck im Kanalnetz. Der Regler erkennt die Abweichung und wirkt über ein Signal, z. B. 0-10 V, solange auf einen Frequenzumrichter oder die Elektronik eines EC-Motors ein, bis der eingestellte Differenzdruck wieder eingehalten wird. Damit unter allen Betriebsbedingungen genügend Druck zur Verfügung steht, muss die Vorgabe des einzustellenden Soll-Wertes für den Vollastbetrieb erfolgen. Es kann nicht berücksichtigt werden, dass im Teillastbetrieb, mit sinkendem Luftstrom, weniger Druck notwendig ist. Infolgedessen wird bei geringer Anlagenbelastung überschüssiger Druck durch zusätzliches schließen der Klappen abgebaut. Der geförderte Volumenstrom entspricht zwar genau dem Bedarf, der Druckverbrauch ist jedoch höher als unbedingt notwendig ist.

Ventilator Drehzahlregelung über eine optimierte Kanaldruckregelung (Klappenstellungsregelung)

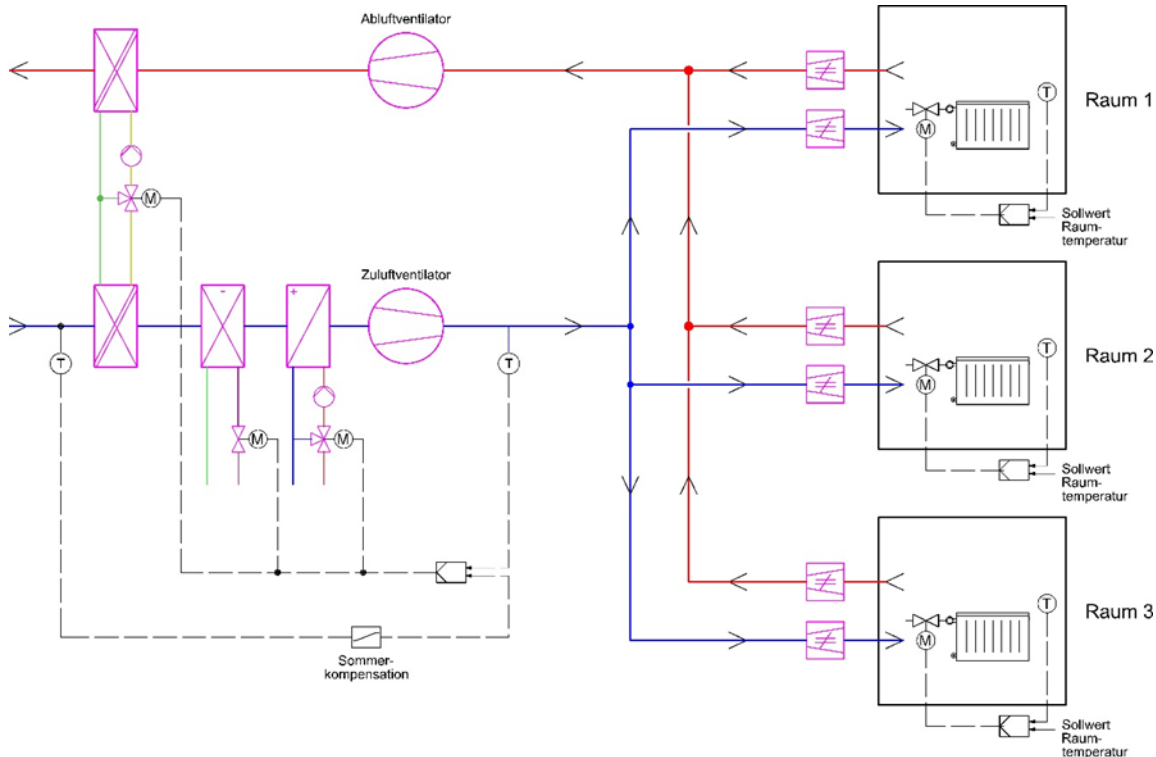
Um den Volumenstrom und den Kanaldruck auch im Teillastbetrieb dem tatsächlichen Bedarf anzupassen, werden alle Stellsignale der Klappenposition, welche von jedem angeschlossenen Volumenstromregler ausgegeben werden, über ein Bussystem zentral erfasst und ausgewertet. Dabei wird nur das größte Signal für die am weitesten geöffnete Klappe als Eingangswert (Ist-Wert) dem Kanaldruckführungsregler übermittelt. Hierbei sollte zur Gewährleistung eines ausreichenden Regelbereichs die maximale Klappenöffnung ca. 85 % betragen, welche dem Regler vorgegeben werden.

Mit dem Stellsignal des Führungsreglers werden dann die Kanaldruck-Sollwerte der nachgeschalteten Folgeregler generiert. Die Folgeregler vergleichen diesen Eingangswert mit dem tatsächlichen Druck. Bei Abweichung davon wirkt dessen Stellsignal über einen Frequenzumrichter oder der Elektronik eines EC-Motors so auf die Drehzahl der Ventilatoren ein, bis der vom Führungsregler vorgegebene Kanaldruck und folglich auch die eingestellte Klappenöffnung des aktuellen Volumenstromreglers (mit dem größten Stellsignal) erreicht wird.

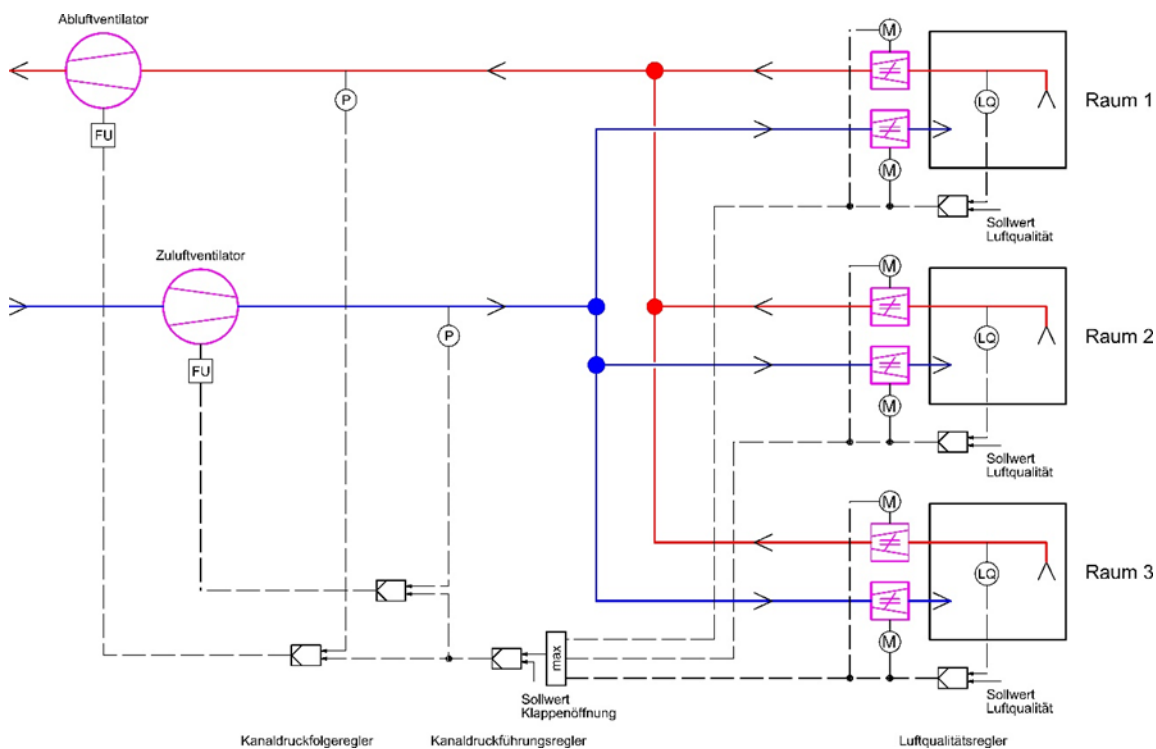
Sinkt z. B. das Stellsignal für den aktuellen Volumenstromregler unter den Sollwert von 85 % (Klappe schließt bedingt durch geringere Raumbelastung), verringert die Regelung die Drehzahl des Ventilators. Demzufolge fällt der Druck im gesamten Kanalnetz ab und alle angeschlossenen Volumenstromregler müssen ihre Klappe weiter öffnen (Stellsignal erhöhen), um ihre zugeordneten Bereiche mit gleichem Volumenstrom versorgen zu

können. Erst wenn irgendein beliebiger Volumenstromregler die eingestellte Klappenöffnung von 85 % erreicht hat, wird der nun notwendige Kanaldruck wieder vom Ventilator konstant gehalten.

Bei dieser optimierten Kanaldruckregelung variiert der erzeugte Systemdruck in Abhängigkeit der Anlagenlast. Der Energiebezug kann daher im Vergleich zu einer konventionellen konstanten Kanaldruckregelung noch weiter gesenkt werden.



Temperaturregelung



optimierte Druckregelung

3 Anforderungen und Auslegungsdaten für ausgewählte Anwendungsbereiche

Für die in öffentlichen Gebäuden typischen Anwendungsbereiche gelten die nachfolgenden Anforderungen. Die zugehörigen Auslegungsdaten wurden in einer Übersicht im Anhang 7.1 zusammengefasst. Für dort nicht erfasste Anwendungsbereiche können die Auslegungsdaten ggf. in sinngemäßer Anlehnung an vergleichbare Raumnutzungen gewählt werden. Es wird vorausgesetzt, dass der Transmissionswärmebedarf der Räume vollständig durch statische Heizflächen gedeckt wird und die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (nach DIN 4108 Teil 2) erfüllt sind.

Neben den relevanten Normen und Richtlinien für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche sind generell die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) und die daraus abgeleiteten Arbeitsstättenrichtlinien (ASR) zu beachten.

3.1 Bürogebäude

3.1.1 Büroräume

In Büroräumen ist die freie Lüftung in der Regel ausreichend.

Maschinelle Lüftungsanlagen werden eingesetzt, wenn:

- ein Erfordernis gem. Abschnitt 1.3 besteht oder
- die Büronutzer einen eingeschränkten Zugang zu Fenstern und daher eine geringe Regelungsmöglichkeit der freien Lüftung haben (z. B. Großraumbüro)
- oder eine Notwendigkeit zur Erfüllung von gesetzlichen Anforderungen besteht (z. B. das GEG)

Die maschinelle Lüftung kann auch sinnvoll sein, wenn die Wärmerückgewinnung wirtschaftliche Vorteile bietet. Sollte sich die Notwendigkeit maschineller Lüftung ergeben, wird die Anwendung der VDI 3804 empfohlen.

Sowohl bei freier als auch maschineller Lüftung sind die thermischen Anforderungen an den Büroarbeitsplatz zu erfüllen (siehe Abschnitt 1.4.2). Die Kühlung der Raumluft ist meistens nicht erforderlich, wenn der sommerliche Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 ausreichend gewährleistet ist und die Voraussetzungen für die Anwendung der EN 16798-1, Kapitel B.2.2 und CEN/TR 16798-2 (u. a. wetterbedingt zulässige Kleideranpassung, uneingeschränkte Bedienung öffentlicher Fenster) für Gebäude ohne maschinelle Kühlanlagen erfüllt sind.

Dazu gehören gemäß DIN 4108-2 grundsätzlich auch geeignete Systeme zum Schutz gegen störende Blendung sowie gegen übermäßige direkte Sonneneinstrahlung. Bei Raumlufttemperaturen über 26 °C sollen, bei Raumlufttemperaturen über 30 °C müssen noch zusätzliche Maßnahmen gemäß ASR A 3.5 ergriffen werden.

3.1.2 Sitzungsräume

Sitzungsräume haben eine höhere Personenbelegungsdichte als Büroräume. Eine ausschließliche Fensterlüftung sollte nur dann vorgesehen werden, wenn die Nutzer einen

uneingeschränkter Zugang zu Fenstern haben und sichergestellt werden kann, dass innerhalb eines Nutzungsintervalls die CO₂-Konzentration im Mittel einen Wert von 1.000 ppm und in der Spitze einen Maximalwert von 2.000 ppm nicht übersteigt (siehe Abschnitt 1.4.2). Dies setzt ein unter organisatorischen und nutzungsspezifischen Aspekten abgestimmtes Lüftungskonzept voraus. Maschinelle Lüftungsanlagen werden eingesetzt, wenn sich ein Erfordernis gem. Abschnitt 1.3 ergibt oder die Möglichkeit der uneingeschränkten freien Lüftung nicht gegeben ist. Sowohl bei freier als auch maschineller Lüftung sind die thermischen Anforderungen an den Büroarbeitsplatz zu erfüllen (siehe Abschnitt 1.4.2).

3.1.3 Toilettenräume

Für Toilettenanlagen in Arbeitsstätten gilt die ASR A 4.1. Demnach ist eine wirksame Lüftung, entweder durch freie Lüftung (Fensterlüftung) mit entsprechenden Mindestquerschnitten für Lüftungsöffnungen oder durch maschinelle Lüftung bei einem Abluftvolumenstrom von 11 m³/(hm²), zu gewährleisten. Die Lufttemperatur richtet sich nach der ASR A 3.5 und soll während der Nutzungszeit 21 °C betragen. In Toilettenräumen darf die Lufttemperatur durch Lüftungsvorgänge, die durch die Benutzer ausgelöst werden, kurzzeitig unterschritten werden.

3.1.4 Wasch- und Duschräume

Für Wasch- und Duschräume in Arbeitsstätten gilt die ASR A 4.1. Demnach ist eine wirksame Lüftung zu gewährleisten durch:

- freie Lüftung (Fensterlüftung) mit entsprechenden Mindestquerschnitten für Lüftungsöffnungen oder
- maschinelle Lüftung bei einem Abluftvolumenstrom von 11 m³/(hm²).

Um die thermische Behaglichkeit zu gewährleisten und Feuchtigkeit wirksam abführen zu können, wird eine mechanische Lüftung empfohlen, insbesondere bei Duschräumen bzw. Waschräumen mit Duschen. Dabei ist ein ausreichender Zuluftvolumenstrom auf geeignete baukonstruktive oder technische Weise sicherzustellen. In Duschräumen wird gemäß ASR A 3.5 eine Lufttemperatur während der Nutzungszeit von mindestens 24 °C vorgegeben. Diese ist jedoch mit freier Lüftung nicht durchgehend zu gewährleisten.

3.1.5 Umkleideräume

Für Umkleideräume in Arbeitsstätten gilt die ASR A 4.1. Demnach ist eine wirksame Lüftung zu gewährleisten durch:

- freie Lüftung (Fensterlüftung) mit entsprechenden Mindestquerschnitten für Lüftungsöffnungen oder
- maschinelle Lüftung bei einem Abluftvolumenstrom von mindestens 11 m³/(hm²).

Gegebenenfalls reicht bei einer Abluftabsaugung die Überströmung von Zuluft aus angrenzenden Räumen. Die Lufttemperatur muss während der Nutzungszeit gemäß ASR A 3.5 mindestens 21°C betragen.

3.1.6 Lager- und Nebenräume

Die erforderlichen Raumlufthbedingungen sind von der Art des Lagergutes abhängig. Zur Absaugung von Ausdünstungen und Gerüchen ist für innenliegende Räume der in Anhang 7.1 angegebene Volumenstrom ausreichend.

3.2 Schulen

3.2.1 Allgemeine Unterrichtsräume

Grundsätzlich gelten die in Abschnitt 1.4 beschriebenen Anforderungen, wie z. B. an Raumlufthqualität und Raumtemperaturen.

Für die Lüftung von allgemeinen Unterrichtsräumen werden die Ausführungshinweise der VDI 6040, Blatt 2 empfohlen.

Im Blatt 2 der VDI 6040 wird an Hand von verschiedenen Beispielvarianten gezeigt, dass mit entsprechenden organisatorischen, baulichen und technischen Maßnahmen die Anforderungen an die operative Raumtemperatur (ohne maschinelle Kühlung) sowie an die Raumlufthqualität erfüllt werden können. Gleichwohl entbinden die im Blatt 2 beschriebenen Lösungsvorschläge die Planer und Betreiber nicht von der Verantwortung, projektspezifisch ein Lüftungskonzept zu erstellen und dessen Funktionsfähigkeit zu überprüfen.

Die Beispielbetrachtungen gemäß Blatt 2 der VDI 6040 setzen die maschinelle Lüftung voraus. Es werden darüber hinaus auch Systeme mit freier Lüftung bzw. hybrider Lüftung beschrieben, mit denen es möglich ist, die in VDI 6040 Blatt 1 beschriebenen Anforderungen zu erfüllen. Diese Systeme können bei Sanierungen von Unterrichtsräumen Bedeutung erlangen, wenn der nachträgliche Einsatz maschineller Lüftung aus Platzmangel nicht oder nur eingeschränkt möglich ist. In jedem Einzelfall muss jedoch eine detaillierte Betrachtung zur Bewertung der projektspezifischen Vor- und Nachteile erfolgen. Blatt 2 weist darauf hin, dass es bei freier Lüftung einer umfassenden Analyse der Bedingungen bedarf, um die Anforderungen zu erfüllen. Dazu ist u. a. ein Lüftungsplan auszuarbeiten, der Angaben umfasst, wann, wo, wie und von wem gelüftet werden muss. Die freie Lüftung bedarf einer sehr genauen Planung und eines verantwortungsvollen ordnungsgemäßen Betriebs, um dem hohen bedienungstechnischen Anspruch gerecht zu werden.

Der erforderliche Außenluftvolumenstrom ergibt sich gemäß VDI 6040, Blatt 1 aus dem Nachweis der zeitlich gewichteten durchschnittlichen CO₂-Konzentration von < 1000 ppm.

Hinweise zu unterschiedlichen Lüftungskonzepten von Unterrichtsräumen finden sich auch in der Informationsschrift „Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden, Teil 1 Bildungseinrichtungen, Stand November 2017“ des Umweltbundesamtes.

Viele Betriebsauswertungen in Schulräumen zeigen, dass für die freie Lüftung eine strikte intensive Fensterbedienung erforderlich ist, die meist als unterrichtsstörend empfunden und

demzufolge nur unzureichend praktiziert wird. Ohne Störung des Unterrichts oder Einschränkungen bei der Klassenbelegung ist die natürliche Be- und Entlüftung kaum möglich. Unzählige Messungen haben darüber hinaus gezeigt, dass die als Zielwert vorgegebene maximale CO₂-Konzentration von 1000 ppm nicht erreicht werden kann.

Insofern ist die ausreichend dimensionierte bedarfsgeregelte maschinelle Be- und Entlüftung für Schulräume zur Sicherung eines hygienischen Mindestaußenluftwechsels zu empfehlen. Bei Bestandsgebäuden müssen selbstverständlich die baulichen Restriktionen beachtet werden.

Auch die im Zusammenhang mit der Coronapandemie angebotenen beweglichen Luftfiltergeräte sind keine Alternative zur Sicherstellung einer ausreichenden hygienischen Beschaffenheit der Raumlufth in Klassenzimmern. Mit den eingebauten Filtern kann zwar die Virenlast im Raum reduziert werden (Voraussetzung – ausreichende Wartung), die Gewährleistung der Obergrenze für die max. CO₂-Konzentration ist jedoch nicht gegeben.

Welche Lösung zum Tragen kommen soll, entscheidet der Bauherr bzw. Auftraggeber.

3.2.2 Aulen und Festräume

In Aulen, Festräumen und ähnlich genutzten Aufenthaltsräumen sind RLT-Anlagen dann einzubauen, wenn:

- die Räume unter die Bestimmungen der Versammlungsstättenverordnung fallen und der Einbau einer RLT-Anlage dort vorgeschrieben ist oder
- der geforderte Mindestaußenluftvolumenstrom nicht durch freie Lüftung sicherzustellen ist oder
- Verdunklungseinrichtungen eingebaut sind.

3.2.3 Naturwissenschaftliche Fachräume

RLT-Anlagen sind erforderlich, wenn regelmäßig mit einer durch den Unterrichtsverlauf bedingten unzulässigen Anreicherung der Raumlufth mit Schadstoffen zu rechnen ist (siehe Abschnitt 4.3.3). Beim Einsatz von Digestorien bzw. Gefahrstoffschränken sind die entsprechenden Anforderungen der DIN 1946-7 – Raumlufthtechnische Anforderungen in Laboratorien - zu beachten.

3.2.4 Musikräume

RLT-Anlagen sind in Musikräumen im Allgemeinen nicht erforderlich. Lediglich in Räumen, in denen empfindliche Musikinstrumente ständig untergestellt werden, soll die Änderungsgeschwindigkeit der Raumlufthtemperatur und -feuchte den untergebrachten Musikinstrumenten angepasst sein. Dies kann durch örtliche Be- und Entfeuchtungsgeräte in Verbindung mit einer entsprechenden Regelung der örtlichen Heizung erfolgen.

3.2.5 Werkräume und Werkstätten

Für Werkräume und Werkstätten sind im Allgemeinen keine RLT-Anlagen erforderlich. Bei Arbeiten mit gefährlichen oder gesundheitsgefährdenden Stoffen ist Abschnitt 3.7.1 zu beachten. Bei größeren wärmeabgebenden Geräten (z. B. Brennöfen) soll die Wärme direkt am Gerät abgeführt werden. Auf Nachströmmöglichkeiten der Luft ist zu achten. Emissionen an Löt- und Schweißarbeitsplätzen bzw. Holzverarbeitenden Maschinen sind am Entstehungsort zu erfassen und direkt getrennt abzuleiten. Zuluftanlagen sind in der Regel nicht erforderlich.

3.2.6 Lehrküchen

Für Lehrküchen sind in der Regel RLT-Anlagen erforderlich. In den meisten Fällen ist die freie Lüftung nicht möglich bzw. nicht ausreichend. Die Räume sind nach Möglichkeit im Gebäude so anzuordnen, dass in angrenzenden Bereichen keine Geräusch- und Geruchsbelästigungen auftreten. Bei Verwendung von Gasherden zum Kochen ist zusätzlich zum Dunstabzug für gute Raumbelüftung zu sorgen.

Beim Einsatz von RLT-Anlagen kann die VDI 2052 – Raumlufthtechnische Anlagen für Küchen – zur Planungsunterstützung angewendet werden. Dies betrifft speziell die Grundlagen zur Dimensionierung. Dabei ist der Anfall von sensibler Wärme und Feuchteabgabe zu beachten.

In Berufsschulen kann in Abhängigkeit von den Anforderungen auch die Normenreihe der DIN EN 16282 Einrichtungen in gewerblichen Küchen - Elemente zur Be- und Entlüftung - Teile 1-8 zur Anwendung kommen.

3.3 Universitäten und Hochschulen

3.3.1 Seminarräume

Hier gelten ähnliche Anforderungen wie bei allgemeinen Unterrichtsräumen in Schulen (siehe Abschnitt 3.2.1). Wegen der abweichenden Belegungsbedingungen im Vergleich zum Schulbetrieb muss die Art der Be- und Entlüftung hier nach den konkreten Nutzungsanforderungen und unter Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten individuell festgelegt werden.

3.3.2 Hörsäle

Bewährt haben sich Luftführungssysteme von unten nach oben, wie z. B. Zuluft aus den Sitzstufen oder aus den Standstufen des Gestühls. In Abhängigkeit von der Personenbelegung wird hier der Außenluftvolumenstrom in der Regel durch CO₂-Messwertgeber variabel gesteuert. Dabei muss selbst bei reduziertem Volumenstrom die gleichmäßige Luftverteilung im System gewährleistet bleiben. Eventuell muss die Anlage bei ungünstigen Strömungsverhältnissen selbst bei Teilbelegung zeitweise mit vollem

Volumenstrom betrieben werden, um eine gleichmäßige Raumdurchströmung zu gewährleisten.

3.3.3 Laboratorien

In Ergänzung zur DIN 1946, Teil 7 - Raumluftechnik in Laboratorien - wird auf die VDI 2051 - Raumluftechnik Laboratorien - verwiesen. RLT-Anlagen sind dann erforderlich, wenn in Laboratorien mit gesundheitsgefährdenden Stoffen im Sinne der jeweils gültigen Verordnung über gefährliche Arbeitsstoffe, bei hoher Wärmeentwicklung oder mit übelriechenden Stoffen gearbeitet wird.

Die Richtlinien der Eigenunfallversicherung der Länder und Gemeinden für chemische Laboratorien sind zu beachten und soweit zutreffend die fachlichen Merkblätter von Berufsgenossenschaften bzw. die TRGS- (TrgA) Regeln.

Über die genannten Regeln hinaus ist eine Vielzahl von öffentlich-rechtlichen Vorschriften zu beachten, so u. a.:

- Gentechnikgesetz
- TRGS 510
- DIN 14470, Teil 1 und Teil 2 - Entlüftung von Sicherheitsschränken
- DIN EN 14175-2 Abzüge - Anforderungen an Sicherheit und Leistungsvermögen
- DIN EN 14175-7 Abrauchabzüge
- DIN 25425 Radionuklidlaboratorien

Die Arbeitsvorgänge in den Laboratorien sowie Art und Menge der zu lagernden Arbeitsstoffe sind bei der Planung mit dem Nutzer abzuklären (Gefährdungsanalyse und -beurteilung). Der notwendige Abluftvolumenstrom von Digestoren wird in Baumusterprüfungen durch den Hersteller (pro m Digestorienbreite meist 400 m³/h) festgelegt und ist bei der Bemessung der Volumenstrombilanzen zu berücksichtigen. Der Abluftvolumenstrom ist zu überwachen.

In Laboratorien mit mehreren Abzügen kann die Regelung des Zuluft- und Abluftvolumenstroms über ein VVS System in Abhängigkeit des Betriebszustandes der einzelnen Digestoren sinnvoll sein. Jegliche Reduzierung des Luftwechsels auf Werte außerhalb der empfohlenen Richtwertbandbreite bedarf der Abstimmung mit der zuständigen Unfallkasse. Festlegungen zu Gleichzeitigkeitsfaktoren sind auf der Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung mit der Gewerbeaufsicht oder eventuell auch anderen Behörden (je nach Art der Nutzung der Labore) abzustimmen.

In reinen Laborgebäuden für Lehre und Forschung ist von einer sehr hohen Gleichzeitigkeit auszugehen. Die Auslegung der Lüftungskanäle und der Lüftungsgeräte mit drehzahlgeregelten Ventilatoren sollte nach dem erforderlichen maximalen Volumenstrom erfolgen, beim Betrieb der Lüftungsgeräte kann der Luftvolumenstrom den zeitlich unterschiedlichen tatsächlichen Betriebsbedingungen flexibel angepasst werden.

3.3.3.1 Lagerräume für gefährliche Arbeitsstoffe

Werden zur Lagerung und Bereitstellung von Gefahrstoffen oder Druckgasen Sicherheits- bzw. Gasflaschenschränke aufgestellt, müssen diese an eine 24-Stunden-Abluftanlage angeschlossen werden. Nach DIN EN 14470-1 ist ein 10-facher Luftwechsel bezogen auf das Schrankvolumen sicherzustellen und zu überwachen. Die Lüftungstechnische Ausrüstung von Lagerräumen ist abhängig von Art und Menge der gelagerten Stoffe und unterliegt den Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) mit der ihr nachgeordneten Regel für Betriebssicherheit (TRBS 1111). Abhängig von den zu lagernden Stoffen müssen ggf. Anforderungen an die Redundanz und Sicherheitsstromversorgung und die Gewährleistung einer stetigen Nachströmung der Zuluft zum Raum beachtet werden.

Sowohl bei Laborräumen, als auch bei Lagerräumen für gefährliche Arbeitsstoffe werden bei Durchdringungen von Brandabschnitten Brandschutzklappen in den Abluftleitungen eingesetzt, die nicht unter den Anwendungsbereich der DIN EN 15650 für normale Raumabluft fallen. Die geförderte Luft kann mit korrosiven Stoffen verunreinigt sein und deren Funktion beeinträchtigen. Bisher sind jedoch am Markt keine Brandschutzklappen mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für diesen Einsatzzweck verfügbar, so dass ergänzende Maßnahmen notwendig sind, um die Funktionsfähigkeit der eingesetzten Brandschutzklappen zu gewährleisten. Hierzu sind die Ergebnisse der Abstimmungen mit den Bauaufsichtsbehörden der Länder zu beachten.

Beim Einsatz von Rauchmeldern in den Abluftleitungen kann im Auslösefall (im Brandfall oder im laufenden Betrieb) ein unkontrollierter Ausbruch von Schadstoffen erfolgen, der ein erhebliches Risiko für das Bedienpersonal vor Ort darstellt und kritisch zu sehen ist. Deshalb ist der Einsatz von Rauchmeldern speziell bei Digestoren und Gefahrstoffschränken mit den Brandschutzbehörden und den Landesunfallkassen abzustimmen und ein Einvernehmen herzustellen.

3.3.4 Sonderbereiche Forschung

Für Thermokonstant-Räume, Nuklearlaboratorien, Kältelaboratorien, Räume für biologische Forschung usw., sind RLT-Anlagen notwendig, die den jeweils spezifischen Nutzungsanforderungen entsprechen. Hier ist eine enge Abstimmung aller Planungsbeteiligten mit dem Nutzer und den zuständigen Aufsichtsbehörden erforderlich.

Die Sollwerte für Raumlufthtemperatur und –feuchte sowie die Bemessungsdaten hinsichtlich der Abluftvolumenströme, Filterung und Druckverhältnisse orientieren sich an den funktionellen Anforderungen des Einzelfalls und sind mit dem Nutzer abzustimmen. Allgemeingültige Aussagen für diese Bereiche sind nicht möglich. Bei kerntechnischen Anlagen ist die DIN 25496 als Planungsgrundlage anzuwenden.

Öffentlich-rechtliche Genehmigungsverfahren sind gegebenenfalls einzuleiten.

3.3.5 Reinräume

Reinräume erfordern, bedingt durch die Aufgabenstellung der Forschung und Produktion, den Einsatz von besonders aufwendigen RLT-Anlagen.

Die Anforderungen an die Reinheitsklasse und die Raumluftzustände müssen mit dem Nutzer bereits im Vorplanungsstadium abgeklärt werden. Im Übrigen gilt VDI 2083 - Reinraumtechnik - bzw. die DIN EN ISO 14644, Teil 1 bis 17 - Reinräume - und dazugehörige Reinraumbereiche.

Für lokale reinraumtechnische Prozesse mit geringen Reinraumflächen bzw. für höherwertige Reinraumklassifizierungen können Methoden der Reinfeldtechnik angewandt werden (z. B. Reine Werkbänke).

Die hohen Luftwechselzahlen beim Reinraum ergeben zwangsläufig hohe Betriebskosten. Sie können insbesondere durch funktionale Zonierung des Reinraumbereichs und durch Reduzierung des Außenluftanteils gesenkt werden. Dabei sind der eventuell erforderliche Prozessabluft- und der Umluftstrom im Reinraum bei Betriebsruhe zu berücksichtigen. Grundsätzlich sind die Möglichkeiten der freien Kühlung (siehe Abschnitt 2.1.4) und der Wärmerückgewinnung (siehe Abschnitt 2.2.7) zu nutzen.

3.4 Krankenhäuser und Kliniken

Bei Errichtung von raumlufttechnischen Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens ist DIN 1946-4 in dem zum Zeitpunkt der Planung aktuellen Stand anzuwenden. Dies betrifft z. B. auch Eingriffsräume in Arztpraxen, ambulante Operationszentren, Dialysezentren und Einheiten für die Aufbereitung von Medizinprodukten. Für die Planung von Sonderbehandlungseinheiten (z. B. hochinfektiöse, lebensbedrohliche Infektionskrankheiten) sind ergänzende Anforderungen zu beachten.

Für den Betrieb der Bestandsanlagen finden sich Hinweise in den „Krankenhaustechnischen Leitlinien für die Planung, Ausführung und den Betrieb von Raumlufttechnischen Anlagen in Räumen des Gesundheitswesens“ der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene.

Die Anforderungen an RLT-Anlagen in medizinisch genutzten Räumen sind auf der Basis der Nutzervorgaben in einem Projekt-Pflichtheft nach DIN 1946-4 Anhang A 3.2 festzulegen und zu dokumentieren. Dabei können in begründeten Fällen auch Abweichungen von der DIN 1946-4 festgelegt werden. Der Nutzer kann sich bei der Festlegung der Nutzeranforderungen beraten lassen. Die im Projektpflichtenheft festgelegten und in der Planung umgesetzten Anforderungen müssen explizit im Werkvertrag vereinbart werden. Es sind nur die Teile der DIN 1946-4 vertraglich zu vereinbaren, die für die Umsetzung der konkreten Baumaßnahme tatsächlich zur Anwendung kommen.

Auf Basis der medizinischen Nutzung werden zwei Raumklassen unterschieden:

- Raumklasse I, unterteilt in Ia und Ib – OP-Räume
- Raumklasse II

OP-Räume der Raumklasse Ia verfügen über ein Luftführungssystem mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung und einem Volumenstrom von ca. 900 m³/m²h Auslassfläche zur Erzielung eines definierten Schutzbereiches von ca. 3 m x 3 m.

OP-Räume der Raumklasse Ib verfügen über eine ungerichtete, turbulente Verdünnungsströmung mit einem Zuluftvolumenstrom von $\geq 60 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ Raumfläche. Sie weisen keinen Schutzbereich auf.

Als Messverfahren bei hygienischen Abnahmeprüfungen von OP-Räumen der Raumklasse Ia wird die Schutzgradmessung nach DIN 1946-4 Anhang C empfohlen. Die Schutzwirkung von OP-Räumen der Klasse Ia wird in mehreren Schritten ermittelt:

- Musterlastanordnung, jedoch ohne OP-Leuchte
- Musterlastanordnung einschließlich OP-Leuchte

Eine Systemprüfung nach Anhang E (Präqualifizierung), die nur informativen Charakter hat, wird als nicht hilfreich und sinnvoll erachtet, da die Ergebnisse der Messungen im Muster-OP nur bei gleicher baulicher Umsetzung übertragbar sind. Es entstehen jedoch erhebliche zusätzliche Kosten. In der Praxis hat sich die Systemprüfung seit deren Einführung in der DIN 1946-4, Fassung 12/2008, nicht durchgesetzt.

Bei Neubauten und Sanierungen ist zu prüfen, ob sich das Raumkonzept für die geplanten OP-Räume eignet. Standardisierte Bau- und RLT-Planungen nach DIN 1946-4 sind anzustreben, da sie die Planungssicherheit deutlich erhöhen. So sind Mindestgeschoßhöhen von 3,5 m und lichte Raumhöhen unterhalb der OP-Decke von mindestens 2,8 m erforderlich. Die Raumgröße der OP-Räume sollte ca. 40 m² betragen, bei Hybrid-OP-Räumen sind ca. 70m² erforderlich.

Die Funktionsfähigkeit der RLT-Anlage kann jedoch nur durch eine technische und hygienische Prüfung nach DIN 1946-4 Kapitel 7 nachzuweisen werden.

Der Anhang F – mikrobiologisches Monitoring hat nur informativen Charakter und wird nicht zur Anwendung empfohlen. Art und Umfang der hygienischen Prüfungen nach Abnahme und während des Betriebes der OP-Räume werden durch die Gesundheitsbehörden bzw. den verantwortlichen Krankenhaus-hygieniker festgelegt.

3.5 Sportbauten

3.5.1 Sporthallen

Für Sporthallen nach DIN 18032 Teil 1 ist bei normaler Sportnutzung die freie Lüftung grundsätzlich ausreichend. Dabei ist besonders die erforderliche Mindestfläche des Lüftungsquerschnittes zu beachten. Bei freier Lüftung wird diese in der Praxis üblicherweise durch eine Simulationsberechnung ermittelt. Dabei sind die konkreten baulichen und örtlichen Gegebenheiten der Sporthalle sowie die funktionellen Anforderungen und maximale Personenbelegung zu berücksichtigen.

RLT-Anlagen können erforderlich werden, wenn entsprechende Bedingungen nach Abschnitt 1.3 oder nachfolgende Voraussetzungen vorliegen:

- Vorhandensein von Zuschauerplätzen in solcher Anzahl, dass die Sporthalle dadurch unter die Bestimmungen der jeweils geltenden Versammlungsstättenverordnung fällt und der Einbau einer RLT-Anlage dort vorgeschrieben ist oder
- Mehrzwecknutzung, z. B. für Theateraufführungen, Konzerte, Vorträge und Versammlungen oder
- größere Hallen (2- bis 3-fach Hallen), bei denen aufgrund der baulichen Gegebenheiten eine ausreichende freie Lüftung nicht möglich ist.

Bei Mehrzwecknutzung sowie hoher Belegungsdichte wird empfohlen die Luftqualität in Anlehnung an die empfohlene Kategorie IEQ II bereit zu stellen. Der Volumenstrom der zugeführten Außenluft richtet sich nach dem höchsten Wert der verwendeten Auslegungskriterien. Anforderungen an die Raumkonditionen sowie Kühllasten sollten berücksichtigt werden. Wichtig ist, dass die für die Planung zuständigen Projektverantwortlichen in Abhängigkeit von den konkreten betrieblichen, baulichen und funktionellen Eigenarten des einzelnen Objekts die jeweils notwendige Art und den Umfang der Be- und Entlüftung ermitteln und mit dem jeweiligen Auftraggeber bzw. Betreiber erörtern und abstimmen sowie dann vertraglich vereinbaren.

Bei der Planung ist zu beachten, dass alle im Hallenbereich freiliegenden Anlagenteile (z. B. Luftdurchlässe, Luftleitungen) den Anforderungen der Ballwurfsicherheit gemäß DIN 18032-3 genügen müssen.

Es ist empfehlenswert, die sommerliche Stauwärme unmittelbar unter der Hallendecke durch geeignete Maßnahmen (zu öffnende Dachoberlichter oder besondere Fortluftventilatoren) abzuführen, wenn keine mechanische Be- und Entlüftung stattfindet.

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV, Publikation „Sichere Schule – Sporthalle“, Ausgabe November 2016) sowie das Bundesinstitut für Sportwissenschaft („Leitfaden Nachhaltiger Sportstättenbau“, Stand November 2017) geben weitere sachdienliche Hinweise.

3.5.2 Gymnastikräume

Grundsätzlich gilt Abschnitt 3.5.1.

3.5.3 Konditions- und Krafttrainingsräume

Für diese Räume ist nach DIN 18032-1 – Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung, Ziff. 10.2 aus hygienischen Gründen eine RLT-Anlage erforderlich.

Es hat sich bewährt, diese RLT-Anlagen als unabhängige Anlagen zu planen, die vom Raum aus eingeschaltet werden können und sich nach einer bestimmten Zeit (Nachlauf) automatisch wieder abschalten. Alternativ kann auch ein CO₂-geführter oder anwesenheitsabhängiger Betrieb vorgesehen werden.

3.5.4 Umkleideräume

Es gelten die gleichen Anforderungen wie bei Umkleideräumen in Verwaltungsgebäuden (siehe Abschnitt 3.1.5).

3.5.5 Wasch- und Duschräume

Es gelten die gleichen Anforderungen wie bei Wasch- und Duschräumen in Verwaltungsgebäuden (siehe Abschnitt 3.1.4).

3.6 Bäderbauten

Planungsgrundlage ist die VDI 2089 Blatt 1 - Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern - Hallenbäder.

Der Einbau einer WRG-Anlage mit hohem Wirkungsgrad ist grundsätzlich vorzusehen. Bei der Systemauswahl ist darauf zu achten, dass kein Feuchte Austausch stattfindet und korrosionsbeständiges Material verwendet wird.

Es wird empfohlen die Entfeuchtung nicht ausschließlich durch mechanische Kälteerzeugung zu realisieren, sondern auch durch eine „freie Entfeuchtung“, also durch Trocknung mittels trockener Außenluft. VDI 2089 lässt eine gleitende Schwülegrenze (im Rahmen der bauphysikalischen Gegebenheiten) zu.

3.6.1 Nebenräume in Bäderbauten

Grundsätzlich ist für Nebenräume auch freie Lüftung möglich, die Anforderungen der ASR A 3.5 und der ASR A 4.1 müssen jedoch erfüllt werden. Besteht nach Maßgabe des Abschnitts 1.3 die Notwendigkeit, RLT-Anlagen einzuplanen, wird auf die Auslegungsdaten der Abschnitte 4.1.3 bis 4.1.5 bzw. Pkt. 6 der VDI 2089, Blatt 1 verwiesen.

3.7 Betriebsbauten

Eine Abstimmung mit den jeweils zuständigen Landesbehörden für Gesundheits- und Arbeitsschutz, mit der zuständigen Landesunfallkasse und den Brandschutzbehörden zur

Klärung der auf die jeweiligen Nutzungsanforderungen angepassten Planungsanforderungen wird empfohlen.

3.7.1 Werkstätten

Für Werkstätten ist in der Regel freie Lüftung ausreichend. Besteht die Gefahr, dass an einzelnen Arbeitsplätzen (z. B. Schweißarbeitsplätze, Farbspritzarbeitsplätze, Schleifarbeitsplätze, Arbeitsplätze zur Kunststoff-bearbeitung) die zulässigen Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) überschritten werden, sind dabei vorrangig unmittelbar am Entstehungsort wirksame Absaug-einrichtungen (z. B. Kabinen, Hauben, Saugschlitze und dergl.) ggf. unter Verwendung vorhandener Absauganschlüsse an Maschinen, Geräten und Apparaten einzuplanen. Auf eine ausreichende Nachströmmöglichkeit von Außenluft ist zu achten. Auf die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften und TRGS wird hingewiesen. Einer sorgfältigen Abstimmung mit dem Nutzer kommt besondere Bedeutung zu. Im Einzelnen sind folgende Planungshinweise besonders zu beachten:

- die Abgase von Verbrennungsmotoren sind unmittelbar ins Freie abzuführen
- Arbeitsgruben und Unterfluranlagen sind nach Maßgabe der Vorschriften und Regeln der zuständigen Unfallversicherungsträger (z. B. GUV 17.1 -Sicherheitsregeln für die Fahrzeug-Instandhaltung) mit RLT-Anlagen auszurüsten
- in Laderäumen für Akkumulatoren ist für eine ausreichende Durchlüftung - im Allgemeinen durch freie Lüftung - zu sorgen (vergl. auch DIN EN 62485-2).

3.7.2 Wäschereien

Arbeitsplätze in Wäschereien können im Sinne der Arbeitsstättenrichtlinie als Hitzearbeitsplätze angesehen werden, d. h., die Regeln der ASR A 3.5 sind zu erfüllen. Um weitgehend die Möglichkeit der freien Lüftung zu nutzen, sind Raumhöhen von mind. 6 m erforderlich. Mit einer direkten Absaugung der Wrasen unmittelbar an den Wäschereimaschinen in Verbindung mit einer hochwirksamen Wärmedämmung der Maschinen einschließlich der Anschlussleitungen und Armaturen können verbesserte Arbeitsbedingungen geschaffen werden. Wichtig ist die Begrenzung der Raumluftfeuchte unter die Schwülegrenze.

Aus hygienischer Sicht kann es allerdings erforderlich sein (z. B. als Forderung des Gesundheitsamtes), den unreinen Bereich der Wäscherei raumluftechnisch zu behandeln, insbesondere mit dem Ziel der Herstellung eines Unterdrucks. Sind raumluftechnische Anlagen erforderlich, ist Quelllüftung die günstigste Lösung. Dadurch können die notwendige Kühlleistung und der Luftvolumenstrom minimiert werden.

3.8 Kulturbauten

3.8.1 Bibliotheken und Archivbauten

In öffentlichen Bibliotheken kann in Abhängigkeit von Raumtiefen und Fensterflächen eine freie Lüftung ausreichend sein. Der Einbau von RLT-Anlagen kann jedoch erforderlich werden, wenn Abschnitt 1.3 hinreichende Erkenntnisse liefert.

Werden bei der Lagerung oder Präsentation von besonders hochwertigem Schriftgut besondere Anforderungen an die raumklimatischen Bedingungen (Temperatur und Feuchte) gestellt, ist Abschnitt 3.8.2 zu beachten.

Für die raumklimatischen Bedingungen in den Magazin- und Leseräumen der Archivbauten gelten ähnliche Bedingungen, wie in den Depots von Museumsbauten (siehe Abschnitt 4.8.2).

Im Allgemeinen kommt der rel. Raumluftfeuchte sowie einer möglichst langsamen zeitlichen Änderung von Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte besondere Bedeutung zu. Es ist vorrangig anzustreben, das geforderte Raumklima durch bauphysikalisch wirksame Maßnahmen (z. B. hohe Speicherfähigkeit der Bauteile und Beschränkung der Lichtöffnungen) zu erreichen.

Die vom Nutzer geforderten raumklimatischen Bedingungen für Temperatur, relative Raumluftfeuchte sollen individuell auf die einzelnen Archivalien abgestimmt und mit möglichst geringem Aufwand für RLT-Anlagen und deren Betrieb erreicht werden. Das geplante Regelkonzept ist nach Inbetriebnahme der Anlagen auf Einhaltung der Sollwerte zu überprüfen und zu optimieren.

Für die Planung und Betrieb von Archiv- und Bibliotheksgut können folgende Vorgaben hilfreich sein:

- DIN 67700: 2107-05– Bau von Bibliotheken und Archiven – Anforderungen und Empfehlungen für die Planung. Spezielle Hinweise zu raumluftechnischen Anforderungen finden sich unter Pkt. 10 – Lüftung und Klima.
- DIN ISO 11799: 2107-04 – Anforderungen an die Aufbewahrung von Archiv- und Bibliotheksgut. Relevant sind hier Pkt. 4.2 – Klimastabilität im Inneren – und Pkt. 5.5 – Lagerungsbedingungen. In dieser Norm erfolgen Hinweise über eine optimale Bauweise hinsichtlich Erfüllung der erforderlichen späteren Betriebsbedingungen. Zugleich werden die wichtigsten Anforderungen an die notwendigen raumklimatischen Bedingungen benannt.
- DIN EN 16893: 2018-04 – Festlegungen für Standort, Errichtung und Änderung von Gebäuden oder Räumlichkeiten für die Lagerung oder Nutzung von Sammlungen des kulturellen Erbes. Unter Pkt. 5 dieser Norm erfolgen Hinweise zur Gebäudegestaltung. Relevant für die Raumklimatischen Bedingungen sind Anhang B (Temperatur) bzw. Anhang C (Luftfeuchte).
- Publikation in der Zeitschrift Bauphysik, Ausgabe Oktober 2018 – Simulationsrechnungen zur klimastabilen Auslegung von Depots und Archiven bei Sanierung und Neubau. Hier wird aufgezeigt, dass eine Luftwechselrate von $0,1 \text{ h}^{-1}$

ausreichend ist, um die Anforderungen auf die Klimastabilität bzw. an die geforderten Raumlufzustände zu erfüllen.

- ISO/TR 19815:2018-07 – Information und Dokumentation – Management der Umgebungsbedingungen von kulturellen Sammlungen. Hier sind nur allgemeine Hinweise zu finden.

3.8.2 Museen

In Museen ist die Einhaltung eines auf die Empfindlichkeit des Museumsgutes abgestimmten Raumklimas erforderlich. Dabei sind die vom Nutzer gestellten Anforderungen an Raumlufthemperatur und Raumlufthfeuchte, insbesondere die zulässigen Toleranzbereiche, in jedem Einzelfall kritisch zu hinterfragen.

Im Allgemeinen kommt der rel. Raumlufthfeuchte sowie einer möglichst langsamen zeitlichen Änderung von Raumlufthemperatur und Raumlufthfeuchte besondere Bedeutung zu.

Die geforderte rel. Raumlufthfeuchte kann oft durch örtliche Be- und Entfeuchtungsgeräte, u. U. in Verbindung mit einer Veränderung der Raumlufthemperatur weitgehend erreicht werden, wenn die entsprechende Bedienung der Geräte sichergestellt ist.

Es ist insbesondere auch anzustreben, das geforderte Raumklima durch bauphysikalisch wirksame Maßnahmen (z. B. hohe Speicherfähigkeit der Bauteile und Beschränkung der Lichtöffnungen) zu erreichen.

Da die Objekte meist weitaus höhere Anforderungen an das Raumklima stellen als der Mensch, ist eine Unterbringung der Objekte in Ausstellungsvitrinen zu prüfen, in denen mit relativ geringem Aufwand ein vom Umgebungsraum weitgehend unabhängiges Kleinklima geschaffen werden kann. Durch Verwendung von hygroskopischen Stoffen - wie Holz oder Textilien - und/oder durch Einbringen von Salzlösungen, Flüssigkeitsmischungen, Silicagel und anderen Trocknungsmitteln, die selbst keine Stoffe emittieren dürfen, lässt sich in den Vitrinen die rel. Luftfeuchte innerhalb bestimmter Grenzen einhalten. Auf Beleuchtungskörper innerhalb der Vitrinen sollte wegen der damit verbundenen thermischen Lasten verzichtet werden.

Sind zusätzlich zu den baulichen und organisatorischen Maßnahmen RLT-Anlagen unumgänglich, gelten folgende Richtwerte:

Temperatur und relative Luftfeuchte

Die Sollwerte der Raumlufth sollten einen jahreszeitlich verschobenen, an die Außentemperatur und relative Feuchte. angepassten, Verlauf aufweisen, da eine ganzjährige Konstanz erheblich höhere Kosten verursacht. Ein saisonales Gleiten der raumklimatischen Bedingungen ermöglicht einen energiesparenden Betrieb der RLT-Anlagen und ist daher immer in Betracht zu ziehen.

Während bei der Temperatur durchweg große Bandbreiten zulässig sind, gibt es für den Sollwert der relativen Luftfeuchte in der Fachliteratur unterschiedliche Anforderungen. Die nachfolgende Tabelle 4 enthält Beispiele für ausgewählte Einzelmateriale:

Objekt/Material	relative Feuchte (rF) in %
Holztafelgemälde, gefasste Skulpturen, Musikinstrumente	45...60
Leinwandgemälde	40...55
Papier	40...50
Textilien, Kostüme, Teppiche	30...50
Fotographien, Filmmaterial	30...45
Münzen, Metallobjekte (abhängig vom Korrosionszustand)	20...30
Silber	max. 40

Quellen:

Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 01/02, Recknagel/Sprenger/Schramek www.cwaller.de; Christoph Waller Long Life for Art, Göttingen, 2001) Hilbert, G., Sammlungsgut in Sicherheit, Gebr. Mann Verlag, Berlin

Tabelle 4: Empfohlene Sollwerte für die relative Luftfeuchte

Um einer langsamen zeitlichen Veränderung der Klimaparameter gerecht zu werden, soll der zeitliche Änderungsgradient der Sollwerte bzw. die Stabilität der Regelung bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Die Tabelle 5 enthält beispielhafte Richtwerte.

Änderungsgradient	Richtwert
Änderung der relativen Luftfeuchte während einer Stunde	max. 2,5%
Änderung der relativen Luftfeuchte während eines Tages	max. 5,0%
Änderung der Temperatur während einer Stunde	max. 1,0 K

Quelle: Raumklima in Museen, Fachinstitut Gebäude- Klima e.V. Bietigheim- Bissingen, 1999

Tabelle 5: Zulässige Änderungsgradienten von rel. Luftfeuchte und Temperatur am Objekt

Bezüglich der örtlichen Schwankungsbreite bzw. der Regelungstoleranz im Raum-Klimakorridor kann man in Anlehnung an ASHRAE folgende Klasseneinteilung vornehmen (Tabelle 6):

maximale Schwankungen			
Klimaklasse	Charakteristik	Kurzzeittoleranz Klimakorridor	Langzeittoleranz durch
AA	schmalster Klimakorridor	$T = \pm 2K$ $rF = \pm 5\%$	$T = \pm 5K$ $rF = \pm 5\%$
A	schmaler Klimakorridor	$T = \pm 2K$ $rF = \pm 10\%$	$T = +5K/-10K$ $rF = \pm 10\%$
B	mäßiger Klimakorridor	$T = \pm 5K$	$T = \pm 10K$; $T_{\max} = 30^{\circ}\text{C}$; $rF = \pm 10\%$ $T_{\min}$ so niedrig wie es die Gewährleistung der rel. Luftfeuchte zulässt
C	breiter Klimakorridor	T beliebig, jedoch meist kleiner 25°C und nur in Ausnahmefällen größer 30°C ; $rF = 25\ldots 75\%$	
D	Verhinderung von Feuchteschäden	$rF < 75\%$	

Quelle: ASHRAE© Handbook, Applications Chapter 20; Heating, Ventilations and Air-Conditioning, 1999

Tabelle 6: Klassifizierung von Klimakorridoren anhand Kurz- und Langzeittoleranzen

Die Klasse AA wird nur in Einzel-/Ausnahmefällen benötigt. Die überwiegende Anzahl der Museen ist in Klasse A einzuordnen. In vielen Fällen ist eine Einordnung in die Klasse B bei dezentraler Befeuchtung ausreichend. Die Klassen C und D sind für Sammlungen/Exponate ohne besondere klimatische Anforderungen anzuwenden.

Planungseckdaten für Ausstellungsräume

Bei der Ermittlung des Außenluftvolumenstromes sollen folgende Besucherzahlen pro 100 m² Ausstellungsfläche als Orientierungswerte berücksichtigt werden:

Jahresdurchschnitt	3 bis 5
Tagesdurchschnitt bei stärkerem Besuch	10
Maximalwert (Dauer ca. 1 Stunde täglich)	25

Quelle: Sammlungsgut in Sicherheit, Seite 192, Ausgabe 1996, G.S. Hubert

Planungseckdaten für Magazine und Depots

Außerhalb der Betriebszeiten von Museen, Depots und Magazinen ist der Außenluftanteil zu minimieren, um die verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten für die Außenluft-Aufbereitung zu verringern.

3.9 Rechenzentren (RZ) einschl. RZ-Flächen/Bereiche

3.9.1 Kernaspekt IT Sicherheitsgesetz

„Betreiber Kritischer Infrastrukturen werden durch das Bundesamt für Informationssicherheit (BSI) verpflichtet, die für die Erbringung ihrer wichtigen Dienste erforderliche IT nach dem Stand der Technik angemessen abzusichern und - sofern nicht andere Spezialregelungen bestehen - diese Sicherheit mindestens alle zwei Jahre überprüfen zu lassen.“

Relevante Normen sind hierbei:

- IT-Sicherheitsgesetz
- KRITIS-Verordnung zur Umsetzung des IT-Sicherheitsgesetzes (Teil 1 und 2)
- IT-Sicherheitskatalog gemäß § 11 Absatz 1a EnWG
- ISO 27001 nativ
- ISO 27001 auf Basis Grundschutz

Mit der eingeführten EN 50600 - Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren - ist eine übergreifende Design Normung für alle Einrichtungen und Infrastrukturen eines Rechenzentrums entstanden. Hier werden Verfügbarkeit, physische Sicherheitseinrichtungen und Energieeffizienz betrachtet.

Mit der eingeführten Norm werden einheitlichen Definitionen erhoben für

- Rechenzentren
- RZ-Bereichen und Flächen
- Allgemeine Planungsprinzipien
- Design-Ansatz aus der Business-Perspektive (u.a. Standzeiten, Betriebskosten)
- Resultierende Design-Paramater für das gesamte RZ (u.a. Verfügbarkeitsklasse, Schutzklassen)
- Leitlinien für das Design aller Einrichtungen und Infrastrukturen

3.9.2 Bauliche Anforderungen

In Ergänzung der Bedingungen nach Abschnitt 1.3 sind u. a. weitere Gesichtspunkte zu beachten:

- Die lichte Raumhöhe soll mindestens 3 m betragen.
- In Rechenzentren einschl. DV-Räumen ist ein Doppelboden und ein Deckenhohlraum zweckmäßig. Als Richtwerte sind jeweils ca. 0,5 m - 0,8 m lichte Höhe anzusetzen.
- Die notwendige Grundfläche des Rechenzentrums bzw. DV-Raumes ist u. a. abhängig von der inneren Kühllast, dem Vorhandensein eines Doppelbodens sowie von den Möglichkeiten, thermische Lasten am Entstehungsort direkt abzuführen.

- Ein Wert von 400 W/m² bei Räumen mit Bedienplätzen bzw. 1000 W/m² bei bedienerlosen Räumen sollte nicht überschritten werden.
- Es ist zu prüfen, ob Möglichkeiten bestehen, die thermischen Lasten mit Hilfe von Flüssigkeitskühlung direkt abzuführen.
Bei der Einrichtung von Warm- und Kaltgängen können die Luftvolumenströme in optimaler Weise reduziert werden (u. a. Regelgröße Geschwindigkeit, Druck oder Temperatur).
- Es ist auch zu prüfen, ob Potenziale der freien Kühlung, entweder durch die direkte Kühlung durch Außenluft oder die indirekte Kühlung (Entkopplung durch Wärmeübertrager), sinnvoll ist. Evtl. kann auch eine Kombination aus direkter Kühlung (bei nicht zu trockener oder zu feuchter Außenluft) und indirekter freier Kühlung (in allen anderen Fällen) genutzt werden.
- Es sollte geprüft werden, ob die Abwärme des Rechenzentrums nutzbringend in anderen Prozessen (z. B. durch Anbindung an Büroräume, Schwimmbadvorwärmung, etc.) systemübergreifend genutzt werden kann.

Für Batterieräume von USV-Anlagen ist ein ausreichender Luftwechsel zu planen.

3.9.3 Planungshinweise

Praxishinweis:

Der Betreiber von IT-Systemen stellt an die klimatischen Raumverhältnisse (u. a. Raumtemperatur, Raumfeuchte) teilweise sehr hohe Anforderungen. Deshalb sind diese Forderungen immer kritisch zu hinterfragen und anhand von Produktdatenblätter nachzuweisen. Statische Raumtemperaturforderungen für Rechenzentren sind nicht mehr zeitgemäß. Nach dem Leitfaden „ASHRAE-TC 9.9 Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces and Electronic Equipment 2018“ sind in Rechenzentren Temperaturen von 27 °C zulässig, kurzzeitig auch höhere Werte. Die Betriebszeiten der DV-Geräte und die raumklimatischen Anforderungen erfordern in der Regel für Rechenzentren und RZ-Flächen/Bereiche eine von anderen Raumgruppen des Gebäudes unabhängige RLT- und Kälteversorgungsanlage.

Wichtige Planungshinweise erfolgen in der VDI 2054 Raumlufthtechnische Anforderungen für Datenverarbeitung. Bei hohen Leistungsdichten (ab ca. 10 kW pro Datenschrank) kann die Kühllast nur mit wasserbasierten Kühlsystemen abgeführt werden. In diesem Fall wird empfohlen, den wirtschaftlichen Einsatz von Adsorptionskältemaschinen zu prüfen.

Hinweise von Serverhersteller zu Temperaturen im Bedarfsfall beachten.

Bei Rechenzentren und RZ-Flächen/Bereiche mit erhöhten Anforderungen an die Betriebssicherheit sollte dem Nutzer eine Klassifizierung nach dem Tier-Konzept vorgenommen werden. Aus der gewählten Klasse ergeben sich u. a. das Konzept und gegebenenfalls das Redundanzkonzept der RZ-Kühlung. Es empfiehlt sich das Warm- / Kaltgang-Konzept mit Kaltgang-Einhausung, um konvektive Vermischungen mit der

warmen Umgebung zu verhindern. Über Doppelboden-Gitterroste oder vom Doppelbodenhersteller entsprechende Lufteinlassplatten wird genau der Luftvolumenstrom jeweils in den Kaltgang gelassen, der über die internen Lüfter der IT-Komponenten in den Schrankreihen jeweils in den Warmgang geblasen wird. Es wird empfohlen die Zulufttemperatur gleitend zu fahren. Der Luftvolumenstrom wird über einen Temperaturfühler und/oder Volumenstromsensor und/oder Drucksensor in einer kleinen Öffnung in der Kaltgang-Einhausung geregelt. Wird warme Luft aus dem Warmbereich durch die kleine Öffnung gesaugt, zeigt die zu hohe Temperatur am Fühler, dass der Luftvolumenstrom erhöht werden muss. Wegen der ganzjährigen Kühllast kann ein Großteil des Kühlbedarfs durch freie Kühlung mit Außenluft gedeckt werden. Dabei ist bei günstigen Außentemperaturen vollständig frei zu kühlen, bei höheren Außentemperaturen parallel mit Kältemaschinen und erst bei einer hohen Außentemperatur vollständig mit Kältemaschinen zu kühlen.

Durch Nutzung der freien Kühlungskälte in Verbindung mit gleitender Zulufttemperatur bis 27 °C kann die mechanische Kältemaschinenleistung minimiert oder darauf verzichtet werden.

RLT-Geräte sind so anzuordnen, dass eine Wartung ohne Beeinträchtigung des Betriebes (u. a. über Klimaspangen) möglich ist.

Es ist darauf zu achten, dass im Falle von vorgesehenem Aufenthaltsbereich für Bedienungspersonal die einschlägigen Normen zu beachten sind (z. B. Grenzwerte für Zugfreiheit gemäß DIN EN 16798-3 und DIN EN ISO 7730 sowie VDI 6022: >30 d/a mit >2 h/d).

Die Abluftführung sollte an der Decke erfolgen. Eine schwerpunktmäßige Erfassung der Abluft in den wärmeintensiven Bereichen ist anzustreben.

Besonderheiten des Brandschutzes im Rechenzentrum bzw. an die RZ-Flächen

Ausgangspunkt ist ein ganzheitliches Brandschutzkonzept. Hierzu können unter anderem höhere brandschutztechnische Anforderungen zwischen angrenzenden Räumen zählen, als dies durch das Baurecht (Landesbauordnung, Einstufung in Gebäudeklassen) gefordert wird.

Aus Gründen der Datensicherung kann es erforderlich werden, über die brandschutztechnischen Anforderungen hinaus bestimmte Raumgruppen innerhalb des DV-Bereiches als gesonderte Brandabschnitte zu behandeln.

Die Ermittlung der inneren Wärmelast (Wärmeabgabe der DV-Geräte) erfolgt nach Herstellerangaben, jedoch unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit. Kontrollmessungen in bestehenden DV-Anlagen haben niedrige Gesamtgleichzeitigkeitsfaktoren von ca. 0,35 ergeben.

Nach Ermittlung weiterer Rahmenbedingungen, u.a.

- RZ-Räume
- Mittelspannung
- Transformatoren
- Generatoren
- NSHV
- USV-Räume
- Batterieräume
- Klimatechnik
- Kältetechnik
- Rückkühltechnik
- RLT-Technik
- Löschtechnik
- SI-Technik

ist während des Planungsprozesses festzulegen, wie das RZ-Gebäude bzw. die RZ-Flächen aussehen sollen. Zusätzlich zur Forderung der Entfluchtung und Schadenseingrenzung in einem „normalen“ Gebäude steht die Anforderung an die Verfügbarkeit an höchster Stelle. Es sind sowohl technische Ansätze (u. a. BMA, Sauerstoffreduktion) als auch organisatorische Ansätze notwendig (u. a. Reduktion Brandlasten, Notfallkonzepte), ebenso der abwehrende Brandschutz (u. a. Brandlöschanlagen).

3.10 Speiseräume

Für Speiseräume ist eine maschinelle Be- und Entlüftung üblich. Voraussetzungen hierfür sind:

- Erfordernis einer Unterdruckhaltung gegenüber anderen Gebäudeteilen
- Abtrennung von anderen Nutzungsbereichen und Verkehrswegen (z. B. durch Schleusen bzw. Drehtüren)
- Vermeidung einer Geruchsausbreitung aus der Küche in den Speiseraum bzw. in das übrige Gebäude (Absaugung im Bereich der Essensausgabe).

Zur Bestimmung der Lüftungsrate wird die CEN/TR 16798-2, Tabelle B.6, DIN EN 16798 Teil 1, Anhang B, Tabelle B.2 für Restaurant, Kat II und DIN EN 16798-3 – Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage und Raumluftkühlsysteme empfohlen.

3.11 Küchen

Für kleine Küchen mit einer Gesamtanschlussleistung von weniger als 25 kW, der wärme- und feuchteabgebenden Geräte, benötigen grundsätzlich keine Be- und Entlüftungsanlage, wenn die Möglichkeit der freien Lüftung gegeben ist. Es wird jedoch eine Abluftanlage (z. B. Dunstabzugshaube) empfohlen. Zugleich muss eine geordnete Nachströmmöglichkeit von Außenluft gegeben sein.

Bei Lehrküchen oder gewerblich genutzten Küchen ist jedoch eine Be- und Entlüftungsanlage erforderlich. Diese ist nach VDI 2052 (Raumlufthtechnische Anlagen für Küchen) zu konzipieren. Auf die BG-Regel BGR 111 (Arbeiten in Küchenbetrieben) wird hingewiesen. Der Einbau von Wärmerückgewinnungsanlagen ist in GEG geregelt.

Ebenfalls zu beachten ist die Normenreihe der DIN EN 16282-Einrichtungen in gewerblichen Küchen - Elemente zur Be- und Entlüftung - Teile 1-8. In Teil 1 werden allgemeine Anforderungen an den Bau und die Berechnungsgrundlagen für die Dimensionierung und Auslegung für die Lüftungsanlagen in gewerblichen Küchen festgelegt. Die Teile 2 bis 8 beinhalten die Anforderungen für die unterschiedlichen Küchenlüftungsmöglichkeiten sowie deren Bau- und Betriebsweise, einschließlich der sicherheitstechnischen, ergonomischen und hygienischen Merkmale und deren Prüfung. Hierbei beziehen sich die Teile auf Küchenlüftungshauben, Küchenlüftungsdecken, Luftdurchlässe, Luftleitungen, Abscheider, Einbau und Betrieb von stationären Feuerlöschanlagen, Anlagen zur Aerosolnachbehandlung, Erfassung und Abführungsverhalten. Diese Normenreihe basiert auf der VDI 2052 und der Reihe DIN 18869 die teilweise bereits zurückgezogen wurde.

Die Zu- und Abluftströme sind nach der gesamten sensiblen Wärme- und Feuchteabgabe unter Berücksichtigung betriebsgerechter Gleichzeitigkeitsfaktoren (0,6 bis 1,0) der Küchengeräte zu ermitteln. Zur Be- und Entlüftung haben sich Hauben nach DIN EN 16282-2 oder Küchenlüftungsdecken nach DIN EN 16282-3 bewährt.

Großgeräte (z. B. Fritteusen, Kippbratpfannen, Druckbratpfannen, Dämpfer) mit hoher Wärme- und Feuchtigkeitsabgabe sollten in Erfassungsschwerpunkten mit separaten Abluftabsaugungen angeordnet werden. Die Luftdurchlässe sind nach DIN EN 16282-4, Luftleitungen sind nach DIN EN 16282-5 auszuführen. Außen- und Zuluftleitungen mit rundem und rechteckigem Querschnitt müssen der Dichtheitsklasse B, Ab- und Fortluftleitungen der Dichtheitsklasse C, DIN EN 16282-5 entsprechen.

Aerosolabscheider (Fettabscheider) der Bauart A sind in Küchenbereichen mit thermischen Geräten vorzusehen, die Bauart B für die übrigen Bereiche und Spülküchen (DIN 18869-5). Nach DIN EN 16282-6 müssen Abscheider in Küchenabzugshauben aus Chromnickelstahl Nr.1.4301 oder höherwertig gebaut werden.

Anlagen zur Aerosol- und Aerosolnachbehandlung (UV-, Corona Plasmaanlagen, Wassersprüheinrichtungen DIN 18869-7, DIN EN 16282-8) und Aktivkohlefiltereinrichtungen verursachen hohe Investitions- und Betriebskosten. Die Notwendigkeit zum Einbau ist kritisch zu prüfen.

Zur Sicherstellung einer hohen Behaglichkeit, Luftqualität und Hygiene ist eine lastmindernde Raumluffführung, bei dem die Zuluft impulsarm in die Küche eingeleitet wird und die Thermikströmung ungestört bleibt, vorteilhaft.

Ziel der Luftführung muss es sein, die aufsteigenden luftfremden Stoffe (Wrasen, Dämpfe, Partikel usw.) nicht in den Aufenthaltsbereich zu leiten. Dies wird z. B. durch die Anwendung

der Schichtströmung mit bodennahem Quellaufwind im Bereich zwischen 0,2 m und 1,8 m über Fußboden (DIN EN 16282-4) erreicht. Schichtströmung mit Quellaufwind in Bodennähe ist aus energetischer Sicht sinnvoll und verursacht geringere Betriebskosten, weil der Ausspülgrad (VDI 2052, Tabelle 4) und damit der erforderliche Zuluft-/Abluftvolumenstrom wesentlich reduziert werden kann.

Korrosionsbeständige Materialien (z. B. Werkstoffnummer 1.4301 oder Kunststoff) haben sich als Werkstoff für die Luftleitung zur direkten Absaugung der Spülmaschinenwrasen bewährt.

In Luftleitungen und in Lüftungsdecken sind Reinigungsöffnungen vorzusehen, um die hygienischen Anforderungen der VDI 2052 und VDI 3803 zu gewährleisten. Auf die Brandschutz-/Rauchschutzanforderungen DIN EN 16282-7, DIN 4102-6 und die Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie wird hingewiesen. Ab- und Fortluftleitungen aus Beton müssen glatte, leicht zu reinigende Oberflächen haben; sie sind mit Hilfe geeigneter Schutzschichten (z. B. Epoxidharz) gegen die Einwirkung von Aerosolat (Fett, Öl, Wasser-Gemisch) zu schützen. Um Kondensation an Fenstern zu vermeiden, sind Küchengeräte nicht vor Fenstern aufzustellen. Die Beheizung (Transmissionswärmebedarf) der Küche sollte in der Regel über leicht zu reinigende, statische Heizkörper erfolgen.

3.12 Unterkünfte

Vorgaben zu unterschiedlichen Lüftungskonzepten, speziell freie Lüftung finden sich z. B. in der DIN 1946-6. Abhängig von der Nutzungsdefinition ergeben sich Art und Umfang der sicherheitstechnischen Anforderungen.

Inwiefern Forderungen der Verordnung über den Bau und Betrieb von Beherbergungsstätten (Beherbergungsstättenverordnung - BStättV) zu beachten und zu erfüllen sind, richtet sich nach den jeweils gültigen Landesregelungen.

Je nach Art der Nutzung (z. B. Schülerwohnheime, Gebäude der Bundeswehr, Wohnheime in Fortbildungseinrichtungen) sind u.U. auch verwaltungsinterne Vorgaben zu beachten.

4. Planung und Ausführung

4.1. Integrale Planung

Die Sicherstellung der Raumlufthtqualität muss über die Systemgrenzen der Raumlufthttechnik hinaus erfolgen und liegt daher nicht allein in der Verantwortung der Fachplaner und Errichter von RLT-Anlagen. Das gebäudespezifische Lüftungskonzept ist ein wesentlicher gewerkeübergreifender integraler Planungsbestandteil.

In dem Maße, in dem sich in einer Entwurfsplanung ungünstige standortspezifische und bauliche Einflüsse häufen und dadurch verstärken, erhöht sich auch die Wahrscheinlichkeit von problematischen Raumlufthtqualitäts- bzw. Raumtemperaturzuständen im späteren Betrieb. Ziel kann es in solchen Fällen nicht sein, ungünstige Bauweisen durch den Einsatz von energie- und kostenintensiven RLT-Anlagen zu kompensieren. Dieser Weg führt zu unwirtschaftlichen und energetisch bedenklichen Gebäudekonzepten. Stattdessen sind die wesentlichen Probleme frühzeitig zu klären und in erster Linie durch bauseitige Lösungen zu beheben. Diese Anstrengungen sind letztlich auch der Verantwortung der staatlichen und kommunalen Verwaltungen gegenüber dem Klimaschutz geschuldet. Entscheidend ist, dass alle an der Planung beteiligten Stellen bereits frühzeitig in der Konzeptphase günstige bauliche Kennwerte vereinbaren (vgl. Tabelle 1). Dies ist erfahrungsgemäß ohne größere Schwierigkeiten möglich (siehe auch AMEV Energie).

Zur Bewertung der Einhaltung norm- und nutzungskonformer Behaglichkeitskriterien (insbesondere thermischer Art) im Gebäudebetrieb ist es sinnvoll, frühzeitig in der Planung entsprechende dynamische thermische bzw. strömungstechnische Simulationsberechnungen für exemplarisch ausgewählte Räume bzw. Zonen durchzuführen. Die Wirksamkeit baulicher Lösungsvarianten lässt sich damit hinreichend beurteilen. Die Grundlage der Simulation bilden das Nutzungs- und Energiekonzept.

Für alle Gebäude mit nicht unmittelbar als problemfrei erkennbaren Räumen oder Zonen ist ein Konzept zur Vermeidung der sommerlichen Überhitzung erforderlich. Eine nach Planungsablauf und Wirksamkeit gestaffelte Maßnahmenkombination wäre z. B.:

- die erforderlichen Mindestanforderungen an Innenräume definieren,
- den Wärmeeintrag auf die Gebäudehülle reduzieren,
- die Erwärmung des Gebäudeinnern verzögern (z. B. durch thermisch wirksame Speichermasse),
- die internen Wärmelasten reduzieren,
- Wärme aus dem Gebäude mit Hilfe von passiver Kühlung (z. B. freie Nachtlüftung) abführen,
- bedarfsweise aktive Kühlsysteme mit erneuerbaren Energiequellen einsetzen,
- effiziente aktive Kühlsysteme für den ggf. Restkühlbedarf einsetzen,
- Anlagen planungskonform einstellen, kontrolliert betreiben, instandhalten und den Energieverbrauch überwachen.

Für die gewerkeübergreifende Planung und Abstimmung bei Gebäuden mit hohen Anforderungen wird zunehmend das Building Information Modeling (BIM) angewendet.

4.2. Vermeidung stofflicher Verunreinigungen

Die Verunreinigung von Raumluft ist soweit wie möglich zu reduzieren. Maßnahmen zur Verringerung von Luftverunreinigungen führen zu kleineren Außenluftvolumenströmen und RLT-Anlagendimensionen und damit auch zu einem geringeren Platzbedarf für RLT-Anlagen und Installationen in einem Gebäude. Auch die Betriebskosten lassen sich damit reduzieren.

Zur Vermeidung von stofflichen Verunreinigungen sind z. B. folgende Maßnahmen hilfreich:

- Auswahl geruchsneutraler Baustoffe und Inneneinrichtungsmaterialien,
- Direkte Absaugung von Verunreinigungsquellen, Vermeidung der Vermischung mit Raumluft,
- Verzicht auf Umluftnutzung,
- Einsatz hochwertiger Filter,
- Vermeidung von keilriemengetriebenen Ventilatoren,
- Beachtung der Hygienehinweise gemäß VDI 6022.

Hinweise zu schadstoffarmem Bauen gibt der Bund in entsprechenden Veröffentlichungen (z. B. Zukunft Bauen – Ökologische Baustoffwahl). Ergänzend dazu liefern das Webportal WECOBIS und das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) des Bundes umwelt- und gesundheitsrelevante Fachinformationen für alle gängigen Bauprodukte.

4.3. Bestimmung der Außenluftvolumenströme

Kommen RLT-Anlagen zum Einsatz, ist der erforderliche Außenluftvolumenstrom unter Zugrundelegung der lufthygienischen Anforderungen und Auslegungsempfehlungen gemäß Abschnitt 1.4.2 zu bestimmen.

Für die Berechnung des Außenluftvolumenstroms stehen gemäß DIN EN 16798-1 drei alternative, bereits aus vormaligen Normen (DIN EN 13779, DIN EN 15251) bekannte Verfahren zur Verfügung:

4.3.1. Berechnung nach Personen- und Flächenbezug (Verfahren 1)

Als Standardberechnungsverfahren für Nutzungen, bei denen die Personen die bestimmende Ursache für die Verunreinigung der Raumluft sind (z. B. Büros, Besprechungs- und Seminarräume, Hörsäle, Klassenräume in Schulen), wird die Anwendung von Verfahren 1 empfohlen.

Der Außenluftvolumenstrom wird bestimmt durch die Kombination der Lüftung für Personen

und für das Gebäude anhand der folgenden Gleichung:

$$q_{\text{tot}} = n \times q_p + A_R \times q_B$$

q_{tot} : Gesamt-Lüftungsrate für den Atembereich, in l/s

n : Anzahl von Personen im Raum

q_p : Lüftungsrate für die Nutzung je Person, in l/s je Person

A_R : Fußbodenfläche, in m^2

q_B : Lüftungsrate für Gebäudeemissionen, in l/s je m^2

Unter Zugrundelegung der empfohlenen Auslegungswerte der Kategorie IEQ II (mittleres Maß an Erwartung) werden gemäß Tabelle B.8 der EN 16798-1 folgende wesentliche Werte für ein schadstoffarmes Gebäude festgelegt:

$$q_p = 7 \text{ l/(s, Person)}$$

$$q_B = 0,7 \text{ l/(s*m}^2\text{)}$$

Alternativ können auch die Standardwerte der Tabelle B.6 gemäß CEN/TR 16798-2 verwendet werden.

4.3.2. Berechnung nach Stoffkonzentrationen und deren Richtwerte (Verfahren 2)

Sind Stoffkonzentrationen die bestimmende Ursache für die Raumlufthverunreinigung wird die Berechnung des Außenluftvolumenstroms nach dem folgenden Verfahren 2 empfohlen, soweit nicht bereits nationale Regelwerke existieren (z. B. DIN 1946 Teil 7 - Raumlufthtechnik in Laboratorien -):

$$Q_h = G_h / (C_{h,i} - C_{h,o}) \times 1/\varepsilon_v$$

Q_h : Lüftungsrate in m^3/s

G_h : Bildungsgeschwindigkeit des Stoffs in Mikrogramm je Sekunde

$C_{h,i}$: Richtwert für den Stoff in Mikrogramm je Sekunde

$C_{h,o}$: Konzentration des Stoffs in der Zuluft in Mikrogramm je Sekunde

ε_v : Lüftungseffektivität

Unter Tabelle B.21 der EN 16798-1 werden für $C_{h,i}$ Richtwertvorschläge der Weltgesundheitsorganisation WHO zur Verfügung gestellt. Die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) und Biologischen Grenzwerte (BGW) gemäß der Gefahrstoffverordnung dürfen nicht überschritten werden.

Standardwerte für ε_v gibt die EN 16798-3 vor (Hinweis: Für die vollständige Vermischung ist $\varepsilon_v = 1$).

Die Werte $C_{h,i}$ und $C_{h,o}$ dürfen gemäß EN 16798-1 auch in ppm x 10^6 (Volumenanteil) angegeben werden, wodurch G_h in l/s anzugeben ist.

Das Verfahren setzt voraus, dass die Stoffkonzentration in der Zuluft geringer ist als in der Raumlufte.

Für die Berechnung nach Verfahren 2 ist die kritischste Schadstoffverunreinigung als Auslegungskriterium zu Grunde zu legen. Bei Verunreinigung durch Emissionen von Personen (biologische Ausdünstungen) muss CO_2 als maßgebender Stoff verwendet werden. Standardauslegungswerte für die CO_2 -Konzentration in Abhängigkeit von der Kategorie der Raumlufte sind in Tabelle B.9 der EN 16798-1 festgelegt. Für die empfohlene Kategorie IEQ II gilt als Standardauslegungswert 800 ppm CO_2 -Konzentration oberhalb der Konzentration in der Außenluft.

4.3.3. Berechnung nach pauschal vorgegebenen Kenngrößen (Verfahren 3)

Verfahren 3 kann bei pauschal vorgegebenen Kenngrößen (z. B. Auslegung gemäß Luftwechselrate oder personenbezogener Lüftungsrate oder flächenbezogener Lüftungsrate) herangezogen werden. Standardmäßig vorgegebene personen- oder flächenbezogene Auslegungswerte in Abhängigkeit der gewünschten IEC-Kategorie sind in der Tabelle B.10 der EN 16798-1 vorgegeben. Für die Kategorie IEC II beträgt die personenbezogene Lüftungsrate 14 l/s_{Person} (= 50,4 m³/h_{Person}), die flächenbezogene Lüftungsrate 1,4 l/(sm²) (= 5,04 m³/(hm²)) jeweils angenommen für ein schadstoffarmes Gebäude.

Das Verfahren 3 wird gemäß Nationalem Vorwort/Anhang nicht zur Anwendung empfohlen.

4.3.4. Beispielrechnung zur Anwendung des Verfahrens 1:

Für ein Einzelbüro mit einer Nutzfläche (NF 1-6) von 10 m² und einer nutzenden Person berechnet sich der erforderliche Außenluftvolumenstrom gemäß Tabelle B.8 der EN 16798-1, Kategorie IEQ II, schadstoffarmes Gebäude, wie folgt:

$$q_{\text{tot}} = n \times q_p + A_R \times q_B = 1 \text{ Person} \times 14 \text{ l/s (Person)} + 10 \text{ m}^2 \times 1,4 \text{ l/(s*m}^2\text{)} = 14 \text{ l/s (= 50,4 m}^3\text{/h)}$$

Ergebnis: Der erforderliche Außenluftvolumenstrom beträgt 50,4 m³/h (ca. 2-facher Luftwechsel)

Für ein Büro der Größe von 18 m² und 2 Personen beträgt der erforderliche Außenluftvolumenstrom $q_{\text{tot}} = 95,8 \text{ m}^3\text{/h}$ (ca. 2-facher Luftwechsel).

Dazu folgende Hinweise:

Hinweis 1.: Dieser Wert würde bei der üblichen Fensterlüftung (vorbehaltlich der gegebenen erforderlichen Voraussetzungen für eine Fensterlüftung) vom Büronutzer durch die individuelle Fensterbedienung bedarfsweise selbst bestimmt werden.

Hinweis 2.: Ist hingegen eine Fensterlüftung aus gegebenem Grund ausgeschlossen, muss der erforderliche Luftaustausch durch eine maschinelle Be- und Entlüftung gewährleistet werden. Entscheidet sich der Auftraggeber für die nächstgeringere Kat IEQ III (z. B. wegen baukonstruktiv eingeschränkter RLT-Gerätegröße bei Sanierung im Gebäudebestand) wäre für das o. g. Beispiel eines Einzelbüros mit 10 m^2 gemäß Tabelle B.8 der EN 16798-1 mit $q_p = 4 \text{ l/(s, Person)}$ und $q_B = 0,4 \text{ l/(s*m}^2\text{)}$ für ein schadstoffarmes Gebäude ein Außenluftvolumenstrom von insgesamt $28,8 \text{ m}^3/\text{h}$ (ca. 1-facher Luftwechsel) erforderlich. Bei diesem Ansatz sollte allerdings eine unterstützende Fensterlüftung nicht ausgeschlossen werden, um bei Bedarf (z. B. bei auftretenden Gerüchen) zusätzliche Stoßlüftung („hybride Lüftung“) durchführen zu können.

Hinweis 3: Dynamisch sich ändernde Raumluftheiten erlauben es zwar raumluftheitstechnische Anlagen in Verbindung mit Fensterlüftung (hybride Lüftung) auf eine geringere Außenluftzufuhr auszuweichen als dies bei rein statischer Betrachtung und ausschließlicher Außenluftversorgung über die RLT-Anlage möglich wäre, jedoch müssen Energieeffizienz und Behaglichkeit beachtet werden. Hybride Lüftungssysteme sollten daher die Ausnahme sein und dem vollständigen hygienischen Luftaustausch bei ohnehin erforderlich werdenden RLT-Anlagen (z. B. für Hörsäle, Seminarräume, größere Besprechungsräume, Klassenräume in Schulen) sollte der Vorzug gegeben werden.

Hinweis 4: Lüftungsvolumenstrom während der Nichtbelegungszeit

In der belegungsfreien Zeit der Räume sollte die RLT-Anlage außer Betrieb genommen werden. Nach Möglichkeit sollte vor erneuter Nutzung die Lüftungsanlage mit zeitlichem Vorlauf in Betrieb genommen werden.

Hinweis 5: Lüftungsvolumenstrom während der Belegungszeit

In Räumen und Zonen mit hoher Personendichte wird empfohlen, die Luftvolumenströme der RLT-Anlagen mit einer CO_2 -geführten Regelung zu optimieren. Dem Bedarf angepasste reduzierte Luftvolumenströme bewirken einen geringeren Druckverlust in der RLT-Anlage (zweite Potenz des reduzierten Luftanteils) sowie eine geringere elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators (dritte Potenz des reduzierten Luftanteils).

Hinweis 6: Für die Versorgung von zu unterschiedlichen Zeiten genutzten Räumen sollten bei der Bestimmung der Außenluftvolumenströme und der Dimensionierung der RLT-Anlagen angemessene Gleichzeitigkeitsfaktoren Berücksichtigung finden.

4.4. Lüftungseffektivität

Beim Einsatz von RLT-Anlagen findet ein kontinuierlicher Verdünnungs- bzw. Verdrängungsprozess der Stofflasten in der Raumluft statt, bei Fensterlüftung zum Teil auch stoßweise. Abhängig von der Art der Luftführung im Raum (Ort der Luftzufuhr und – entnahme), der Luftgeschwindigkeit bzw. des Turbulenzgrads stellen sich unterschiedliche Strömungsformen ein, die sich maßgeblich auf die Luftqualität im Aufenthaltsbereich auswirken und anhand der Lüftungseffektivität ε_v bewertet werden.

$$\varepsilon_v = (C_{ETA} - C_{SUP}) / (C_{IDA} - C_{SUP})$$

ε_v : Lüftungseffektivität

C_{ETA} : Verunreinigungskonzentration der Abluft

C_{IDA} : Verunreinigungskonzentration der Raumluft

C_{SUP} : Verunreinigungskonzentration der Zuluft

Die Lüftungseffektivität beträgt 1, wenn Verunreinigungen und Luft vollständig vermischt sind, größer 1, wenn die Luftqualität im Atmungsbereich besser ist, als in der Abluft. Mischlüftung hat die Lüftungseffektivität 1, Quellaufströmung hat, je nach Auslegung und Messort, eine Lüftungseffektivität, die deutlich größer ist. Die Lüftungseffektivität hat einen Einfluss auf die Bemessung von Außenluftvolumenströmen (siehe Verfahren 2, Kapitel 4.3). Dies kann für kleinere Außenluftvolumenströme genutzt werden, was im jeweiligen Projekt gemäß DIN EN 16798 Teil 3 planerisch ermittelt werden muss. Eine Verbesserung der Mischlüftung kann durch eine instationäre Betriebsweise erreicht werden.

VDI 3804 zeigt beispielhaft Lüftungseffektivitäten für verschiedene Luftführungssysteme.

4.5. Auslegung Nur-Luft-System

Kommen RLT-Anlagen zum Einsatz, ist die erforderliche Zulufttemperatur unter Zugrundelegung der Anforderungen an die Raumtemperatur und der Auslegungsempfehlungen gemäß Abschnitt 1.4.3 zu bestimmen. Auslegungsdaten für ausgewählte Anwendungsbereiche finden sich in Kapitel 3 einschließlich Anhang 1. Es wird vorausgesetzt, dass der Transmissionswärmebedarf der Räume vollständig durch statische Heizflächen gedeckt wird und die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (nach DIN 4108 Teil 2) erfüllt sind. Um kein Risiko unkontrolliert überhöhter Raumlufttemperaturzustände, die sich gegenüber den Forderungen der ASR A3.5 (siehe Abschnitt 1.4.3.3) als problematisch erweisen würden, einzugehen, wird die thermische Behandlung des hygienisch erforderlichen Außenluftvolumenstroms im Sommer empfohlen.

Für die Abführung von Kühllast kann zwischen Zuluft und Raumluft unter Beachtung der Behaglichkeit eine angemessene Temperaturdifferenz gewählt werden. Für das unter Kapitel 4.3 betrachtete Berechnungsbeispiel gemäß Verfahren 1 würde dies bei einer aus Behaglichkeitsgründen auf 18 °C begrenzten Zulufttemperatur und einer

Raumlufttemperatur von 26 ° C die Abführung der Kühllast von ca. 15 W/m² ermöglichen. Dazu folgende Berechnung:

$$Q = \rho_L \times V \times c_P \times \Delta t = 1,292 \text{ kg/m}^3 \times 50,4 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,006 \text{ kJ}/(\text{kgK}) \times 8 \text{ K} \approx 146 \text{ W}$$

Q: Wärmemenge in W

ρ_L : Dichte von Luft (Normzustand 0 ° C) in kg/m³

V: Außenluftvolumenstrom in m³/h

c_P : Spezifische Wärmekapazität von Luft (Normzustand 0 ° C) in kJ/(kgK)

Δt : Temperaturdifferenz zwischen Raumlufte und Zuluft in K

Als weiteres Beispiel wird ein Seminarraum mit 60 m² Grundfläche, der mit 40 Personen besetzt ist, betrachtet. Der notwendige Außenluftvolumenstrom beträgt:

$$q_{\text{tot}} = 60 \text{ m}^2 \times 0,7 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2) + 40 \text{ Pers.} \times 7 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{Pers.}) = 322 \text{ l/s} = 1.159 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bei einer Zulufttemperatur von 20°C und einer Raumlufttemperatur von 28°C kann folgende Kühllast abgeführt werden:

$$Q = 1.159 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}) \times (28 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) = 3.152 \text{ W} (= 52,5 \text{ W/m}^2)$$

Das entspricht etwa der inneren Last durch die Personen:

$$Q_{\text{Pers}} = 40 \text{ Pers.} \times 80 \text{ W/Pers.} = 3.200 \text{ W}$$

4.6. Anwendung von Luft-Wasser-Systemen

Der hygienisch notwendige Außenluftvolumenstrom ist in vielen Fällen nicht ausreichend, um die grundsätzlich noch anfallenden Kühllasten abzuführen. Muss eine tatsächlich höhere spezifische Kühllast, deren Berechnung durch Anwendung der VDI 2078 empfohlen wird, abgeführt werden, sollte neben der zu prüfenden, ggf. noch vertretbaren Erhöhung des Außenluftvolumenstroms (z. B. auf IEQ I) auch der zusätzliche Einsatz von Kühleinrichtungen (z. B. Kühldecken, Ventilator-konvektoren, Bauteilaktivierung) in Betracht gezogen werden.

Es wird daher empfohlen, für die Abführung der Kühllast neben der kühl-lastbedingten begrenzten zulässigen Erhöhung des Außenluftvolumenstroms (Nur-Luft-System), die alternative Raumkühlung durch Luft-Wasser-Systeme auf technische und bauliche Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit zu prüfen. Die freie Kühlung durch Außenluft (Kapitel 2.1.4 und die adiabatische Fortluftkühlung (Kapitel 2.1.5) sollten dabei mit untersucht werden. Eine Übersicht und qualitative Einschätzung verschiedener Lüftungssysteme mit Heiz- und Kühlfunktion (u. a. mit Angaben zu flächenspezifischen Kühllasten, Außenluftvolumenströmen, adiabatischer Abluftkühlung) bietet die VDI 3804.

Es muss darauf geachtet werden, dass mit der technischen Lösung als Teil des Gebäudeenergiekonzeptes auch die gesetzlichen und verordnungsrechtlichen Anforderungen (GEG) erfüllt werden können.

Aus Klimaschutzgründen sollte der Einsatz erneuerbarer Energien über den gesetzlich geforderten Deckungsanteil hinaus geprüft und nach Möglichkeit umgesetzt werden.

Eine den Klimaschutz unterstützende technische Lösung ist die solarthermische Sorptionskühlung (sorptionsgestützte Klimatisierung). Als Betriebsmittel kommt Wasser zum Einsatz. Eine beispielhafte Anwendung wird unter Kapitel 5.2. im Beispiel 2 beschrieben.

4.7. Luftbe- und Entfeuchtung

Mögliche technische Lösungen für die ggf. bedarfsweise Luftbefeuchtung und –entfeuchtung (siehe Kapitel 1.4.5) sind unter den Kapiteln 2.1.6, 2.1.7 und 2.2.5 beschrieben. Weitere Lösungen können darin bestehen, in Einzelfällen individuelle mobile Raumluftbefeuchter zur Verfügung zu stellen oder den Außenluftvolumenstrom zeitweise zu reduzieren. Eine Lösungsmöglichkeit könnte auch darin bestehen, vorbeugend lediglich die Raumreserven für eine ggf. erforderlich werdende Nachrüstung zur Feuchtebehandlung vorzusehen.

4.8. Auslegung der Anlagenteile

Auf die Auslegung der RLT-Anlagenteile (vgl. Kapitel 2) wird an dieser Stelle nicht gesondert eingegangen. Die einschlägige Fachliteratur (z. B. VDI 3803) macht entsprechende Angaben. Bezüglich Kältemaschinen sowie Rückkühlwerke bzw. Luftkühler wird auf die Empfehlung AMEV Kälte verwiesen, bzgl. Heizungsanlage bzw. Wärmeerzeuger auf die AMEV Wärmeversorgungsanlagen.

4.9. Lebenszykluskosten

Bei verschiedenen möglichen Lösungsvarianten von Nur-Luft-Systemen bzw. Luft-Wasser-Systemen sind Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen anzustellen. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung sollte unter Berücksichtigung der Baunutzungs- und Lebenszykluskosten erfolgen (siehe auch DIN 18960 bzw. Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) des Bundes). Als Berechnungsgrundlage wird die VDI 2067 empfohlen. Der klimaschützenden Wirkung durch Nutzung regenerativer Energien kann mit der monetären Bewertung von CO₂-Emissionen gemäß des nationalen Emissionshandels Rechnung getragen werden. Hierzu sind die spezifischen Regelungen des Bundes, der Länder und der Kommunen zu berücksichtigen.

4.10. Energiekonzept

4.10.1. Wärmeversorgung

Es ist im Einzelfall zu untersuchen, ob mit vorhandener Wärme im Niedertemperaturbereich die Wärmeübertrager in RLT-Anlagen wirtschaftlich zu betreiben sind (Kondensatorwärme, Heizungsrücklauf, Fernwärmerücklauf, Abwärme aus Kühlgeräten u. a.). Dabei sind die höheren Druckverluste auf der Luftseite, die Leistung der Wärmerückgewinnung bei der Auslegung der Lufterhitzer sowie der Vereisungsschutz und die damit verbundene Leistungserhöhung der Wärmeversorgung zu berücksichtigen.

4.10.2. Kälteversorgung

Bei der Auslegung der Kälteversorgung ist der zeitliche Verlauf der einzelnen Kühllasten (dynamische Kühllastberechnung) sowie die Gleichzeitigkeit des Kälteverbrauchs einzelner Anlagen zu berücksichtigen. Sofern die Gesamtkälteleistung auf einzelne Aggregate aufgeteilt wird, ist darauf zu achten, dass insbesondere im Teillastbereich ein wirtschaftlicher Betrieb ermöglicht wird, z. B. wenn im Sommer- und Winterbetrieb mit sehr unterschiedlichen Lasten gerechnet werden kann. Die Vorlauftemperatur des Kaltwassers soll nicht niedriger liegen als vom Verbraucher angefordert, da die Leistungsaufnahme einer Kältemaschine mit sinkender Verdampfungstemperatur stark zunimmt. Aus diesem Grunde soll eine Temperaturanhebung des Kaltwasservorlaufs von z. B. 6 °C auf 14 °C durch Mischung unbedingt vermieden werden.

Durch den Einsatz der indirekten Verdunstungskühlung sowie der Entfeuchtungskälterückgewinnung kann der Aufwand für die mechanische Kälteerzeugung zur Luftkühlung um 30 bis 70 % reduziert werden.

Eine Alternative zur Abführung von Prozessabwärme ist, diese über einen Wärmeübertrager vor der ersten WRG-Stufe in der Lüftungsanlage abzuführen und die Außenluft vorzuwärmen. Auch hier muss wirtschaftlich abgewogen werden, ob die Druckverluste der Lüftungsanlage zu hoch sind.

Ausführliche Informationen zu Grundlagen, Wirtschaftlichkeit, Auslegung, und Betrieb kältetechnischer Anlagen enthält die AMEV Empfehlung Kälte.

4.10.3. Sicherheitsstrom-/Ersatzstromversorgung

Der Anschluss an eine Sicherheitsstromquelle kann durch bauaufsichtliche Bestimmungen oder arbeitsschutzrechtlichen Anforderungen notwendig werden. Ersatzstromversorgung (zur Aufrechterhaltung der Funktion) kann durch verwaltungsspezifische Vorgaben (z. B. Bedarfsanforderungen für Polizeidienststellen, Fernmeldeknoten) erforderlich werden.

Grundsätzlich sind alle Forderungen einer Ersatzstromversorgung für RLT-Anlagen kritisch zu prüfen. Auch kann es sein, dass im Ersatzstromfall nicht alle technischen Anlagen bzw. physikalischen Prozesse des Normalbetriebes benötigt werden und somit eine reduzierte Anforderung an die RLT-Anlage besteht.

4.11. Abnahme und Inbetriebnahme

Nach Meldung der Fertigstellung durch den Auftragnehmer ist eine Abnahmeprüfung nach VOB, Teil C DIN 18379 durchzuführen. Sie beinhaltet die Vollständigkeitsprüfung des Auftragsumfanges, die Funktionsprüfung und die Leistungsmessung. Der Auftraggeber erklärt mit der Abnahme, dass das Werk im Wesentlichen fertiggestellt und mängelfrei ist. Das Ergebnis wird in dem Abnahmeprotokoll schriftlich niedergelegt. Festgestellte, der Abnahme jedoch nicht entgegenstehende Mängel werden in der Mängelliste dokumentiert und sind vom Auftragnehmer innerhalb der gesetzten Frist zu beheben. Bereits vor der Abnahme sollte das Betriebspersonal in die Anlagenbedienung eingewiesen worden sein. Mit der Abnahme werden die Wartungs- und Bedienungsanweisungen für das Betriebspersonal zusammen mit allen relevanten technischen und betrieblichen Unterlagen und Daten vom Auftragnehmer an den Auftraggeber übergeben. Bei der Abnahme sollte daher der Betreiber beteiligt werden, wodurch auch gleichermaßen die Übergabe vom Auftraggeber (i. d. R. Bauverwaltung des Bundes, der Länder oder der Kommunen) an den künftigen Betreiber (i. d. R. die hausverwaltende Dienststelle) stattfinden und dokumentiert werden kann (siehe auch Kapitel 4.12).

Eine Übergabe an die Betreiber sollte erst dann erfolgen, wenn die eingestellten Betriebsparameter vom Planer und/oder der zuständigen MSR-Firma an vorhandenen Anlagenbildern in der Gebäudeautomation visualisiert und vorgestellt werden. Diese sollten bereits in der Ausführungsplanung anhand der Funktionsschemata gemeinsam mit dem Betreiber erstellt werden. Zu beachten ist dabei, dass eine klare und einheitliche Darstellung erfolgt (Kennwerte in ihren Einheiten wie z. B. m³/h). Außerdem sollten die wesentlichen Störmeldungen soweit festgelegt sein, dass kritische Anlagen bereits betrieben werden können.

Mit der Abnahme geht die Verantwortung für die RLT-Anlage vom Auftragnehmer auf den Auftraggeber über.

Bei der Ausschreibung und Auftragsvergabe ist darauf hinzuweisen, dass Kosten für zu wiederholende Funktionsprüfungen infolge Nichterbringung des Auftragsumfanges zu Lasten des Auftragnehmers gehen.

Bereits bei der Planung und Ausführung lüftungstechnischer Anlagen sind Messstellen für eine Leistungsmessung vorzusehen.

4.12. Dokumentation

Bei der Abnahme sollte bereits der Betreiber beteiligt werden, wodurch auch gleichermaßen die Übergabe vom Auftraggeber (i. d. R. Bauverwaltung des Bundes, der Länder oder der Kommunen) an den künftigen Betreiber (i. d. R. die hausverwaltende Dienststelle) damit verbunden und dokumentiert werden kann. Der Dokumentation sollten die Empfehlungen

der VDI 6026 zu Grunde gelegt werden. Für den Betrieb von raumluftechnischen Anlagen wird empfohlen, dem Betreiber insbesondere folgende Unterlagen zu übergeben:

Allgemein:

- a) Jeder Dokumentationsordner mit eigenem Inhaltsverzeichnis:
- b) Alle Angaben zu:
 - 1) Hersteller / Lieferant mit Angaben zu Anschrift, Telefonnummern und Ansprechpartner
 - 2) Vollständige Liste aller eingebauten / verwendeten Bauteile
 - 3) Vollständige Ersatzteilliste mit Bezeichnung und Artikelnummern sowie Lieferanten
- c) Funktionsbeschreibung der Anlage
- d) Vollständige Bedienungs-, Wartungs- und Pflegeanleitungen inkl. empfohlener Wartungsintervalle und ggfs. zu verwendenden Pflegemittel
- e) Vollständiger Satz der Bestandspläne
- f) Vollständiger Satz Schaltpläne der jeweiligen Anlage
- g) Vollständiger Satz Klemmpläne der jeweiligen Schaltschränke
- h) Vollständige Parameterlisten der jeweiligen Anlage
- i) Vollständige Schemata der jeweiligen Anlage
- j) Alle der Anlage zugehörigen Sicherheitsdatenblätter
- k) Vollständige und ausführliche Bedienungsanleitungen der elektrischen Regelgeräte
- l) Vollständige Dokumentation aller vorgeschriebenen Werk- und Prüfbescheinigungen sowie erforderliche Zulassungsnachweise
- m) Vollständige Dokumentation und Anleitungen für Programmierarbeiten

zusätzlich für KG 430

- a) Messprotokolle der Gesamtvolumenströme inkl. Nachweis der Soll/Ist-Parametereinstellung
- b) Messprotokolle der Teilvolumenströme inkl. Nachweis der Soll/Ist-Parametereinstellung
- c) Vollständige Dokumentation über Einstellung der Volumenstromregler inkl. Nachweis der Soll/Ist-Parametereinstellung
- d) Vollständige Dokumentation der MSR / GLT-Anbindung
- e) Vollständige Dokumentation der elektrischen Anschlusswerte
- f) Vollständige Dokumentation der 1 zu 1 Abgleiche, insbesondere im Hinblick auf MSR / GLT
- g) Vollständige Übergabe der erforderlichen Prüfbücher
- h) Dokumentation der die im Rahmen der Einregulierungsarbeiten erfolgten Einstellungen

Die Unterlagen sollen entweder direkt vor Ort bei den Anlagen und/oder an zentraler Stelle verfügbar sein (elektronisch z. B. in einem für die Betreffenden zugänglichen strukturierten Verzeichnis). Gebäudeautomations- und insbesondere CAFM- und Dokumentenmanagementsysteme können hierzu sinnvoll genutzt werden. Die Unterlagen

sollten alle in bearbeitbaren gängigen Formaten vorgelegt werden. Auch Rohdaten von Berechnungsprogrammen (Planungssoftware) sollten zur Verfügung gestellt werden.

4.12.1. Anlagenkataster und CAFM-System

Die Erfassung der Anlagendaten (Anlagenkataster) in einem CAFM-System bietet insbesondere im Bereich der Instandhaltung sinnvolle Unterstützungsmöglichkeiten. Beispielsweise können die erfassten Daten als Nachweise der Wartungsleistungen zur Sicherstellung der Betreiberverantwortung und der Verkehrssicherungspflicht dienen.

4.13. Inbetriebnahmemanagement

Die regelkonforme Abnahme (siehe Kapitel 4.11) und der bestimmungsgemäße Betrieb (siehe Kapitel 6) setzen u. a. voraus, dass die raumlufttechnische Anlage zuvor in Betrieb gesetzt und alle geforderten Betriebsfunktionen geprüft wurden. Soweit dabei eine Anlage von anderen technischen Anlagen weitgehend unabhängig funktioniert, ist die Einzelinbetriebnahme möglich.

Aufgrund fortschreitender Technisierung und Automatisierung wirken viele technische Systeme und Anlagenteile zu einer Gesamtfunktionalität zusammen, so dass eine ausschließlich gewerkebezogene Betrachtung bei der Inbetriebnahme nicht mehr ausreichend ist. So ist es zum Beispiel eine gebäudebezogene bzw. gewerkeübergreifende Aufgabe für den Winter- und Sommerbetrieb konkrete Vorgaben für die Raumkonditionierung umzusetzen. Dazu bedarf es eines Konzepts, um das integrale Zusammenwirken aller für die Einhaltung der Gesamtfunktionalität erforderlichen Anlagen und Gebäudeteile und deren Schnittstellen zu prüfen. Da die gemäß VOB vorgesehene Abnahmeregulierung keine gewerkeübergreifende Abnahmen vorsieht, diese jedoch sinnvoll und für den zielorientierten Betrieb nahezu unerlässlich sind, sollten gewerkeübergreifende Abnahmeprüfungen bereits in der Leistungsausschreibung vertraglich geregelt werden.

Hierbei spielt die Planung und Durchführung der gewerkeübergreifenden Inbetriebnahme eine entscheidende Rolle. Das Zusammenspiel aller dabei relevanten Größen ist Teil des Inbetriebnahmemanagements. Das Inbetriebnahmemanagement endet mit der mängelfreien und funktionsfähigen geschuldeten Leistung. Deswegen sollte bereits zu Beginn eines Bauvorhabens mit erkennbar hoher gebäudetechnischer Ausstattung (z. B. zentrale RLT-Anlagen, Teilklima-/Klimaanlagen) die Planung und Durchführung des Inbetriebnahmemanagements zwischen den am Vorhaben Beteiligten festgelegt und abgestimmt werden. Die Beauftragung erfolgt durch den Auftraggeber bzw. Bauherrn, sollte er keine eigenen Kapazitäten dafür zur Verfügung stehen haben.

4.14. Bauliche und technische Hinweise

Bauliche und technische Anforderungen an zentrale RLT-Anlagen werden in der VDI 3803 Blatt 1 beschrieben.

4.14.1. Technikzentrale

Die Anordnung der Technikzentrale für RLT-Anlagen sollte möglichst im Versorgungsschwerpunkt erfolgen.

Raumbedarf sowie bautechnische Randbedingungen für Technikzentralen können der VDI 2050 entnommen werden. Angaben zum Platzbedarf von Komponenten und Anlagen sind auch in der DIN EN 16798-3 in Verbindung mit CEN/TR 16798-4 enthalten.

Die Technikzentralen müssen gut und möglichst direkt zugänglich sein. Die Transportwege zu den Technikzentralen sind im Hinblick auf die Montage der Anlagen sowie auf das Auswechseln größerer Anlagenteile ausreichend zu dimensionieren. Bedienung, Inspektion und Wartung der Anlagenteile sind durch gute Zugänglichkeit und ausreichende Wartungs- und Bewegungsflächen zu erleichtern. Ein Austausch von größeren Komponenten ist dabei besonders zu beachten. Dies sollte in Zusammenarbeit mit dem Betreiber erfolgen. Zum Beispiel wäre eine Tragschienenkonstruktion im Lüftungsgerät für den Austausch von großen Ventilatoren sinnvoll. Dies gilt besonders für übereinander angeordnete Anlagen.

4.14.2. Außenluftansaugöffnung/Fortluftaustrittsöffnung

Die Außenluft ist mindestens 3 m über Erdoberfläche bzw. 0,3 m über Flachdachniveau an einer Stelle mit geringer Verunreinigung anzusaugen. Die Nord- oder Ostseite des Gebäudes ist dabei zu favorisieren. Die brand- und rauchschutztechnischen Anforderungen (Landes-Lüftungsanlagen-Richtlinien LÜAR ggf. MLÜAR) sowie die Hygieneanforderungen gem. VDI 6022 sind zu beachten. Gemäß VDI 6022 ist die Außenluftansaugung wegen der Gefahr der Kontamination mit Mikroorganismen nicht in der Nähe und nicht in der Hauptwindrichtung von Verdunstungskühlanlagen anzuordnen. Die Lage der Außenluftansaugöffnungen muss so gewählt werden, dass eine negative Beeinflussung der Ansaugluftqualität durch lokale Emissionsquellen wie Fortluft, Rauchgas, Geruchs-, und sonstige Störquellen (z. B. verkehrsreiche Straßen, Parkplätze oder Bushaltestellen, Teerdächer, lebende und tote Kleintiere) möglichst geringgehalten wird. Es sind die Umströmung des Gebäudes, Wind- und Wetterverhältnisse, sowie Dachaufbauten (z. B. Attika) und eine eventuell geplante Nachbarschaftsbebauung zu berücksichtigen. Abhängig von der Zweckbestimmung des Gebäudes sind ggf. die Außenluftansaugöffnung und die Fortluftaustrittsöffnung gegen das Eindringen von Personen, gegen Sabotage und gegen den mutwilligen Eintrag von gesundheitsgefährdenden Schadstoffen in die belüfteten Innenräume zu sichern.

Beeinträchtigungen aus der Umgebung sollen minimiert und ein Wiederansaugen der Fortluft verhindert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Fortluft als Strömungsquelle sinnvoll mit hoher Geschwindigkeit vorzugsweise über Dach nach oben ausbläst, während die Außenluft als Strömungssenke mit niedriger Geschwindigkeit angesaugt werden soll. Anforderungen in Bezug auf Lage und Mindestabstände von Außenluftansaugung- und Fortluftausblasöffnungen sind in der DIN EN 16798-3 in Verbindung mit CEN/TR 16798-4 definiert (siehe auch VDI 2047 B. 2).

Die Luftleitung zwischen Außenluftansaugung und RLT-Gerät sollten so kurz wie möglich sein. Reinigungs- und Revisionsöffnungen sowie Entwässerungsmöglichkeiten sind sicherzustellen (ohne direkten Anschluss an das Entwässerungsnetz).

4.14.3. Schall- und Brandschutz

Grundlage für die Brandschutzmaßnahmen bildet das abgestimmte Brandschutzkonzept.

4.14.3.1 Schallschutz

Grundsätzlich sind bei Räumen mit RLT-Anlagen die Standardauslegungswerte nach DIN EN 16798-1 ausreichend, sofern keine auffälligen Geräusche mit besonders tiefen Frequenzen zu erwarten sind. Die vom Nutzer geforderten Schalldruckpegel sind insbesondere unter Berücksichtigung der zu erwartenden Grundgeräusche kritisch zu prüfen, um kostenträchtige Aufwendungen für Schalldämpfungsmaßnahmen zu vermeiden. Werden durch bauliche Planungen nach VDI 2569 - Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro - besonders niedrigere Grundgeräuschpegel in Räumen angestrebt, so werden in diesen anspruchsvollen Fällen auch bei den RLT-Anlagen raumseitige Schalldämpfer notwendig. Zur Dimensionierung und zum Einbau von Schalldämpfern wird ansonsten auf die Berechnungen nach VDI 2081 verwiesen. Körperschallübertragungen von den Geräten und Leitungen auf das Gebäude sind durch geeignete Maßnahmen auf ein Mindestmaß zu beschränken. Die VDI 2081 gibt hierzu Hinweise. Die DIN 4109 ist zu beachten.

Für die Schallemissionen der Lüftungstechnischen Anlagen nach außen sind nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) die Immissionsrichtwerte aus der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm) maßgebend.

Schalldämpfer mit Oberflächen aus einfacher Glasvlies-Kaschierung sind aus hygienischen Gründen zu vermeiden. Höhere Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Materialermüdung bieten z. B. mit Glasseide kaschierte Oberflächen. Die Oberflächenbeschaffenheit der Schalldämpfer ist gem. VDI 6022 dauerhaft abriebfest und reinigungsbeständig auszuführen (z. B. Glasseide).

4.14.3.2 Brandschutzmaßnahmen bei RLT- Anlagen

Die brandschutztechnischen Anforderungen oder die Brandschutzkonzepte sind mit den örtlich für den vorbeugenden Brandschutz zuständigen Behörden und ggf. mit dem Sachverständigen abzustimmen, soweit die Anforderungen nicht schon in der entsprechenden Landesbauordnung LBO (ggf. Musterbauordnung MBO) sowie der Landes-LüAR (ggf. MLüAR) bauordnungsrechtlich festgelegt sind. Die Leitungsführung aller Installationen soll soweit wie möglich an die festgelegten Brand- und Rauchabschnitte angepasst werden. Das Durchdringen von Brand- und Rauchabschnitten ist möglichst zu vermeiden.

Die notwendigen Leitungsdurchführungen sind mit selbstschließenden Absperrvorrichtungen gegen Brandübertragung zu versehen, die den Anforderungen an die Feuerwiderstandsklasse der Wand/Decke entsprechen. Werden anstelle von Absperrvorrichtungen feuerbeständige Lüftungsleitungen verwendet, dürfen diese nur in einem Brandabschnitt Öffnungen (Luftauslässe) haben. Für die Elektro- und sonstigen Rohrleitungsinstallationen wird auf die Landes-Leitungsanlagen-Richtlinie (LAR, ggf. MLAR) verwiesen.

Seit 01.09.2012 dürfen Brandschutzklappen (BSK) nur entsprechend DIN EN 15650 mit CE-Kennzeichnung in Verkehr gebracht werden. Für BSK in Laborabluftanlagen gilt die DIN EN 15650 allerdings nicht. Auch einzelfallabhängige bauaufsichtliche Zulassungen liegen bei den Herstellern der Klappen aufgrund der Komplexität in Bezug auf Schadstoffe, Konzentrationen und Vermischungen nicht vor. Da bei Verwendung von BSK in Laborabluftanlagen mit Schadstoffbelastung eine Schädigung der BSK nicht ausgeschlossen werden kann, muss auf landesspezifische Handlungsanweisungen für Neubauten, Sanierung und Betrieb zurückgegriffen werden.

4.14.3.1. Entrauchung von Gebäuden

Grundsätzlich sind Gebäudegrundrisse anzustreben, die im Brandfall eine natürliche Entrauchung über zu öffnende Fenster, Kuppeln und / oder sonstige Öffnungen ermöglichen.

Sollte diese natürliche Entrauchung nicht realisierbar sein, so können bei Sonderbauten zur Vermeidung einer Rauchausbreitung auch maschinelle Entrauchungsanlagen (MRA) erforderlich werden. Die Festlegung raucharmer Schichten als Schutzziel sowie die Berechnung notwendiger Entrauchungsvolumenströme und der Rauchgastemperaturen erfolgt auf der Grundlage des Bemessungsbrandszenariums eines Sachverständigen oder nach den Festlegungen des zuständigen Bauordnungsamtes im Einvernehmen mit der Feuerwehr.

Nachströmeinrichtungen sind maschinell auszuführen, wenn eine ausreichende natürliche Außenluft-Nachströmung nicht erreicht werden kann. Für großflächige Räume oder Hallen wird auf die Bemessung der von der MRA abzuführenden Volumenströme gemäß DIN 18232-5, verwiesen, wobei der Ansatz einer Wärmefreisetzungsrates von bis zu 300 kW/m² anstelle von 600 kW/m² zu erheblichen Kosteneinsparungen bei der MRA führt. Es ist dafür eine begründete Abschätzung der im Brandfall effektiven Brandlast nötig.

Zur ständigen Betriebsbereitschaft von maschinellen Entrauchungsanlagen ist die elektrische Versorgung der MRA bereits ab dem Gebäudeanschluss (Hausanschluss, Unterverteilung o. ä.) getrennt abzusichern und zu verlegen. Die Kabel der Entrauchungsanlage müssen außerhalb des Erdreichs in Räumen mit Sprinkleranlage mit einer Abtrennung der Feuerwiderstandsklasse F30 und in Räumen ohne Sprinkleranlage mit einer Abtrennung der Feuerwiderstandsklasse F90 versehen werden.

Der Ausfall der Betriebsbereitschaft der MRA muss jederzeit detektiert und an eine verantwortliche Stelle übermittelt werden können. Bei manueller Auslösung durch die Feuerwehr sind die Auslöseeinrichtungen so zu installieren, dass sie im Brandfall sicher betätigt werden können.

Die durch die Hersteller für die Entrauchungsventilatoren zugelassenen Temperaturen sind begrenzt. Aus diesem Grunde müssen die Rauchgastemperaturen am Ventilator häufig durch Beimischung von Kühlluft herabgesetzt werden.

Der Einbau einer Entrauchungsanlage hat unter Berücksichtigung bauaufsichtlicher Verwendungsnachweise und Prüfzeugnisse zu erfolgen.

Zur VOB-Abnahme müssen die entsprechenden Übereinstimmungsnachweise (ÜH) des Herstellers vorliegen.

4.14.3.2. Rauchfreihaltung von Rettungswegen

Notwendige Treppenräume und Flure müssen frei von Brandlasten sein. Dieses erfordert die Brandabschottung sämtlicher elektrischer Leitungen und macht dadurch in den meisten Fällen eine Entrauchung dieser Treppenräume und Flure entbehrlich. Sollte jedoch eine Entrauchung erforderlich sein, ist diese vorrangig durch bauliche Maßnahmen (z. B. Fenster, Oberlichter) zu gewährleisten. Andernfalls könnte bei innenliegenden Treppenräumen eine maschinelle Lösung erforderlich sein (Überdrucklüftung mittels rauchfreier Außenluft, die üblicherweise am Fuß der Treppenräume über Ventilatoren eingeblasen wird und am Kopf der Treppenräume über geregelte Überdruckklappen ins Freie abströmt).

5. Beispielhafte Systemlösungen

Die folgenden Beispiele zeigen mögliche konzeptionelle Lösungen von RLT-Anlagen für ausgewählte Nutzungsarten

5.1. Allgemeine Unterrichtsräume (z. B. Seminarräume)

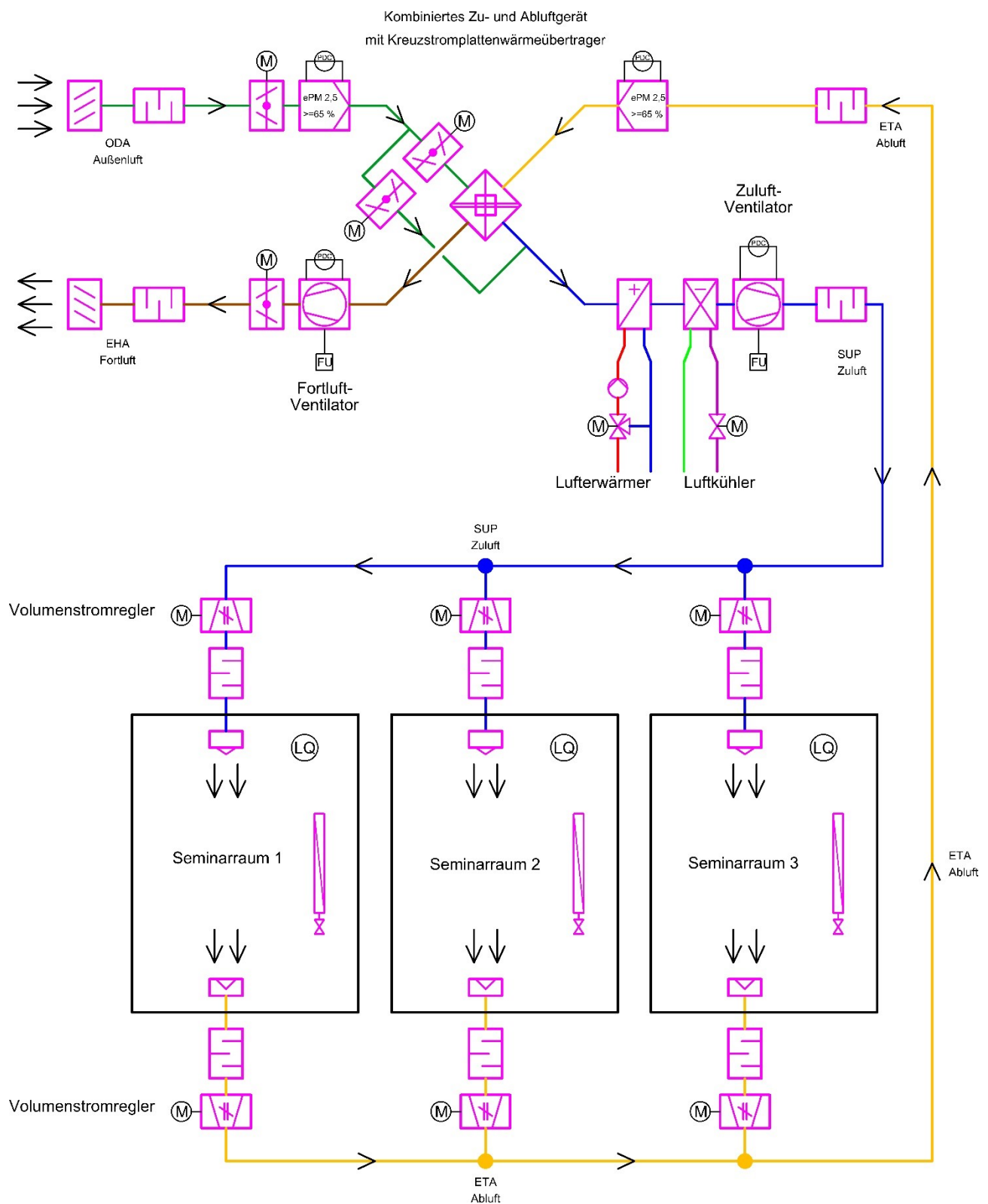
Zentrale maschinelle Lüftung mit Kreuzstrom-Platten-WRG, Bypassklappe WRG, Lufterwärmer, Luftkühler, drehzahlgeregelten Zu- und Abluftventilatoren, Luftfilter, lokalen Raumheizkörpern und bedarfsgeführter Luftqualitätsregelung (siehe Abb. 1).

Aufgabe:

- Abführen von Stofflasten (CO₂, VOC, Feuchte, usw.) durch Lufterneuerung mit Außenluft.

Merkmale:

- Die Anlagenauslegung erfolgt bezogen auf den hygienisch erforderlichen Außenluftvolumenstrom (siehe Anhang 7.1).
- Im Zentralgerät erfolgt eine Konditionierung der Außenluft auf eine konstante Zulufttemperatur. Die Sollwerte betragen z. B. im Winter 22 °C und im Sommer 20 °C.
- Die Kreuzstrom-Platten-WRG erhält einen Vereisungsschutz
- Die Deckung der Heizlast erfolgt ausschließlich über statische Heizflächen (z. B. Heizkörper).
- In den Sommermonaten erfolgt eine passive Raumkühlung über mechanische Nachtlüftung. Voraussetzung hierfür ist die thermische Speicherfähigkeit der raumumgebenen Flächen.
- Eine aktive Raumkühlung mit geregelter Abführung der Kühllasten ist im vorliegenden Beispiel nicht möglich. Auch die Raumluftfeuchte wird nicht geregelt.
- Der Luftvolumenstrom wird in Abhängigkeit der Raumluftqualität (CO₂-, VOC-Gehalt) für jeden Seminarraum bedarfsgerecht geregelt. Luftqualitätsfühler ermitteln hierbei für jeden Raum den Zuluftstrom, der zur Einhaltung der Raumluftqualität notwendig ist und über Volumenstromregler dem Raum zugeführt wird. Im gesamten Lüftungssystem herrscht so, in Abhängigkeit der Belegungsdichte, ein variabler Volumenstrom.
- Die Ventilatoren passen ihre Förderleistung über Veränderung der Drehzahl automatisch dem resultierenden Gesamtluftbedarf an. Entsprechend werden die elektrische Leistungsaufnahme sowie der Energiebedarf für die Luftkonditionierung verringert.



5.2. Hörsaal

Beispiel 1: Zentrale maschinelle Lüftung mit Wärmerückgewinnung und indirekter adiabatischer Kühlung über einen Doppelplatten-Wärmeübertrager, Lufterwärmer, drehzahlgeregelten Zu- und Abluftventilatoren, Umluftklappe, Bypassklappe WRG, Luftfilter, lokalen Raumheizkörpern, bedarfsgeführter Luftqualitätsregelung und Raumtemperaturregelung (siehe Abb. 2).

Aufgabe:

- Abführen von Stofflasten (CO₂, VOC, Feuchte, usw.) sowie Regeln der Raumtemperatur.

Merkmale:

- Die Anlagenauslegung erfolgt bezogen auf den hygienisch erforderlichen Außenluftvolumenstrom (siehe Anhang 7.1).
- Die RLT-Anlage wird in Abhängigkeit der Belegungspläne freigegeben und in Betriebsbereitschaft versetzt. Erst bei Vorliegen eines Bedarfs (Temperatur oder Luftqualität) geht die Anlage in Betrieb.
- Die Grundbeheizung des Raums (bis 15°C) erfolgt über statische Heizflächen, die übrige Heizlast wird über die RLT-Anlage dem Raum zugeführt.
- Um die Effizienz der Luftaufbereitung zu steigern, werden die Bypassklappe der WRG, das Erhitzerventil und die Abluftbefeuchtung in die Temperaturregelung mit eingebunden. Im Winterbetrieb strömt die Außenluft vollständig über die WRG und eine Nacherwärmung erfolgt im Heizregister. In der Übergangszeit wird die Raumtemperatur durch Verändern des WRG-Anteils geregelt. Dabei wird bei niedrigen Außentemperaturen ein größerer Volumenstrom über die WRG geführt als bei höheren Temperaturen.
- Die Umluftklappe dient ausschließlich der Schnellaufheizung vor Nutzungsbeginn, jedoch nicht für Umluftbetrieb während der Nutzung.
- Ab einer Raumlufttemperatur von 26 °C erfolgt eine geregelte Raumkühlung über die indirekte adiabate Abluftkühlung. Der Raumluft Sollwert beträgt dann, bis zur Auslegungstemperatur konstant 26 °C und gleitet bei Überschreitung der Auslegungstemperatur stetig nach oben.
- Die Raumluftfeuchte wird nicht geregelt.
- Eine Luftqualitätsregelung wirkt direkt auf die Drehzahl der Ventilatoren und passt den Luftvolumenstrom dem tatsächlichen Bedarf an.
- Die Zuluft wird in den Druckboden des Gestühls eingeblasen und strömt über die Stufenauslässe in den Raum ein.

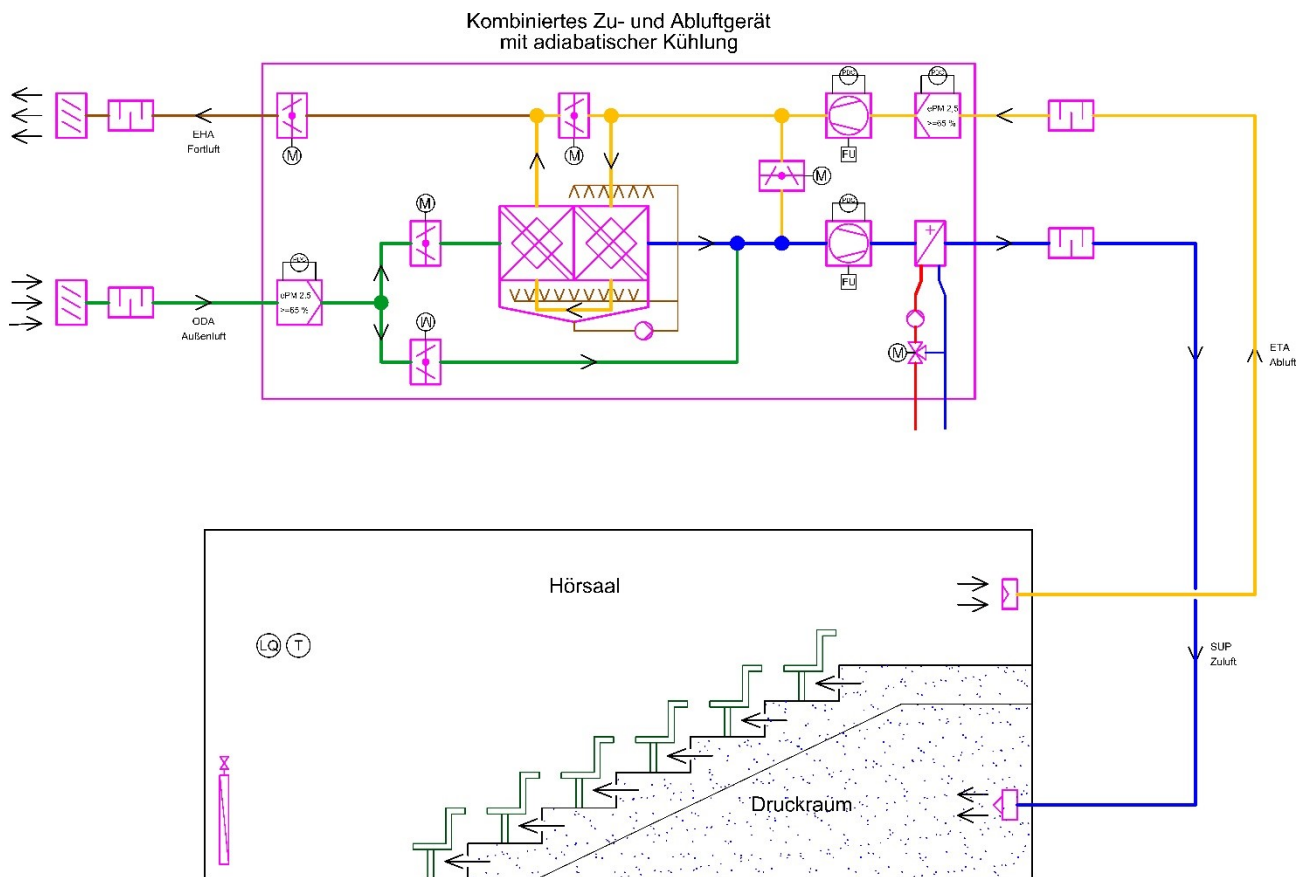


Abbildung 2: Beispiel 1 einer RLT-Anlage für Hörsäle

5.3. Laborgebäude

Zentrale maschinelle Lüftung mit zwei Zentralgeräten mit drehzahlgeregelten Zu- und Abluftventilatoren, Luftfilter, Fortluftventilator und WRG als mehrfachfunktionales System mit den Funktionen Wärmerückgewinnung, Heizen, Kühlen, Entfeuchten und Entfeuchtungskälterückgewinnung (siehe Abb. 4).

Aufgabe:

- Schutz von Personen vor gesundheitsschädlichen Stoffen
- Sicherstellen von speziellen raumluftklimatischen Bedingungen, welche zur Durchführung der Arbeiten notwendig sind.
- Einhaltung der Nutzungsanforderungen.

Merkmale:

- Die Auslegung des Abluftvolumenstroms erfolgt bezogen auf den Bedarf der angeschlossenen ablufttechnischen Einrichtungen, z. B. der Abzüge und Sicherheitsschränke, jedoch ist gemäß der DIN 1946-7 ein Mindestluftvolumenstrom von $25 \text{ m}^3/\text{h je m}^2$ Laborfläche notwendig.
- Zur Unterdruckhaltung der Laborräume wird die Zuluft ca. 10 % geringer ausgelegt als die Abluft.
- Auf der Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung kann der Mindestvolumenstrom der Nutzung angepasst werden. Dabei können z. T. Labore mit geringerem Volumenstrom betrieben werden. Auch in Zeiten ohne Labornutzung, z. B. nachts, ist ein abgesenkter Betrieb möglich.
- Der Abluftvolumenstrom von den Laborabzügen wird entsprechend der Frontschieberposition variabel geregelt. Bei geschlossenem Frontschieber ist ein wesentlich geringerer Volumenstrom notwendig als bei voll geöffnetem Schieber.
- Die Sicherheitsschränke werden ständig mit konstantem Volumenstrom abgesaugt.
- Kann der Mindestvolumenstrom über die Abzüge abgeführt werden, z. B. in kleinen Laboren oder Laboren mit mehreren Abzügen, wird auf eine separate Raumabluft verzichtet und nur über die ablufttechnischen Einrichtungen abgesaugt.
- Die Lüftungssysteme mit variablen Volumenströmen (z. B. Raum und Abzüge) und die Systeme mit konstanten Volumenströmen (z. B. 24 h-Abluft) werden zur Optimierung getrennt.
- In den Zentralgeräten erfolgt eine Zulufttemperaturregelung mit konstanten Sollwerten, z. B. im Winter 22°C und im Sommer 18°C .

- In Laboren mit hohen Kühllasten wird die Restleistung über kaltwasserbasierte Systeme (z. B. Umluftkühler (ULK), Kühlsegel, Kühlbalken) abgeführt.
- Das Kanalsystem ist als Ringleitungssystem aufgebaut. Hierbei wird eine max. Flexibilität und Unabhängigkeit bei der Nutzung erreicht.
- Aus Redundanzgründen oder zur Leistungsaufteilung werden mehrere Zentralgeräte zu einem Anlagenverbund zusammengeschlossen.
- Um eine Übertragung der Gefahrstoffe von der Abluft auf die Zuluft zu vermeiden, wird zur Wärmerückgewinnung ein System verwendet, bei dem die Luftströme vollkommen voneinander getrennt verlaufen (ähnlich KV-System).
- Zur Steigerung der Energieeffizienz wird ein hochleistungs- und mehrfachfunktionales WRG-System mit folgenden Funktionen bzw. Eigenschaften verwendet:
 - Durch eine indirekte Einspeisung von Wärme und Kälte in das WRG-System entfallen die luftseitigen Wärmeübertrager. Hierbei entstehen gegenüber einem konventionellen System geringere Druckverluste in der Anlage und damit vermindert sich die elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators.
 - Im Winterbetrieb werden hohe Temperaturübertragungsgrade von über 75 % erzielt, so dass nur eine geringe Nachheizung erforderlich ist. Bei Außentemperaturen von z. B. -10 °C kann ohne Nachheizung eine Zulufttemperatur von ca. 14,0°C erreicht werden. Es ist nur die Wärmeenergie für die restliche Temperaturdifferenz von ca. 8 K über den Nachwärmeanschluss einzuspeisen.
 - Ergänzend zur maschinellen Kühlung in dem RLT-Gerät werden kaltwasserbasierende Systeme (z. B. ULK, Kühlsegel, Kühlbalken) über den Anschluss „Freie Kälte“ mit Kälteenergie versorgt. In der kühlen Jahreszeit können so Kühllasten von Laborgeräten oder EDV-Komponenten ohne den Einsatz von Kompressionskältemaschinen abgeführt werden.
 - Die Integration einer adiabatischen Abluftkühlung ermöglicht eine hohe Grundabdeckung im Kühlbetrieb. In Abhängigkeit des Außenluftzustands erfolgt eine Kühlung ohne Kompressionskältemaschinen. Bei einer Außenluft von 32 °C / 40 % r. F. werden Zulufttemperaturen von ca. 21 °C nur über die Adiabatik erreicht. Erst bei niedrigeren Sollwerten muss über den Nachkälteanschluss zusätzlich gekühlt werden.
 - Die Entfeuchtungskälterückgewinnung nutzt im Entfeuchtungsbetrieb den Energiebeitrag, welcher von der Luft im Nacherwärmer aufgenommen wird, zur Kühlung des Luftstroms im Entfeuchter. Hierbei strömt die Sole des WRG-Systems, die von der befeuchteten Abluft auf ca. 21 °C gekühlt wurde, zuerst in den Nacherwärmer des Zuluftgerätes und erhöht dort die Lufttemperatur der entfeuchteten Außenluft, z. B. von ca. 14 °C auf ca. 18 °C. Dabei sinkt die Soletemperatur auf ca. 16 °C ab. Im weiteren Verlauf ist nur der Energiebeitrag, der zur Kühlung der restlichen Temperaturdifferenz bis zur

Entfeuchtereintrittstemperatur z. B. 8 °C, über den Nachkälteanschluss mit mechanisch erzeugter Kälte einzuspeisen. Die Entfeuchtung der Außenluft von z. B. 32 °C / 40 % r. F. erfolgt durch Kühlung auf die notwendige Taupunkttemperatur (z. B. 14 °C) und wird dann wieder im Nacherwärmer auf den Sollwert (z. B. 18 °C) erwärmt.

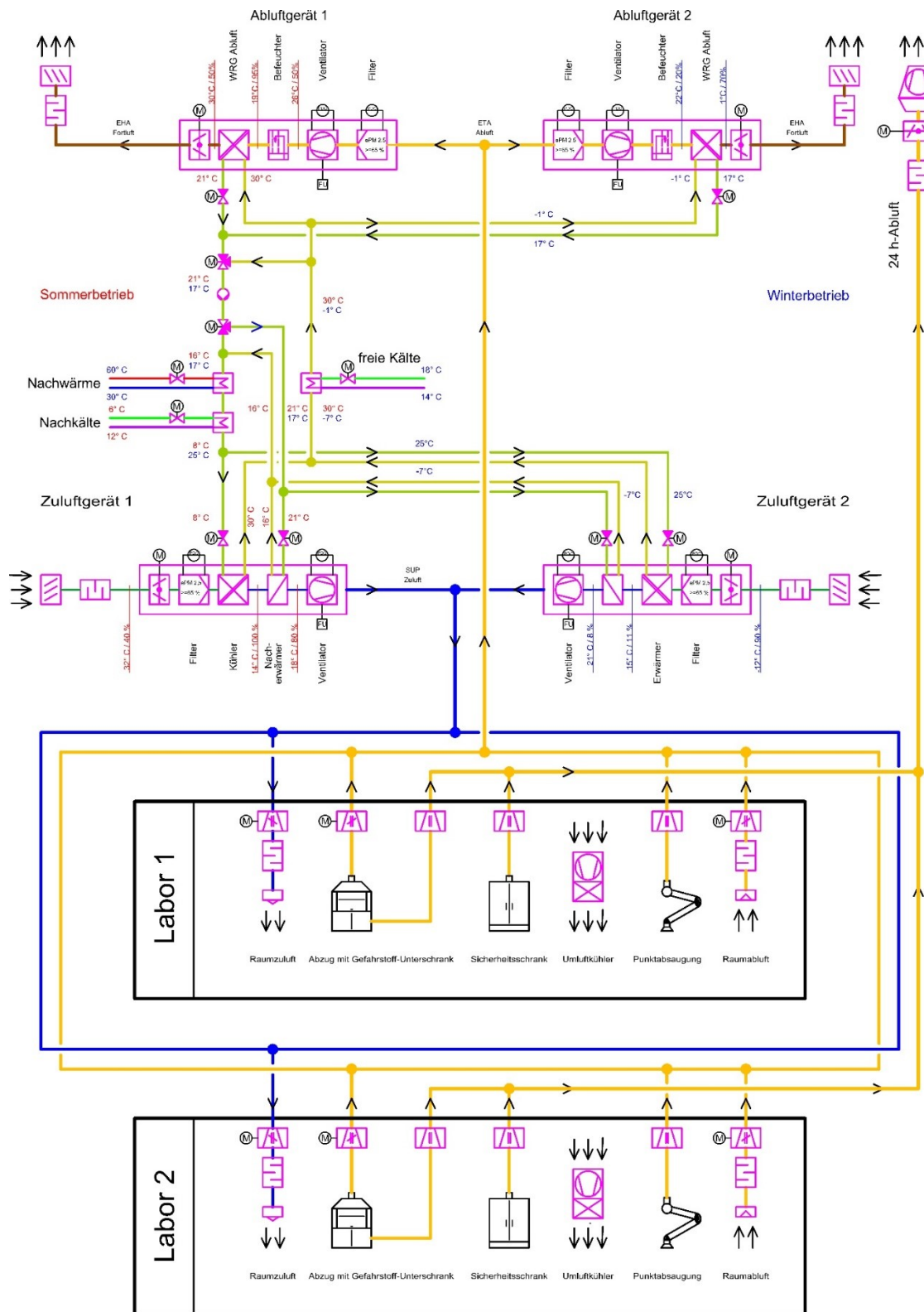


Abbildung 4: Beispiel einer RLT-Anlage für Laborgebäude

5.4. Große Versorgungssysteme mit Mehrzonenanlage

Zentrale Grundaufbereitung mit Zentralgerät, drehzahlgeregelte Ventilatoren, WRG als Rotationswärmeübertrager, Lufterwärmer, Luftkühler und dezentrale Nachbehandlungseinheiten (Ventilator, Nacherhitzer, Nachkühler, Nachbefeuchter) zur individuellen Anpassung der einzelnen Zonen (siehe Abb. 5).

Aufgabe:

- Versorgung von mehreren Zonen mit unterschiedlichen Anforderungsprofilen, z. B. bei unterschiedlicher technischer Ausstattung oder unterschiedlichen Komfortanforderungen.
- Einhaltung der jeweiligen Raumluftqualitäten.

Merkmale:

- Es erfolgt eine gemeinsame Grundaufbereitung im Zentralgerät, und jede Zone erhält eine individuelle Nachbereitung.
- Der Zustand der Grundaufbereitung wird so gewählt, dass alle Sollwerte der Zonen mit den Nachbehandlungseinheiten erreicht werden können.
- Für die Auslegung des Gesamtluftvolumenstroms kann in Abhängigkeit der Nutzung ein Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt werden.
- Alle Zonen werden unabhängig voneinander, entsprechend dem jeweiligen Bedarf, variabel betrieben. Der Volumenstrom in den einzelnen Zonen wird über Veränderung der Ventilatorzahl des jeweiligen Sekundärventilators angepasst. Der gemessene Ist-Wert der Zuluft dient hierbei als Sollwert für den Abluftventilator. Die Zentralventilatoren müssen lediglich die Druckverluste der Lüftungszentrale überwinden und die dezentralen Ventilatoren die Druckerhöhung des Kanalnetzes. Der Energiebedarf der Ventilatoren ist hierbei, vor allem in Teillastbereichen, wesentlich geringer als bei der Verwendung von Volumenstromreglern, da diese einen konstanten Vordruck benötigen und ihren Sollwert über Drosselung erreichen.
- Zur Vermeidung von Fehlströmungen, die außerhalb der Nutzungszeiten auftreten können, werden motorbetriebene Absperrklappen eingebaut. Als Alternative hierzu kann die Ventilatorregelung auch bei Nichtbenutzung weiter betrieben werden.
- Bei dem WRG-System als Rotationswärmeübertrager dreht sich eine Speichermasse, die meist aus gewellten Aluminiumfolien besteht, abwechselnd vom Abluftstrom zum Zuluftstrom. Dabei wird ein Großteil der Energie aus der Abluft über die Speichermasse auf die Zuluft übertragen.

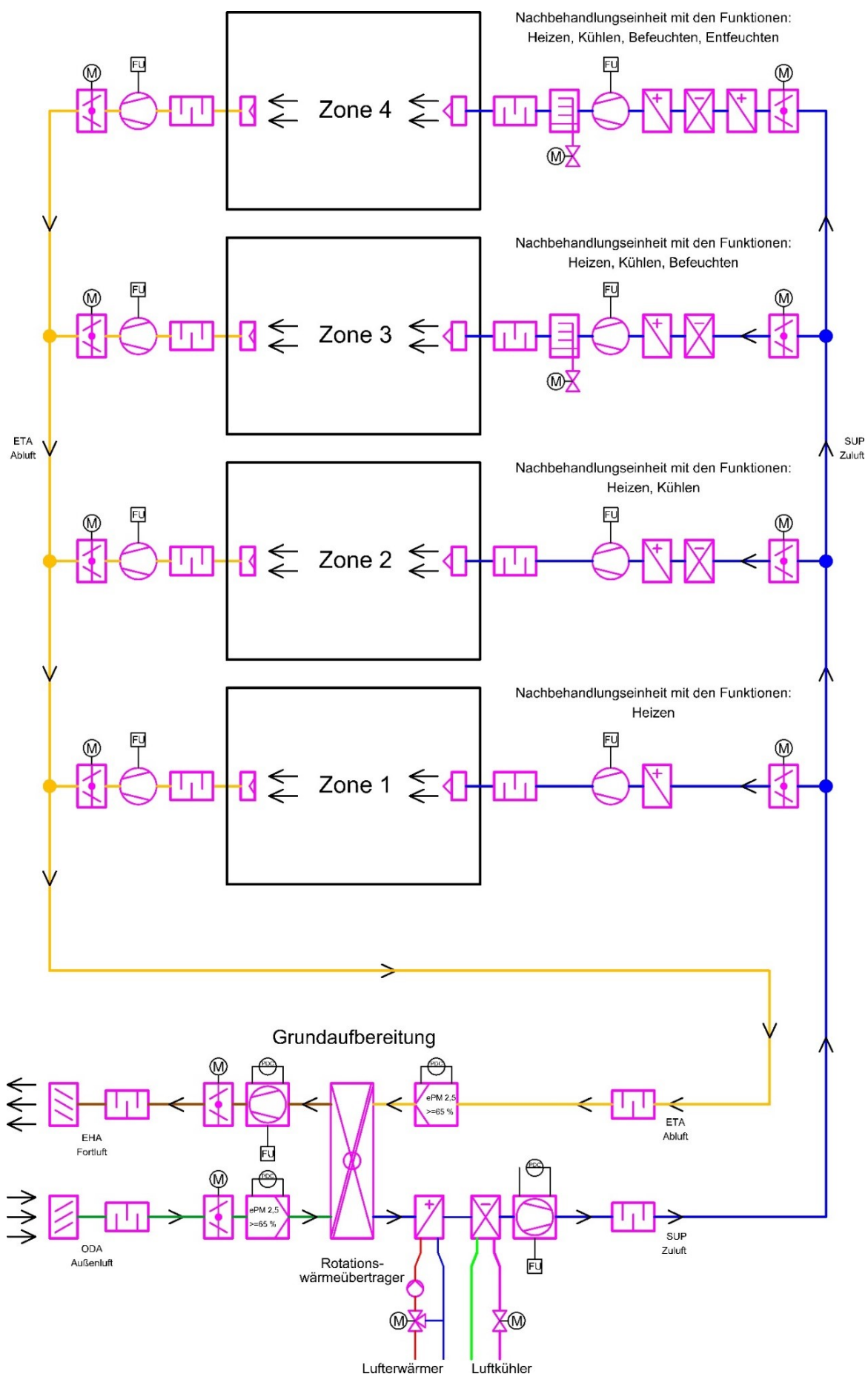


Abbildung 5: Beispiel einer RLT-Anlage als großes Versorgungssystem mit Mehrzonenanlage

5.5. Küchen

Zentrale maschinelle Lüftung mit zwei Zentralgeräten, eine WRG als KV-System die andere als Plattenwärmeübertrager, Lufterwärmer, Luftkühler, drehzahlregelten Zu- und Abluftventilatoren, Luftfilter und Fortluftventilator für die Spülmaschinenabluft (siehe Abb. 6).

Aufgabe:

- Einhalten der hygienischen Anforderungen an die Raumlufte im Küchenbereich, durch Abführen von Wärme, Feuchte, Gerüchen und Stofflasten.
- Einhalten der Raumluftebedingungen gemäß ASR A 3.5 (Raumtemperaturen).

Merkmale:

- Die Auslegung des Luftvolumenstroms erfolgt nach dem, in der VDI 2052 bzw. in der DIN 16282 beschriebenen Verfahren. Hierbei wird für den Bereich der warmen Küche und der Spülküche der Volumenstrom auf der Grundlage des Thermikluftstroms ermittelt, der von den wärme- und feuchtigkeitsabgebenden Küchengeräten ausgeht.
- Gemäß der ASR 3.6 (Lüftung) ist für Küchen kein Umluftbetrieb erlaubt.
- Zur Einhaltung der Hygieneanforderungen muss eine gerichtete Luftströmung vom reinen zum unreinen Bereich hergestellt werden. Die Gesamtluftebilanz der Anlage sollte jedoch möglichst ausgeglichen sein.
- Um den aufsteigenden Thermikluftstrom nicht zu stören, soll die Zuluft möglichst impulsarm eingebracht werden.
- Der Bereich der Speiseausgabe oder Frontcooking ist gegenüber dem Speisesaal lufttechnisch abzuschirmen. Es darf keine Luft aus dem Gastbereich zur Speiseausgabe überströmen. In der Beispiellösung wurde hierzu eine Schleieranlage dargestellt.
- Damit keine Gerüche im Gebäude verbreitet werden, sollen die Abluftventilatoren möglichst im Freien aufgestellt werden oder an einer Stelle, die kurze Fortluftleitungen (Überdruck) gewährleistet. Die Fortluft soll mit hoher Geschwindigkeit senkrecht nach oben ausgeblasen werden.
- Zur Wärmerückgewinnung kommen nur rekuperative Systeme (PWT / KVS) in Betracht, da Ab- und Zuluft unbedingt getrennt geführt werden müssen.
- Es sind geeignete Filter, möglichst mit zweistufiger Filterung, der WRG vorzuschalten. Eine Möglichkeit besteht aus einer Kombination mit einem Metallstrickfilter (Fettfang) und einem Taschenfilter.

- An Küchenabluft- und Fortluftleitungen können sich brennbare Stoffe (Fett) ablagern, daher werden an diese Leitungen besondere Anforderungen gestellt, z. B.:
 - Die Leitungen müssen aerosoldicht und gut reinigbar ausgeführt werden. Hierzu können sie in gelöteter-, geschweißter- oder mit Dichtstoff (chemiekalienbeständig) abgedichteter Ausführung hergestellt werden.
 - Abluftleitungen im Küchenbereich sollen möglichst aus Edelstahl sein, Spülmaschinenabluftleitungen können wegen der besseren Beständigkeit gegen Chemie und Feuchte aus PPs hergestellt werden.
 - Einbau von Kondensatablasseinrichtungen und Reinigungsöffnungen.
 - Ein Reinigungskonzept ist bereits während der Planung zu erstellen.
 - Der Motor des Abluftventilators darf nicht im fetthaltigen Abluftstrom angeordnet werden. Entweder ist eine wirksame Aerosolnachbehandlung vorzuschalten oder er ist mit einer Motorfremdbelüftung auszustatten.
 - Alle Leitungseinbauten, z. B. Volumenstromregler, Schalldämpfer und Brandschutzklappen müssen für den Einsatz von feuchter und fetthaltiger Luft geeignet sein. Brandschutzklappen benötigen darüber hinaus eine für diesen Anwendungsfall spezielle Zulassung.

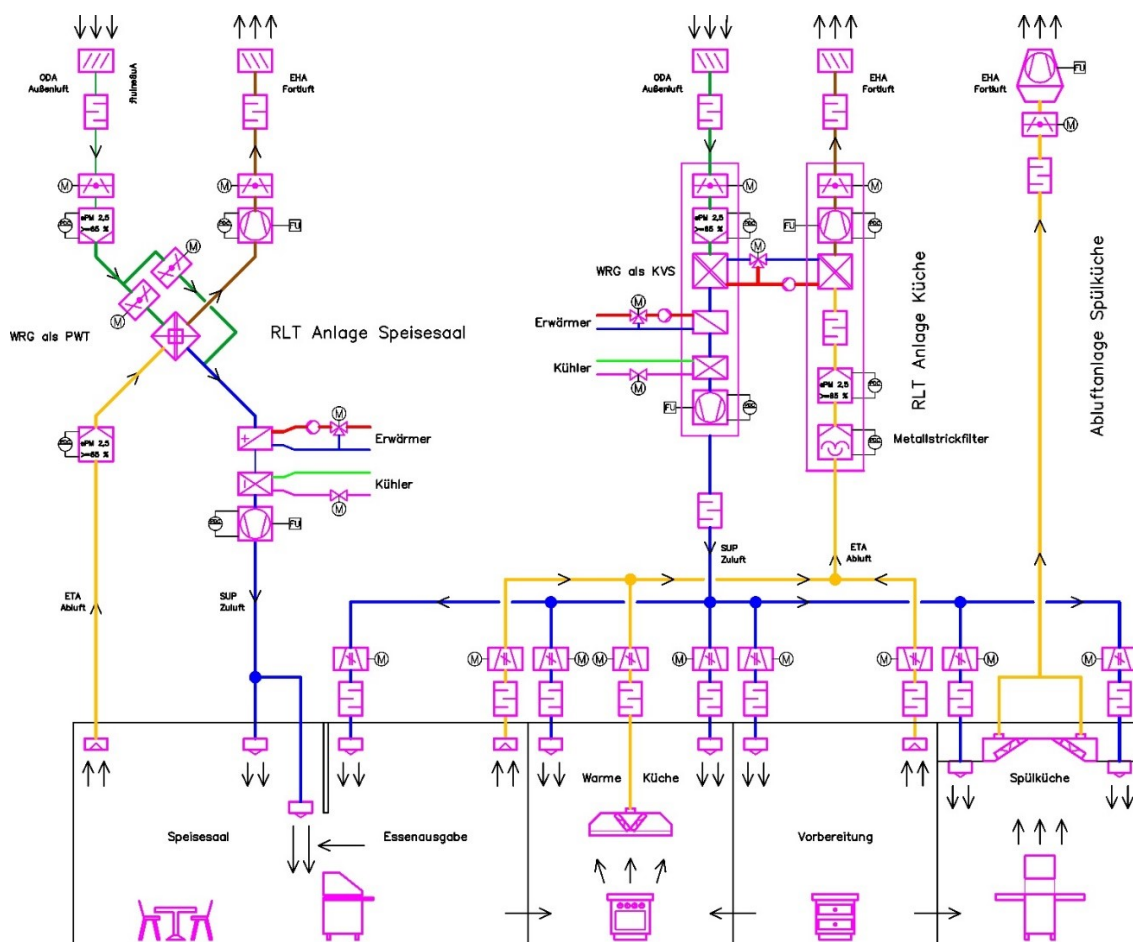


Abbildung 6: Beispiel einer RLT-Anlage für eine Küche

5.6. Rechenzentrum

Zentrale maschinelle Lüftung mit zwei Kreuzstrom-Platten-WRG, adiabatischer Kühlung und Umschaltklappensystem. Die Anlage kühlt ohne Kompressionskälteanlage (siehe Abb. 7)

Aufgabe:

- Kühlen des IT-Equipments. Sicherstellen von optimalen Betriebsbedingungen für die IT-Komponenten.
- Energieeffizienter Betrieb des Klimasystems, da hier ein wesentlicher Teil der Betriebskosten des Rechenzentrums entstehen.

Merkmale:

- Die Auslegung der Luftvolumenströme erfolgt auf der Grundlage der elektrischen Anschlussleistung aller IT-Komponenten.
- Angestrebt wird eine möglichst hohe Zulufttemperatur und ein großer Temperaturunterschied (Δt) zwischen der Abluft und der Zuluft, denn hierbei bietet sich die Möglichkeit der größten Energieeinsparung. Empfohlen werden DV-Zuluft-Eintrittstemperaturen von 18 °C – 27 °C sowie ein Δt von 10 K. Entscheidend sind die Angaben der DV-Hersteller, die für ihre Komponenten einen zulässigen Bereich definieren.
- Die Luftfeuchte darf wegen elektrostatischer Ladungseffekte nicht zu trocken und wegen der Gefahr von Kondensationsbildung nicht zu feucht sein. Die Empfehlung liegt in einem Bereich von ca. 5,5 g/kg als untere Grenze und von ca. 11,0 g/kg als obere Grenze. Zulässig ist gemäß dem US Branchen - Verband ASHRAE jedoch ein Bereich von 20 % r. F. bis 80 % r. F.
- Weitere Anforderungen bestehen an die Luftqualität. Es dürfen keine Schwebeteilchen, gasförmige- oder sonstige Verunreinigungen in die Rechnertechnik gelangen. Bei Kühlkonzepten mit Außenluft ist das besonders zu beachten.
- Bei Luftkühlung über einen Doppelboden werden zur Verbesserung der Energieeffizienz bzw. zur Leistungssteigerung die Server systematisch nach dem Kalt-/Warmgang-Prinzip aufgestellt. Hierbei wird der Kaltgang (oder der Warmgang) durch eine Abdeckung vom übrigen Raum strikt getrennt. Die kühle Luft wird in den Doppelboden eingeblasen und strömt über die Lüftungsplatten in den Kaltgang. Von dort wird sie über die IT-Hardware geführt, erwärmt sich und strömt über die Raumdecke zum Klimagerät zurück. Um hohe Temperaturdifferenzen und niedrige Luftvolumenströme sicherzustellen, ist jede Vermischung von kalter und warmer Luft zu vermeiden.
- Bei diesem System kann eine Leistungsdichte bis zu ca. 4.000 W/m² bzw. ca. 12 kW je Datenschränk abgeführt werden. Höhere Leistungsdichten sollten mit einem

wasserbasierenden Wärmeübertrager-System in der Nähe der Datenschränke abgeführt werden.

- Um die Energiekosten zu minimieren ist unbedingt eine freie Kühlung zu verwenden. Hierbei kann entweder direkt mit Außenluft gekühlt werden (direkte freie Kühlung) oder die Raumluft wird mit einem Wärmeübertrager von der Außenluft getrennt und im Umluftmodus betrieben (indirekte freie Kühlung). Eine adiabatische Verdunstungskühlung kann hierbei, ohne die Raumluftfeuchte zu beeinflussen, die indirekte freie Kühlung unterstützen. Je nach Qualität, Feuchtegehalt und Temperatur der Außenluft entscheidet die Regelung ob Außenluft, Umluft oder Mischluftbetrieb notwendig ist.
- Je nach notwendigen Zuluftkonditionen und klimatischen Standortbedingungen besteht die Möglichkeit, dass ganzjährig, ohne Kompressionskältemaschinen, nur mit freier Kühlung gekühlt wird.
- Eine Abwärmenutzung ist im vorliegenden Beispiel nicht dargestellt.

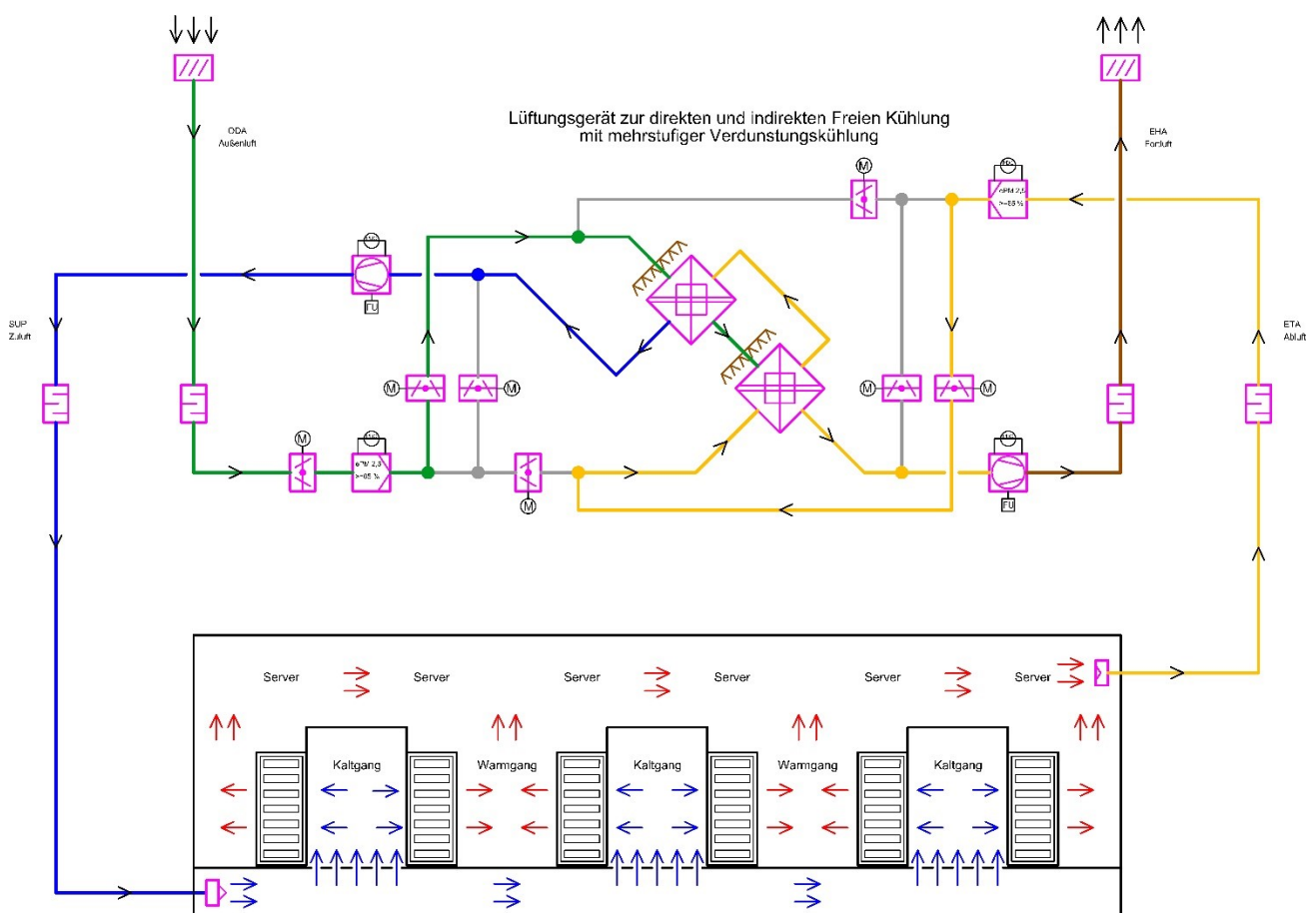


Abbildung 7: Beispiel einer RLT-Anlage für ein Rechenzentrum

6. Betreiben von RLT-Anlagen

Die Verantwortung für den Betrieb von RLT-Anlagen liegt beim Betreiber, in der Regel ist dies in Liegenschaften des Bundes, der Länder und Kommunen die für das Gebäude bzw. die Liegenschaft zuständige hausverwaltende Dienststelle. Andere organisatorisch bedingte Zuständigkeiten können in den Verwaltungen vorliegen (z. B. bei differenzierter Aufgabenaufteilung zwischen Gebäudeeigentümer und -nutzer oder bei beauftragten Dienstleistern) und sind zu beachten.

Die Grundsätze für den Betrieb raumluftechnischer Anlagen sind in der VDI 3810 beschrieben. Demzufolge umfassen die zugehörigen Aufgaben neben der Instandhaltung auch die Übernahme, die Inbetriebnahme, das Betätigen (Bedienen), die Außerbetriebnahme und das Ausmustern/Stilllegen der Anlagen. Hinzu kommen Aufgaben im Rahmen der Betreiberpflichten wie die Gewährleistung der Einhaltung von rechtlichen und sicherheitsrelevanten Bestimmungen sowie Aufgaben des Energiemanagements. Es und das technische Monitoring.

Die tägliche Betriebsführung wird vom zuständigen Personal vor Ort wahrgenommen. Überwiegend sind dies geschulte bzw. in die Betriebstechnik eingewiesene Personen im Bereich der Hausmeistertätigkeit. Je nach Größe der Einrichtung und vorhandener Ausstattung (z. B. an Universitäten und Hochschulkliniken) können hier Fachkräfte mit spezieller betriebstechnischer Qualifikation erforderlich sein. Ziel der nachfolgend beschriebenen Empfehlungen ist es, ein übergeordnetes Verständnis für eine sichere, zuverlässige, wirtschaftliche und energiesparende Funktionsweise von RLT-Anlagen zu entwickeln, fehlerhafte Zustände rechtzeitig zu erkennen, ihre Bedeutung abzuschätzen sowie zur Behebung ggf. die gezielte Beauftragung von Fachkräften zu ermöglichen. Die Empfehlung ersetzt nicht die für den Betrieb erforderlichen fachlichen Qualifikationen.

6.1. Betreiberpflichten

Der Betreiber ist gemäß § 58 GEG verpflichtet, energiebedarfssenkende Einrichtungen in Anlagen und Einrichtungen der Raumluftechnik betriebsbereit zu erhalten und bestimmungsgemäß zu nutzen. Er hat durch eine geordnete Betriebsführung und fachgerechte Instandhaltung die bestimmungsgemäße, auch gemäß VDI 6022 hygienisch einwandfreie Funktion und den wirtschaftlichen und energiesparenden Betrieb der RLT-Anlagen zu gewährleisten. Hierzu ist der Einsatz von qualifiziertem Bedienungs- und Instandhaltungspersonal sicherzustellen. Der Betreiber ist bereits im Planungsstadium auf die entsprechenden organisatorischen, personellen und kostenmäßigen Auswirkungen hinzuweisen.

Bauordnungsrechtliche Anforderungen an den Betrieb von raumluftechnischen Anlagen (Landesverordnung über die Prüfung haustechnischer Anlagen und Einrichtungen) sind den einschlägigen technischen Baubestimmungen der Bundesländer zu entnehmen.

Der Betreiber hat die Erfüllung seiner Betreiberpflichten nachweislich zu dokumentieren. Das Führen eines Betriebstagebuches (analog oder digital, ggf. in Verbindung mit GA-Unterstützung) zur Dokumentation wichtiger betriebsrelevanter Ereignisse (z. B. Störungen, Maßnahmen der Störungsbeseitigung, Inspektionen, Wartungen, kleinere Instandsetzungen, Prüfungen, Außerbetriebnahmen, Wiederinbetriebnahmen) wird empfohlen. Betriebsaufzeichnungen ermöglichen es, Abweichungen vom Soll-Betrieb zu erkennen und besondere Vorkommnisse im Nachhinein auszuwerten. Sie sind außerdem im Hinblick auf die Hygienebestimmungen hilfreich, um durchgeführte Maßnahmen zu dokumentieren.

6.2. Inbetriebnahme und Übergabe/Übernahme

Um das integrale Zusammenwirken aller für die Einhaltung der bestimmungsgemäßen Gesamtfunktionalität erforderlichen Anlagen- und Gebäudeteile und deren gewerkeweise Schnittstellen im Rahmen der Abnahme gemäß VOB (siehe Kapitel 4.11) zu prüfen, bedarf es eines Inbetriebnahmekonzepts.

Das Zusammenspiel aller dabei relevanten Größen ist Teil des Inbetriebnahmemanagements, dessen Methoden und Vorgehensweisen für gebäudetechnische Anlagen in der VDI 6039 (siehe auch Kapitel 4.12).

Mit der Umsetzung des Inbetriebnahmemanagements soll u. a. sichergestellt werden, dass die RLT-Anlage nutzungskonform in Betrieb gesetzt, deren Funktionalität durch Probetriebe überprüft sowie das Betreiberpersonal in die technische Anlage eingewiesen wird. Alle für den Betrieb relevanten Unterlagen und Dokumente sind an den Betreiber zu übergeben. Der Betreiber wird damit in die Lage versetzt, die technische Anlage zu übernehmen.

Empfehlenswert ist bei Bedarf ein weiterer Probetrieb nach Einzug der Nutzer und die Betriebsübernahme durch die hausverwaltende Dienststelle (Betreiber) – im Idealfall unterstützt durch den Errichter der Anlage und unter Beteiligung der Fachplaner. Hier sollten ggf. auch die Schnittstellen zu den vorhandenen Nutzergeräten sowie weitere Tests durchgeführt werden (z. B. Simulation eines Stromausfalls). Dabei ist zu beachten, dass diese Leistungen in der Regel als „besondere Leistungen“ bei den Firmen bereits frühzeitig zu beauftragen sind.

Die Inbetriebnahme einschließlich der Einregulierung ist ein entscheidender Baustein für einen störungsfreien, sicheren und effizienten Anlagenbetrieb und die Protokolle sind dem Betreiber in dokumentierter Form zur Verfügung zu stellen.

Als wichtiger Teil des Inbetriebnahmemanagements wird bei Baumaßnahmen ab einer bestimmten Größenordnung (ab 2.0 Mio. €) empfohlen, ein Technisches Monitoring idealerweise als Bestandteil der Bauleistung gesondert zu beauftragen. Die AMEV-Empfehlung Technisches Monitoring gibt hierzu praktische Hinweise, um an den Schnittstellen zwischen der Planungs- und Bauphase und der ersten Nutzungsphase die angestrebte Qualität, insbesondere der Gebäudetechnik, zu sichern. Darüber hinaus wird

darauf abgezielt, die Voraussetzungen für einen energieeffizienten, funktions- und bedarfsgerechten Gebäudebetrieb zu schaffen und diesen über eine je nach Bedarf festzulegende Zeitspanne in der Nutzungsphase sicherzustellen.

6.3. Bedienen

Der Energieverbrauch und die Betriebskosten von RLT-Anlagen können ohne Komforteinbußen durch eine sachkundige und bedarfsgerechte Bedienung optimiert werden. Das gemäß § 59 GEG geforderte sachgerechte Bedienen (Betätigen) umfasst gemäß VDI 3810 die Aufgaben: das Stellen, Überwachen und das Beheben von Störungen.

6.3.1. Stellen

Das Stellen von RLT-Anlagen beinhaltet im Wesentlichen die folgenden Handlungen:

- Ein- und Ausschalten der Anlagen (z. B. während der Nutzungs- bzw. Nicht-nutzungszeit) entweder von Hand oder durch ein anlagenbezogenes Bedienpanel oder mit Hilfe eines Gebäudeautomationssystems
- Einstellen von Schaltzeiten zum Ein- bzw. Ausschalten der Anlage entweder an einer Schaltuhr von Hand oder durch ein anlagenbezogenes Bedienpanel oder mit Hilfe eines Gebäudeautomationssystems
- Einstellen von Sollwerten (z. B. Temperaturen, Luftfeuchte) als Regelgröße
- Schalten von Betriebsstufen (z. B. Reduzierung des Luftvolumenstroms) bei geringem Nutzungsumfang der belüfteten Räume

6.3.2. Überwachen

Relevante Anlagenparameter (z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftvolumenstrom, Förderdruck) sollen durch automatisierte Erfassung mit den vorgegebenen Sollparametern im Regelungsprozess ausgewertet und Abweichungen im Rahmen einer vorgegebenen Bandbreite an einer für das Betriebspersonal geeigneten Stelle angezeigt werden. Dies kann dezentral an den Anlagen vor Ort und/oder zentral über die Management- und Bedieneinrichtungen (MBE) der Gebäudeautomation erfolgen. Hierzu ist bereits frühzeitig das für die Planung erforderliche Mess-, Steuer- und Regelungskonzept zu entwickeln.

6.4. Instandhaltung

Die Instandhaltung von RLT-Anlagen dient dem Erhalt oder der Wiederherstellung des funktionsfähigen Zustandes und besteht gemäß DIN 31051 aus Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung. Gemäß § 60 GEG sind Komponenten, die einen wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad von Anlagen und Einrichtungen der Raumluftechnik haben, vom Betreiber regelmäßig zu warten und instand zu halten. Für die Wartung und Instandhaltung ist gemäß VDI 6022 und § 60 GEG Fachkunde erforderlich.

Fachkundig ist, wer die zur Wartung und Instandhaltung notwendigen Fachkenntnisse und Fertigkeiten besitzt.

6.4.1. Inspektion

Zur Inspektion zählen alle Maßnahmen, um den Ist-Zustand der RLT-Anlage festzustellen und zu beurteilen. Der Arbeitsumfang richtet sich je nach Anforderung der Inspektion. Zu beachten ist dabei, dass gemäß § 74 GEG, in ein Nichtwohngebäude eingebaute Klimaanlage mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 12 kW oder kombinierte Klima- und Lüftungsanlagen mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 12 kW, einer energetischen Inspektion zu unterziehen, es sei denn, diese Anlagen sind mit Gebäudeautomationssystemen gemäß GEG § 74, Abs. 3 ausgestattet. Gemäß Arbeitsschutzgesetz ist im Rahmen der Sicherung des Arbeitsschutzes die hygienische Inspektion gemäß VDI 6022 (als Stand der Technik) zwingend erforderlich. Die erforderlichen Inspektionsleistungen sind dem Betreiber im Zuge der Übergabe der RLT-Anlage in dokumentierter Form zu übergeben. Der Betreiber ist für die ordnungsgemäße Durchführung, Überwachung der zur Durchführung beauftragten Firmen verantwortlich. Sich aus der Inspektion ergebende Handlungs- oder Maßnahmenanforderungen hat der Betreiber fristwährend zu veranlassen.

6.4.2. Wartung

Zur Wartung zählen alle Maßnahmen, die die Abnutzung verzögern. Für die Wartungsarbeiten ist ein Leistungsprogramm zu erstellen. Hierfür können die Vertragsmuster der AMEV-Empfehlungen „Wartung“ (AMEV Wartung) mit den zugehörigen Arbeitskarten (in Anlehnung an das VDMA-Arbeitsblatt 24186-1) sowie die Vertragsmuster der Empfehlung „Instandhaltung“ (AMEV Instandhaltung) verwendet werden. In jedem Fall sind die Vorgaben der Anlagenhersteller zu berücksichtigen. Die in der VDI 6022 formulierten hygienischen Anforderungen sind dabei zu beachten. Eine Anlagenliste, in der alle wartungs- und überwachungspflichtigen Anlagen und Bauteile dokumentiert sind, sollte dem Betreiber mit der Übergabe der Anlage im Rahmen der Dokumentation zur Verfügung gestellt werden.

Der Umfang der Wartungs- und der Inspektionsarbeiten sowie die Festlegung der konkreten technischen Wartungs- und Inspektionsintervalle sind von den Fachplanern in Abstimmung mit den Betreibern und ggf. unter Einbeziehung einer Hygiene-Fachkraft für den jeweiligen Einzelfall anzugeben. Auf die Empfehlungen der AMEV „Wartung“ wird verwiesen.

6.4.3. Instandsetzung und Verbesserung

Die Instandsetzung umfasst alle Maßnahmen, um nach Funktionsausfall die Funktionsfähigkeit der Anlage wiederherzustellen. Verbesserungsmaßnahmen sind Anpassungen an der Anlage oder Bauteilen, die betriebliche Vorteile bringen, ohne die Funktion der Anlage zu verändern.

6.4.4. Instandhaltungsmanagement

Der bedarfsgerechte Umfang der Instandhaltungsarbeiten ist stark von der Anlagenart und -nutzung, den Betriebszeiten und der Ausführung der Bauelemente abhängig. Bei RLT-Anlagen, besonders bei Anlagen mit hohem Anspruch an die Verfügbarkeit (z. B. Rechenzentren, Forschungslabore), ist es wichtig, die dafür erforderliche Instandhaltungsstrategie festzulegen und durch ein bedarfsgerechtes Instandhaltungsmanagement umzusetzen. Durch vorbeugende vorausschauende Instandhaltung (z. B. vorgezogener Austausch von Anlagenteilen vor abnutzungsbedingtem Ausfall während der Zeit, in der die Anlage nicht genutzt wird) können sich Ausfallzeiten reduzieren lassen. DIN EN 13306 beschreibt die Arten und Tätigkeiten der Instandhaltung und sollte der festzulegenden Instandhaltungsstrategie zu Grunde gelegt werden.

6.5. Energetische Inspektion

Gemäß § 74, Abs. 1 GEG hat der Betreiber von einer in ein Gebäude eingebauten Klimaanlage mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 12 Kilowatt oder einer kombinierten Klima- und Lüftungsanlage mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 12 Kilowatt innerhalb der in § 76 GEG genannten Zeiträume energetische Inspektionen dieser Anlage durch eine berechtigte Person im Sinne des § 77 Absatz 1 durchführen zu lassen. Entsprechend § 74, Abs. 2 GEG sind Vereinfachungen bei vergleichbaren Nichtwohngebäuden (gleichartiger Anlagentyp und gleichartige Leistung) zulässig. Die Pflicht der energetischen Inspektion besteht gemäß § 74, Abs. 3 GEG nicht, wenn eine Klimaanlage oder eine kombinierte Klima- und Lüftungsanlage in ein Nichtwohngebäude eingebaut ist, das mit einem System für die Gebäudeautomation und Gebäuderegelung nach den genannten Maßgaben ausgestattet ist. Die Inspektion umfasst Maßnahmen zur Prüfung der Komponenten, die den Wirkungsgrad der Anlage beeinflussen, und der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf des Gebäudes. Nähere Angaben sind § 75, Abs. 2 GEG zu entnehmen.

Die Inspektion einer Klimaanlage mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 70 kW oder einer kombinierten Klima- und Lüftungsanlage mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 70 kW ist gemäß § 75, Abs. 3 GEG nach DIN SPEC 15240: 2019-03 durchzuführen.

Die Inspektion ist erstmals im zehnten Jahr nach der Inbetriebnahme oder der Erneuerung wesentlicher Bauteile wie Wärmeübertrager, Ventilator oder Kältemaschine durchzuführen und danach wiederkehrend spätestens alle zehn Jahre (§ 76, Abs. 1 und 2 GEG). Abweichungen und Vereinfachungen regelt § 76 GEG. Die inspizierende Person muss fachkundig sein (§ 77 GEG) und hat einen Inspektionsbericht mit den Ergebnissen der Inspektion und Ratschlägen in Form von kurz gefassten fachlichen Hinweisen für Maßnahmen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage, für deren Austausch oder für Alternativlösungen zu erstellen (§ 78, Abs. 1 GEG). Der Betreiber hat der nach Landesrecht zuständigen Behörde den Inspektionsbericht auf

Verlangen vorzulegen. Der Inspektionsbericht muss von der inspizierenden Person unterschrieben und mit einer Registriernummer versehen werden, die die inspizierende Person zuvor beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) beantragen muss.

Im Sinne der Verpflichtung zu wirtschaftlichem Handeln ist bei der Umsetzung der Vorgaben auf ein sinnvolles Maß an Inspektionsleistungen zu achten – soweit hier Spielräume vorhanden sind. Vorteilhaft ist beispielsweise der Rückgriff auf vorhandene Anlagen- und Betriebsdaten sowie Wartungs- und Prüfergebnissen (z. B. Hygieneinspektion gemäß VDI 6022).

Hilfestellung für die Vorbereitung und Durchführung der energetischen Inspektion bietet die DIN EN 16798-17 einschließlich nationalem Anhang, in dem auf die Hinweise gemäß DIN SPEC 15240 aufmerksam gemacht wird.

6.6. Energiemonitoring und -controlling

Durch den Einbau von Energie- und Medienverbrauchsmesseinrichtungen ist es möglich, den Verbrauch von Wärme (Heiz-, Kühl- und Prozesswärme) und Strom nicht nur für das Gebäude insgesamt, sondern auch für die Hauptverbraucher der Anlagentechnik (z. B. Wärmepumpe, Ventilator, RLT-Heizregister, Kältemaschine etc.) in frei wählbaren Zeitrastern separat abzubilden. Der Vergleich mit Referenzwerten gibt Aufschluss über das energetische Optimierungspotenzial.

Dies ist – zusammen mit der Überprüfung der Einstellungen für die Betriebstechnik – Grundlage für ein mit Nutzungsübergabe beginnendes Monitoring zur Sicherstellung der optimalen Einstellung der Technischen Gebäudeausrüstung für einen energiesparenden Gebäudebetrieb.

Jährliche Energiebetriebskosten über 100.000,- € rechtfertigen in der Regel den wirtschaftlichen Einsatz eines Energiecontrollingsystems mit fernauslesbaren Energiezählern (inkl. Energiecontrollingsoftware mit Anwenderschulung) um die Einsparbemühungen des Nutzers zu unterstützen. Wenn Zähler im Rahmen eines Energiecontrollings als fernauslesbare Zähler eingesetzt werden, ist die Ausführung als M-Bus-Zähler mit Netzstromversorgung sinnvoll. Ausführliche Hinweise gibt die AMEV-Empfehlung Energie.

Durch gezielte steuer- und regeltechnische Maßnahmen ist der Energieverbrauch von RLT-Anlagen der Nutzung und der Betriebszeit anzupassen. Diese sollten im Kontext mit den Klima- und Behaglichkeitsparametern stehen. Hier sind vor allem Raumluftqualität, Temperatur, Luftfeuchte und Akustik zu beachten.

Möglichkeiten zur Reduzierung des Energiebedarfs:

- Raumlufthemperatur und Raumlufthfeuchte sind auf das für die Raumnutzung notwendige Maß zu beschränken.
- Außenluftvolumenstrom am RLT-Zentralgerät ist in Bezug zur jeweiligen versorgten Fläche und Personenzahl zu setzen und sollte bedarfsorientiert (z. B. CO₂-Konzentration) geregelt werden.
- Der Ventilatorbetrieb (Umrüstung auf Frequenzumrichterbetrieb) ist zu optimieren.
- Die Nutzung von freien Kühlmöglichkeiten ist weitestgehend sicher zu stellen.
- Für einzelne Raumgruppen sind automatische Abschaltungsmöglichkeiten bei Nichtbenutzung zu schaffen.
- Betriebszeiten sind anzupassen (z. B. Nacht-, Wochenendabsenkung).
- Betriebsmodi wie Normalbetrieb, Nachkühlbetrieb usw. sind anzupassen.
- Regelungsstrategien sind zu optimieren (z. B. hx-geführte Regelung, Optimierung der WRG).
- Regelmäßige Kontrolle der von der Herstellerfirma vorgenommenen Einstellung der Mess-, Steuer- und Regelgeräte. Veränderungen an den Systemen (Abnutzung, Alterung etc.) und insbesondere Nutzungsänderungen können hier eine Neueinstellung erforderlich machen.

Der ordnungsgemäße Betrieb der Anlage lässt sich mit Hilfe eines Soll-/Ist-Wertvergleichs der wichtigen Parameter erkennen. Hierzu sind die erforderlichen Informationen z. B. in tabellarischer Form aufzulisten und die entsprechenden Instrumente bzw. Orte zur Ablesung der Daten (an der Anlage oder in Gebäudeautomationssystemen) zu kennzeichnen und zu beschreiben. Wenn kein speziell qualifiziertes Personal zur Verfügung steht, sind entsprechende Erläuterungen notwendig.

7. Anhänge

7.1. Zusammenstellung von Auslegungsdaten für ausgewählte Anwendungsbereiche

Raumart	Mindest- Außen- luft- (AU), Zuluft- (Zu) bzw. Abluft- (AB)-Volumen- strom	Operative Temperatur		Schall- druck- pegel im Raum	Auslegungsquelle	Bemerkungen
		min.	max.			
		°C	°C	dB(A)		
3.1.1 Bürräume	EN (AU) 7 l/(s,Person) + 0,7 l/(sm ²)	20	26 ¹	35	EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2, Kategorie II, schadstoffarmes Gebäude	freie Lüftung i.d.R. ausreichend Ziel: Ø CO ₂ -Konz. ≤ 1000 ppm
3.1.2 Sitzungs- räume	EN (AU) 7 l/(s,Person) + 0,7 l/(sm ²)	20	26 ¹	35	Siehe 3.1.1	Ziel: Ø CO ₂ -Konz. ≤ 1000 ppm
3.1.3 Toiletten- räume	(AB) 11 m ³ /h*m ²	21 ²		55	ASR A4.1, Pkt. 5 ASR A3.5	
3.1.4 Wasch- und Duschräume	(AB) 11 m ³ /h*m ²	24 ²		55	DIN 18032-1 ASR A4.1, Pkt. 6 ASR A3.5	
3.1.5 Umkleideräume	(AB) 11 m ³ /h*m ²	21 ²		45	DIN 18032-1 ASR A4.1, Pkt. 7 ASR A3.5	
3.1.6 Lager- und Nebenräume	0,5 facher Luftwechsel	15		50		Höhere Anforderungen können sich im Einzelfall ergeben
3.2.1 Allgemeine Unterrichts- räume	(AU) 7 l/(s,Person) + 0,7 l/(sm ²)	20	26 ¹	40	EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2, Kategorie II, schadstoffarmes Gebäude; VDI 6040	freie Lüftung i.d.R. nicht ausreichend; Ziel: Ø CO ₂ -Konz. ≤ 1000 ppm
3.2.2		20	26 ¹	40		Versammlungs-

Raumart	Mindest- Außen- luft- (AU), Zuluft- (Zu) bzw. Abluft- (AB)-Volumen- strom	Operative Temperatur		Schall- druck- pegel im Raum	Auslegungsquelle	Bemerkungen
		min.	max.			
		°C	°C	dB(A)		
Aulen und Festräume	(AU) in Abhängigkeit der gewählten Kategorie				EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2, schadstoffarmes Gebäude; VDI 6040 ³	stätten- bzw. Sonderbau VO beachten
3.2.3 Naturwissenschaftliche Fachräume		20	26 ¹		Evtl. DIN 1946-7	RLT-Anlage bei der Verwendung von Schadstoffen ggf. notwendig
3.2.4 Musikräume		20	26 ¹			RLT-Anlage im allg. nicht erforderlich
3.2.5 Werkräume und Werkstätten		20	26 ¹			RLT-Anlage im allg. nicht erforderlich
3.2.6 Lehrküchen		20			Evtl. VDI 2052	RLT-Anlage im allg. nicht erforderlich
3.3.1 Seminarräume	Siehe 3.2.1 Unterrichtsräume					
3.3.2 Hörsäle	(AU) 7 l/(s,Person) + 0,7 l/(sm ²)	20	26 ¹	40	EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2, Kategorie II, schadstoffarmes Gebäude	Versammlungsstätten- bzw. Sonderbau-Verordnung beachten: Ziel: Ø CO ₂ -Konz. ≤ 1000 ppm
3.3.3 Laboratorien	(AU) 25 m ³ /(h*m ² NF)	20	26 ¹ , soweit keine besonderen Anforderungen bestehen		DIN 1946-7 DIN EN 14175-1, DIN 14470	Abluft-Volumenstrom der Digestorien berücksichtigen; Problem BSK, Rauchauslösung und Gleichzeitigkeit beachten
3.3.3.1 Lagerräume für gefährliche	10-facher Luftwechsel	15			DIN EN 14470-1	Anforderungen gemäß Gefahrstoffverordnung,

Raumart	Mindest- Außen- luft- (AU), Zuluft- (Zu) bzw. Abluft- (AB)-Volumen- strom	Operative Temperatur		Schall- druck- pegel im Raum	Auslegungsquelle	Bemerkungen
		min.	max.			
		°C	°C	dB(A)		
Arbeitsstoffe						BetrSichV
3.3.4 Sonderbereiche Forschung						Auslegung nach Festlegungen im Einzelfall
3.3.5 Reinräume					VDI 2083 DIN EN ISO 14644	Auslegung nach VDI 2083 bzw. DIN EN ISO 14644
3.4 Krankenhäuser und Kliniken						Auslegung nach DIN 1946, Teil 4 oder spezifischen Anforderungen
3.5.1 Sporthallen⁴	(AU) -60m ³ /h Sportler -20m ³ /h Zuschauerplätz e	17	22	45	DIN 18032-1	freie Lüftung bei bei normaler Nutzung im allg. ausreichend; evtl. VStättV beachten
3.5.2 Gymnastik- Räume⁴	Siehe 3.5.1 Sporthallen					
3.5.3 Konditions- und Krafttrai- ningsräume⁴	(AU) für 6- fachen Luftwechsel	12	20		DIN 18032-1	
3.5.4 Umkleide- räume	Siehe 3.1.5 Umkleideräume in Bürogebäuden					
3.5.5 Wasch- und Duschräume	Siehe 3.1.4 Wasch- und Duschräume in Bürogebäuden					
3.6 Bäderbauten		*		45	VDI 2089	*2 K über Becken- wassertemperatur
3.7.1 Werkstätten						freie Lüftung i.d.R. ausreichend; Zusätzliche Anforderungen können
3.7.2 Wäschereien						Schwülegrenze

Raumart	Mindest- Außen- luft- (AU), Zuluft- (Zu) bzw. Abluft- (AB)-Volumen- strom	Operative Temperatur		Schall- druck- pegel im Raum	Auslegungsquelle	Bemerkungen
		min.	max.			
		°C	°C	dB(A)		
						beachten, siehe ASR
3.8.1 Bibliotheken und Archivbauten	(AU) 7 l/(s,Person) + 0,7 l/(sm ²)	20	26 ¹	30	EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2, Kategorie II, schadstoffarmes Gebäude	
3.8.2 Museen, Ausstellungs- Räume	(AU) 7 l/(s,Person) + 0,7 l/(sm ²) Luftwechselrate ≤ 0,1 h ⁻¹	20	*		EN 16798-1 und CEN/TR 16798-2, Kategorie II, schadstoffarmes Gebäude <u>DIN ISO 11799</u>	*weitere Erläute- rungen im Abs. 3.8.2 Empfohlene Klimabedingungen gemäß DIN ISO 11799
Magazine und Depots						
3.9 Rechenzentren einschl. RZ- Flächen/Bereiche	(ZU) nach Kühllastberech- nung		27 (32)			ASR beachten, in Räumen mit ständigem Arbeitsplatz *weitere Erläuterungen im Abschnitt 3.9

7.1.1. Lüftung unter Pandemiebedingungen, insbesondere von Schulen und vergleichbarer Räume

Im Arbeitskreis Klimatechnik haben sich die Professorinnen und Professoren führender Hochschulen organisiert, um sowohl die fachliche Qualität der akademischen Ausbildung wie auch die Übertragung neuester Erkenntnisse aus der Forschung in die Lehre zu gewährleisten. Die Diskussion über die Lüftung unter Pandemiebedingungen, speziell im Hinblick auf die Lüftung in Schulen, führte aus der Sicht des Arbeitskreises Klimatechnik in der Öffentlichkeit zu einer unübersichtlichen Situation, die es den Betroffenen und Entscheidungsträgern schwermachte, richtige Entscheidungen in Bezug auf erforderliche oder gewünschte Lüftungsmaßnahmen treffen zu können.

Der nachfolgende Orientierungsleitfaden des Arbeitskreises soll helfen, eine Entscheidung unter Berücksichtigung der jeweiligen kurz-, mittel- und/oder langfristigen Möglichkeiten treffen zu können und auch vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit entsprechende Maßnahmen beurteilen zu können.

Die Schullüftung ist schon seit vielen Jahren ein oft diskutiertes Thema. Effektives und erfolgreiches Lernen hängt nicht nur von der Reduktion krankmachender Aerosolpartikel der Raumluft, sondern insbesondere von der zur Verfügung gestellten gesundheitlich zuträglichen Außenluft und einer hinreichend niedrigen CO₂-Konzentration ab.

Die Luftqualität kann durch Verdünnung und Abfuhr entsprechender Schadstoffe mittels raumluftechnischer Maßnahmen sichergestellt werden. Dies gilt auch für SARS-CoV-2 Viren, die in Räumen hauptsächlich durch Aerosolpartikel übertragen werden. Zur Verdünnung und Abfuhr von schädlichen Aerosolpartikeln können prinzipiell vier verschiedene Systeme verwendet werden:

- Luftreinigung
- Fensterlüftung
- Ventilator-unterstützte Fensterlüftung
- Zentrale oder dezentrale Raumluftechnische Anlagen mit Außenluft und Wärmerückgewinnung

Dabei ist nach dem aktuellen Wissenstand¹ für alle genannten Lösungsansätze entweder ein gefilterter, virenfreier Umluftvolumenstrom oder ein Außenluftvolumenstrom von jeweils mindestens 800 m³/h pro erkrankter Person im Raum gefordert, um das Risiko einer Infektionsübertragung für eine gewisse Aufenthaltsdauer im Raum zu minimieren. Das Risiko einer Übertragung kann und soll durch weitere Maßnahmen wie das Tragen von

¹ SARS-CoV-2 Aerosol Transmission Indoors: A Closer Look at Viral Load, Infectivity, the Effectiveness of Preventive Measures and a Simple Approach for Practical Recommendations
<https://doi.org/10.3390/ijerph19010220>

Mund- und Nasenmasken oder die Reduktion der Personenanzahl im Raum vermindert werden.

Unabhängig von der Corona-Problematik empfiehlt der Arbeitskreis zur Sicherstellung einer guten Raumluftqualität eine Zufuhr an Außenluft von rund 30 m³/h pro Person. Damit wird insbesondere der CO₂-Anteil im Raum begrenzt. Eine CO₂-Konzentration bis zu 1.000 ppm wird als noch akzeptabel angesehen, dieser Wert ist in der Zeit der Epidemie möglichst zu unterschreiten²².

Bei der Einbringung der virenfreien Zuluft in einen Raum gibt es zwei prinzipielle Luftführungsarten.

Die Mischlüftung (Lüftung mittels impulsstarker Zuluftstrahlen, Vermischung von Zuluft und Raumluft) hat sich unter Fachleuten als praktikable Lösung in Räumen mit hoher Personendichte durchgesetzt. Eine raumerfüllende Strömung garantiert eine homogene Verdünnung der Aerosolpartikel und deren Abfuhr durch Abluft.

Bei geringer Personenbelegung kann die Quelläftung (Verdrängungslüftung, mit möglichst geringer Vermischung der Zuluft und der Raumluft, mittels turbulenzarmer Zuführung von kühler Luft, mit einer Luftführung von unten nach oben, unterstützt durch Thermik) zusätzliche Vorteile bei der Aerosolpartikelabfuhr erbringen. Die durch konvektive Auftriebsströmungen bedingte Abfuhr der Aerosolpartikel kann im Deckenbereich effektiv abgesaugt werden. Unterstützende Hilfskonstruktionen zur Abluftabführung im Deckenbereich sind nicht erforderlich. Bei Quelläuftströmung kann eine große Personenanzahl (z. B. bei Schulklassen) allerdings zu einem sehr großen Auftriebsvolumenstrom (ca. 72 m³/h und pro Person³³) führen. Dann kann bei zu geringem Zuluftvolumenstrom (z. B. 800 m³/h) die Verdrängungsströmungsform nicht aufrechterhalten werden. Dies führt zu einer höheren Mischung mit der Raumluft, damit zu einer geringeren Lüftungseffektivität und mit ihr linear zu einem höheren benötigten Zuluftvolumenstrom, der zum Abtransport von Schadstoffen notwendig ist.

1. Luftreinigung

Luftreiniger arbeiten in der Regel nach dem Prinzip der Luftfilterung. Dabei werden im Umluftverfahren Aerosolpartikel mittels Luftfilter aus der Luft entfernt. Alternativ werden auch Luftreiniger angeboten, die durch Desinfektionsmaßnahmen (z. B. UVC-Strahler) Keime abtöten. Meist werden sog. HEPA-Filter (High efficiency particulate air filter) in den Geräten verwendet. Feinfilter sind ebenfalls geeignet, Abscheideraten von rund 90 % der Aerosolpartikeln zu erreichen. Die Raumluft wird angesaugt, gefiltert und dann dem Raum als virenfreie Luft wieder zugeführt (Umluft). Die Wirksamkeit der Raumluftreinigung hängt

²² SARS-CoV-2 Arbeitsschutzregel 4.2.3 Abs. 3: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AR-CoV-2/pdf/AR-CoV-2.pdf?__blob=publicationFile&v=18

³³ Pro Person 20 l/s bei einer Atemhöhe von 1,2 m über Fußboden (Sitzende Tätigkeit) aus: Informationsschriften, Band 6, Quelläftung in nicht-gewerblichen Gebäuden, 1. Auflage, REHVA Guidebook Nr. 1, VDI-TGA, 2003

wesentlich vom Volumenstrom der Luftreiniger, ihrer Reinigungseffizienz und ihrem Aufstellungsort ab.

Vorteile sind:

- Luftreiniger sind sehr einfach zu installieren und zu betreiben, da sie mit Umluft arbeiten und daher keine Anschlüsse für Zu- und Abluft benötigen.
- Sie sind leicht einzustellen, dadurch ist die Nutzerakzeptanz hoch.
- Die Investitionskosten sind im Verhältnis niedrig.
- Sie entfernen nicht nur Aerosolpartikel, sondern auch Stäube und Pollen.

Nachteile sind:

- Luftreiniger können nur Partikel aus der Raumluft entfernen. CO₂ und andere Gase können nicht entfernt werden und verbleiben im Raum. Daher ist eine zusätzliche Lüftung mit Außenluft weiterhin erforderlich.
- Gleichzeitig ist die Gefahr der Fehlbedienung hoch, da die Geräte leicht um- oder sogar ausgeschaltet werden können.
- Luftreiniger arbeiten nach dem Mischluftprinzip, wodurch der unterstützende Effekt einer thermischen Auftriebsströmung zur Schadstoffabfuhr (Quellluftprinzip) nicht genutzt werden kann.
- Luftreiniger werden oft ohne Schalldämpfer ausgestattet und sind dann oft zu laut. Dies führt häufig zum Betrieb mit einem zu niedrig eingestellten Volumenstrom.

Sicherer Betrieb:

- Ein oder mehrere Luftreinigungsgeräte mit einem Gesamtvolumenstrom von ca. 800 m³/h sind für ein Raumvolumen von max. 250 m³ geeignet. Werden diese Grenzen überschritten, müssen weitere Luftreiniger verwendet werden, oder weitere Lüftungsmaßnahmen (z. B. Fensterlüftung) sind zur Aerosolpartikelabfuhr unterstützend erforderlich.
- Zur CO₂-Reduktion muss ohnehin zusätzlich eine Lüftung mit Außenluft erfolgen.

2. Fensterlüftung

Fenster werden in fast allen Gebäuden verwendet und können zur Lüftung einfach genutzt werden, falls sie zu öffnen sind.

Vorteile sind:

- Fenster sind eine günstige Maßnahme zur Lüftung, da sie bereits eingebaut sind und ohne weitere Investitionen sofort genutzt werden können.
- Da die Außenluft oft kühler als die Raumluft ist, kann die thermische Auftriebsströmung im Raum meist zur Unterstützung der Lüftung genutzt werden (Quellluftprinzip).
- Sie sind leicht zu betätigen, dadurch ist die Nutzerakzeptanz hoch.

Nachteile sind:

- Die Fensterlüftung ist von der Temperaturdifferenz zwischen außen und innen sowie von Windgeschwindigkeit und Windrichtung abhängig. Je nach dem wird der Außenluftwechsel hoch oder niedrig ausfallen.
- Fensterlüftung arbeitet ohne Luftfilter. Dadurch kann sich im Verhältnis zum Einsatz einer RLT-Anlage mit Filter eine höhere Feinstaubbelastung im Raum/Gebäude ergeben.
- Eine gezielte Lufterwärmung/ -kühlung kann mit der Fensterlüftung nicht realisiert werden. Die Temperierung der einströmenden Außenluft muss mit üblichen Heiz- oder Kühleinrichtungen im Raum erfolgen.
- Eine Wärmerückgewinnung ist mit Fensterlüftung nicht möglich. Ökologisch gesehen ist die Fensterlüftung negativ zu bewerten, da die Lüftungswärmeverluste hoch sind.
- Zu seltenes Öffnen von Fenstern führt zu schlechter Raumluftqualität. Zudem passt sich der Mensch schnell an eine schlechte Luftqualität an und bemerkt dann nicht mehr, dass gelüftet werden soll.
- Der Komfort im Raum kann deutlich negativ beeinflusst werden, da thermisch unbehagliche Zustände bei großen Temperaturunterschieden (im Sommer und Winter) auftreten können.
- Bei geöffnetem Fenster können Schallprobleme auftreten, da dann die Schalldämmung des Fensters aufgehoben ist.
- Regelmäßiges Öffnen und Schließen der Fenster sorgt für Unruhe im Raum (insbesondere in Klassenräumen).

Sicherer Betrieb:

- Manuelle Fensterlüftung erfolgt nur durch aktive Betätigung des Nutzers. Die erforderlichen Außenluftvolumenströme lassen sich nicht gezielt einstellen.
- CO₂-Sensoren („Ampeln“) können den Nutzer an das notwendige Lüften des Raumes erinnern. Mit den Sensoren können zwar virenhaltige Aerosolpartikel nicht direkt

gemessen werden, aber mit CO₂ als Indikator für Personenanzahl, Aufenthaltsdauer und Lüftungsaktivität im Raum kann auf das mögliche Vorhandensein virenhaltiger Aerosolpartikel geschlossen werden.

3. Ventilator-unterstützte Fensterlüftung (Hybride Lüftung)

Die Fensterlüftung kann durch Abluftventilatoren unterstützt werden. Die Nachströmung der Außenluft erfolgt meist über geöffnete (gekippte) Fenster oder über sonstige Nachströmöffnungen.

Vorteile sind:

- Fenster sind eine günstige Maßnahme zur Lüftung, da sie bereits eingebaut sind.
- Abluftventilatoren sind kostengünstig zu installieren. Der Volumenstrom kann, unabhängig von der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen sowie den Umgebungsbedingungen, gezielt auf die benötigten Volumenströme (ca. 800 m³/h) eingestellt werden.
- Da die Außenluft oft kühler als die Raumluft ist, kann die thermische Auftriebsströmung im Raum meist unterstützend zur Lüftung genutzt werden (Quellluftprinzip).
- Fenster und Ventilatoren sind leicht „einzustellen“, dadurch ist die Nutzerakzeptanz hoch.

Nachteile sind:

- Eine Quellluftströmung kann bei großer Personenanzahl (z. B. bei Schulklassen) zu sehr großen Auftriebsvolumenströmen führen. Die Verdrängungsströmungsform kann dann bei zu geringem Außenluftvolumenstrom nicht aufrechterhalten werden.
- Auch die Ventilator-unterstützte Fensterlüftung arbeitet meist ohne Luftfilter. Dadurch wird die Feinstaubbelastung im Raum durch Lüftung erhöht.
- Eine gezielte Lufterwärmung oder -kühlung kann mit der Fensterlüftung nicht realisiert werden. Die Temperierung der nachströmenden Außenluft muss mit üblichen Heiz- oder Kühleinrichtungen im Raum erfolgen.
- Eine Wärmerückgewinnung erfolgt nicht. Ökologisch ist auch diese Form der Fensterlüftung negativ zu bewerten, da die Lüftungswärmeverluste hoch sind und CO₂-Bilanz negativ ist⁴.

⁴ M. Kremer, K. Rewitz, D. Müller, Bewertung der Wärmerückgewinnung für die maschinelle Belüftung von Klassenräumen, White Paper RWTH-EBC 2021-005, Aachen, 2021, DOI: 10.18154/RWTH-2021-07252

- Zu seltenes Öffnen von Fenstern führt zu schlechter Raumlufthqualität. Zudem passt sich der Mensch schnell an eine schlechte Luftqualität an und bemerkt dann nicht mehr, dass gelüftet werden soll. Die Gefahr der Fehlbedienung ist hoch, da Fenster oft auch aus Komfortgründen geschlossen werden. In diesem Fall kann wegen fehlender Zuluft durch den Abluftventilator kein Volumenstrom mehr gefördert werden. Im ungünstigen Fall wird eine Querkontamination aus anderen Räumen z. B. durch offene Türen erzeugt.
- Der Komfort im Raum kann deutlich negativ beeinflusst werden, da thermisch unbehagliche Zustände bei großen Temperaturunterschieden (Sommer und Winter) auftreten können.
- Bei geöffnetem Fenster können Schallprobleme auftreten, da dann die Schalldämmung des Fensters aufgehoben ist. Durch die im Allgemeinen nicht schallgedämpften Ventilatoren können zusätzlich hohe Schallpegel verursacht werden.

Sicherer Betrieb:

- Ventilator-unterstützte Fensterlüftung soll nur von berechtigten Personen ein- oder ausschaltbar sein.
- Eine Ventilator-unterstützte Fensterlüftung soll über eine Volumenstrommessung verfügen, um den geforderten Außenluftvolumenstrom von ca. 800 m³/h gezielt einstellen zu können.
- Bei geschlossenen Fenstern ist die Nachströmung gestört. Nachströmöffnungen mit Filterung werden empfohlen.
- CO₂-Sensoren („Ampeln“) können den Nutzer an das notwendige Lüften des Raumes erinnern.

4. Raumlufthtechnische Anlagen (RLT) mit Wärmerückgewinnung (WRG)

RLT- Anlagen versorgen Räume/Gebäude zentral oder dezentral über die Zuluft mit aufbereiteter (z. B. gefilterter, temperierter oder be- und/oder entfeuchteter) Außenluft. Gleichzeitig wird die Abluft aus Räumen/Gebäuden abgeführt. Über die Wärmerückgewinnung wird die Abwärme der Abluft zu etwa 70 bis 80 % auf die Außenluft übertragen.

Vorteile sind:

- Der Volumenstrom (ca. 800 m³/h) kann unabhängig von der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen definiert eingestellt werden.

- Da die Außenluft oft kühler als die Raumluft ist, kann die thermische Auftriebsströmung im Raum unterstützend genutzt werden, wenn die Zuluft im Bodenbereich impulsarm eingebracht wird, zumal eine Kühlung der Zuluft möglich ist (kontrollierte Quellluft).
- Da sowohl Zu- als auch Abluft kontrolliert dem Raum zu- bzw. abgeführt wird, ist die Lüftungsfunktion nutzerunabhängig gewährleistet. Eine Fehlbedienung ist kaum möglich, da eine RLT-Anlage nicht durch den Nutzer eingestellt werden muss und so automatisch für die richtigen Raumluftparameter sorgt.
- Dezentrale Be- und Entlüftungsanlagen sind in den zu belüftenden Räumen leicht nachrüstbar. Die Geräte sind betriebsfertig und benötigen lediglich zwei Kernbohrungen oder einen Fenstertausch zur Integration der Zu- und Abluftführung.
- In zentralen RLT-Anlagen können bei Bedarf sämtliche Luftbehandlungsfunktionen sicher ermöglicht werden.
- Durch die Wärmerückgewinnung und eine Befeuchtung auf der Abluftseite kann eine indirekte adiabatische Kühlung bei zentralen RLT-Anlagen realisiert werden. Ohne Kältemaschine ist damit im Sommer eine ökologische Kühlung des Raumes durch Wasserverdunstung möglich.
- Durch die Nutzung von Wärme- und Feuchterückgewinnern kann die Raumluftfeuchtigkeit im Winter angehoben werden.
- Der Außenluftvolumenstrom wird gefiltert. Hierdurch wird die Feinstaubbelastung im Raum/Gebäude deutlich reduziert.
- Die Zuluft wird temperiert. Dadurch wird der thermische Komfort im Raum erhöht.
- Durch die Wärmerückgewinnung wird die Ökologie verbessert. Bei einer RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung (Volumenstrom 1.000 m³/h, z. B. für einen Klassenraum) werden pro Jahr mit Berücksichtigung der grauen Emissionen zur Herstellung der RLT-Anlage rund 1 Tonne CO₂-Emissionen vermieden⁵.
- RLT-Anlagen sind mit Schalldämpfern ausgestattet,

Nachteile sind:

- RLT-Anlagen sind nicht direkt durch den Nutzer „einzustellen“, dadurch ist die Nutzerakzeptanz geringer.
- RLT-Anlagen kosten mehr als die zuvor genannten Verfahren.

⁵ Kaup, C. Bewertung der Wärmerückgewinnung mit raumluftechnischen Geräten in Schulen und vergleichbaren Räumen versus Fensterlüftung, HLH BD. 73 (2022) Nr. 01-02

- Zentrale RLT-Anlagen sind nur selten nachrüstbar. Sie werden deswegen vorzugsweise in neu zu errichtenden Gebäuden eingebaut.
- Dezentrale RLT-Anlagen benötigen entsprechende Nutzfläche im Raum.

Sicherer Betrieb:

- Regelungstechnisch muss gesichert sein, dass die RLT-Anlage bei einer Klassenraumnutzung automatisch eingeschaltet wird.
- Die RLT-Anlage sollte über eine Volumenstrommessung verfügen, um die geforderten Außenluftvolumenströme von ca. 800 m³/h gezielt einstellen zu können.

Zusammenfassung

Grundsätzlich sind alle vier Verfahren anwendbar, um die Aerosolbelastung im Raum zu reduzieren und einer Infektionsübertragung durch Aerosole entgegenzuwirken. Allerdings stößt die Fensterlüftung an ihre Grenzen, wenn die Räume sehr groß werden und aufgrund der Raumkubatur eine raumerfüllende Lüftung nicht mehr gewährleistet oder wegen entsprechender Anforderungen (nicht oder nur teilweise zu öffnende Fenster etc.) eine Lüftung nur mit RLT-Anlagen realisiert werden kann.

Die Autoren*innen des Arbeitskreises Klimatechnik sehen dabei die Lüftung in allen Fällen nicht als Alternative zum Tragen von Masken, sondern additiv hierzu (AHA + L). Dabei kann die Lüftung einen wertvollen Beitrag leisten, der in einer etwa vergleichbaren Größenordnung zum Tragen von Masken bewertet wird, insbesondere, wenn die Lüftung nicht vom Nutzer beeinflusst werden kann. Denn Masken können abgesetzt und Fenster geschlossen werden, aber eine funktionierende maschinelle Lüftungsanlage wirkt automatisch.

Die sachkundige Anwendung von Luftreinigern als „schnelle“ Lösung im Bestand empfehlen die Autoren*innen dieses Papiers nur in Kombination mit der Fensterlüftung und CO₂-Sensoren, um auch die CO₂-Belastung im Raum zu reduzieren. Bei der Kombination eines Luftreinigers und der Fensterlüftung muss darauf geachtet werden, dass die eingeströmte Außenluft nicht durch den Luftreiniger am Boden angesaugt wird, da dessen Wirkung dann eingeschränkt ist. Beim Einsatz von Luftreinigern in Kombination mit RLT-Anlagen ist darauf zu achten, dass sich die beiden Systeme nicht gegenseitig beeinflussen und somit in ihrer Wirkung abgeschwächt werden, weil beispielsweise die gereinigte Luft zu den Abluftöffnungen der RLT-Anlage geleitet wird. Kurzschlüsse sind generell zu vermeiden.

Als nachhaltige, relativ schnell zu realisierende und dauerhafte Lösung im Bestand, auch nach dieser Pandemie, empfehlen die Autor*innen insbesondere den Einsatz von dezentralen RLT-Anlagen mit Wärmerückgewinnung. Zentrale RLT-Anlagen mit

Wärmerückgewinnung sollten künftig bei allen Neubauten oder bei Sanierungen eingeplant werden.

Inwieweit in Zukunft auch bei Schulen eine Kühlung notwendig wird, muss sich z. B. bei fortschreitender Digitalisierung und entsprechenden Wärmelasten zeigen. Eine ausschließliche Fensterlüftung ist nach Erachten des Arbeitskreis Klimatechnik zukünftig nicht mehr zielführend, da sie nicht in der Lage ist, eine gute Luftqualität dauerhaft und kontinuierlich sicherzustellen und außerdem keine Wärmerückgewinnung ermöglicht - eine Maßnahme, die einen sinnvollen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele beitragen kann.

Abschließend appelliert der Arbeitskreis Klimatechnik an die Entscheidungsträger, Maßnahmen zur Lüftung kombiniert mit Wärmerückgewinnung konsequent zu fordern und zu fördern.

30.01.2022

- Prof. Dr.-Ing. Karl-Josef Albers, Hochschule Esslingen
- Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting, Fachhochschule Münster
- Prof. Dr.-Ing. Ulrich Busweiler, Technische Hochschule Mittelhessen
- Prof. Dr.-Ing. Manfred Casties, Hochschule Coburg
- Prof. Dr.-Ing. Arno Dentel, Technische Hochschule Nürnberg
- Prof. Dr.-Ing. Ulrich Eser, Hochschule Esslingen
- Prof. Dr.-Ing. Christian Fieberg, Westfälische Hochschule Gelsenkirchen
- Prof. Dr.-Ing. Ulrich Finke, Berliner Hochschule für Technik
- Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke, Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Klaus-Uwe Gollmer, Umwelt-Campus Birkenfeld, Hochschule Trier,
- Prof. Dr.-Ing. Holger Hahn, Fachhochschule Erfurt
- Prof. Dr.-Ing. Michael Haibel, Hochschule Biberach
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
- Prof. Dr.-Ing. Felix Hausmann, Technische Hochschule Köln
- Prof. Dr.-Ing. Andreas Henne, Technische Hochschule Köln

- Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup, Umwelt-Campus Birkenfeld, Hochschule Trier
- Prof. Dr.-Ing. Jens Knissel, Universität Kassel
- Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Külpmann, Hochschule Luzern
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Maurer, Technische Hochschule Mittelhessen
- Prof. Dr.-Ing. Beate Massa, Hochschule Trier
- Prof. Dr.-Ing. Ulrich Pfeiffenberger, Technische Hochschule Mittelhessen
- Prof. Dr.-Ing. Mario Reichel, Westsächsische Hochschule Zwickau
- Prof. Dr.-Ing. Martin Renner, Hochschule München
- Prof. Dr.-Ing. Sylvia Schädlich, Hochschule Ruhr West
- Prof. Dr.-Ing. Uwe Schnieder, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
- Prof. Dr.-Ing. Volker Siegismund, DHBW Mosbach
- Prof. Dr.-Ing. Achim Trogisch, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Winkler, Technische Hochschule Mittelhessen

7.1.2. Systemkriterien zur Raumbelüftung

	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Luftaustausch	vom Dichteunterschied und Winddruck abhängig	unterstützt durch kontrollierten Abluftstrom	Zu- und Abluft werden maschinell und kontrolliert eingebracht	Kein Luftaustausch, da Umluftbetrieb (keine Frischluft, keine Reinigung von Gasen)
Temperaturabhängigkeit	hoch, da Dichteunterschied von der Temperaturdifferenz abhängt	mittel, da Abluftventilator unterstützt	gering bis nicht vorhanden da Menge mechanisch kontrolliert und temperiert	Keine
Regelung	Manuell, Fenster zu, Kipp oder offen	Manuell, Fenster zu, Kipp oder offen	Ventilatoren an/aus oder drehzahlregelt (z. B. nach CO ₂ -Konzentration)	Meist manuell nach Belegung
	Stoß oder Dauerlüftung	Ventilator an/aus oder drehzahlregelt		Luftmenge teilweise nach CO ₂ geregelt
Eingriff durch Nutzer	wenn Fenster zu öffnen hoch	wenn Fenster zu öffnen hoch	gering, da meist Bedienung automatisch	Je nach Belegung nötig
Fehlverhalten durch Nutzer	Leicht möglich, da Fenster geschlossen werden, wenn Komfort unbehaglich	Leicht möglich, da Fenster geschlossen werden, wenn Komfort unbehaglich	kaum möglich, da Bedienung durch Nutzer meist gesperrt oder Bedienung durch Nutzer in klaren Grenzen definiert sind	Möglich durch falsche Einstellung (Stufen)
	Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern nicht mehr gegeben	Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern nicht mehr gegeben - Luftaustausch zu Räumen möglich (Querkontamination)		
Nutzerakzeptanz	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich	mittel, da Nutzer meist keine oder wenige Eingriffs-möglichkeit haben	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich
	und niedrig, wenn der Komfort unbehaglich wird (tiefe Temp.)	und niedrig, wenn der Komfort unbehaglich wird (tiefe Temp.)		
Nachströmung	Durch geöffnetes Fenster, wenn nicht geschlossen	Durch geöffnetes Fenster, wenn nicht geschlossen	kontrolliert durch Zuluftventilator	Systembedingt keine
Lufterwärmung	Keine bzw. durch statische Heizflächen im Raum	Keine bzw. bedingt durch statische Heizflächen im Raum	Vorwärmung durch WRG und bei Bedarf durch stat. Heizflächen im Raum oder Erwärmer in der RLT	Keine, bzw. nur durch Abwärme
Luftkühlung	Keine bzw. durch statische Kühlflächen im Raum (meist nicht vorhanden)	Keine bzw. bedingt durch statische Kühlflächen im Raum (meist nicht vorhanden)	Kühlung durch WRG möglich und bei Bedarf durch stat. Kühlflächen im Raum oder Kühler in der RLT Kühlung durch indirekte Verdunstungskühlung über die WRG ohne Kältemaschine möglich	systembedingt keine Kühlung
Wärmerückgewinnung	Keine	Keine	bis 80 % RWZ ökologisch sinnvoll	nicht erforderlich, da Umluft
Ökonomie	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht	Bezogen auf WRG sehr positiv, insbesondere da die Wärme- und Kälteversorgung verringert werden können Schlecht wenn die komplette RLT durch die WRG "finanziert" werden soll ergeben sich meist negative Kapitalwerte (Kosten entstehen)	positiv, da Wärme nicht beeinflusst wird
	Weitere Kosten sind nicht vorhanden, da Fenster sowieso vorhanden sind	Schlechter als reine Fensterlüftung, da Abluftanlage investiert werden muss		
Ökologie	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht	Sehr gut, da die CO ₂ -Bilanz trotz RLT-Anlage positiv ist CO ₂ -Einsparung rund 1 to/a pro Klassenraum (ca. 1.000 m³/h)	Neutral, da keine Wärme oder Feuchte beeinflusst wird (nur graue CO ₂ -Emission)
	keine CO ₂ -Reduktion	keine CO ₂ -Reduktion		
zusätzliche Kosten	Keine	ca. 2.000 €	ca. 13.000 €	ca. 4.000 €
Komfort	eingeschränkt, da im Winter unbehandelte Luft einströmt	eingeschränkt, da im Winter unbehandelte Luft einströmt	gegeben, da (Vor)temperierung der Zuluft	kein Einfluss auf Komfort
	Zugerscheinungen insbesondere bei kalter Luft wahrscheinlich	Zugerscheinungen insbesondere bei kalter Luft gegeben		Zugerscheinungen möglich, da Einpunktquelle
Filterung	Keine	Keine (bei Verwendung von Abluft ist normativ keine Zuluftfilterung erforderlich)	Ausreichend - nach VDI und Normen ISO ePM1 60 % erforderlich	Sehr gut, meist HEPA min. H13
Lüftungs-effektivität	eingeschränkt, da Luftaustausch unkontrolliert	hoch, da meist Quelläftung vorherrscht	sehr hoch, da Quelläftung immer gewährleistet werden kann (Untertemperatur) bei Bedarf ist auch Mischlüftung kontrolliert möglich	niedrig da Mischlüftung (Einpunktquelle im Raum, keine Untertemperatur möglich)
		(bei Untertemperatur) je nach Außenlufttemp. kann Mischlüftung entstehen		
CO ₂ -Reduktion im Raum	Bei geöffnetem Fenster je nach Temperatur gut	Gut, je nach Luftmenge	Gut, je nach Luftmenge	Schlecht, CO ₂ -Reduktion systembedingt nicht möglich
Schalldämpfung	nur bei geschlossenem Fenster (keine Lüftung!)	nur bei geschlossenem Fenster (keine Lüftung!)	durch raumorientierte Schalldämpfer gut	nur bei raumorientierten Schalldämpfern gut
		Bei geschlossenem Fenster Querkontamination möglich		Schalldämpfer werden oft nicht berücksichtigt, dann schlecht
Brandschutz	sehr gut, da keine zus. Brandlasten	schlecht, da zus. Brandlasten durch Kunststoffe entstehen	sehr gut bei zentralen Anlage	mittel durch geringe Erhöhung der Brandlasten (Verwendung von Metallen)
			mittel bei dezentralen Anlagen durch geringe Erhöhung der Brandlasten (Verwendung Metalle)	schlecht bei Verwendung von Kunststoffen

7.1.3. Vergleich zentraler und dezentraler Systeme

1. Lufttransport	Zentral*)	Dezentral**)	Kombination***)
Verteilsystem	verzweigt	vernachlässigbar	verzweigt
Flächenbedarf Verteilsystem	hoch	vernachlässigbar	hoch
Flächenbedarf Anlagen	hoch (Technikzentrale) gering (Dachzentrale)	gering (Nutzfläche)	hoch (Beides)
Eingriff in die Fassade	vernachlässigbar	hoch	gering bzw. vernachlässigbar
Lufteinbringung	variabel / gut großflächig	eingeschränkt / schwierig partiell (Fassadenorientiert)	variabel / gut / großflächig
Wetterschutz von Ansaug und Ausblas	geringe Probleme	z.T. beträchtliche Probleme	geringe Probleme
Schallschutz	leicht realisierbar	aufwendig lösbar	Aufwändiger Baukonstruktionen

2. Luftkonditionierung	Zentral	Dezentral	Kombination
Klimatisierungskomfort	Vollklimatisierung möglich	nur thermische Luftbehandlung	Vollklimatisierung möglich
Alternative Verfahren	z.B. sorptionsgestützte Klimatisierung möglich	nicht möglich	möglich
Luftfiltration	uneingeschränkt	nur eingeschränkt	uneingeschränkt
Lufterwärmung	uneingeschränkt	uneingeschränkt	uneingeschränkt
Luftkühlung	uneingeschränkt	eingeschränkt möglich / keine hohen Leistungen	uneingeschränkt
Luftbefeuchtung	uneingeschränkt	kaum möglich	uneingeschränkt
Luftentfeuchtung	uneingeschränkt	eingeschränkt möglich	uneingeschränkt
Wärmerückgewinnung (WRG)	uneingeschränkt	wirtschaftlich kaum möglich	uneingeschränkt
Luftqualität (Ansaugung)	hoch (zentrale Außenluft optimiert)	sehr verschieden (abh. vom Ansaugort)	hoch (zentrale Außenluft)
Lüftungseffektivität	hoch	durch Kurzschlüsse zum Teil geringe Effektivität	hoch
Effektivität der Raumdurchströmung	hoch	geringe Effektivität	hoch
Schadstoffübertragung zwischen den Räumen	vernachlässigbar	über Fassade möglich (Kurzschlüsse)	vernachlässigbar
Nutzung der Gebäude- speichermassen	Nur Wände und Boden bzw. unverdeckte Raumdecke möglich	Boden ev. eingeschränkt möglich	möglich

3. Energetische Kriterien	Zentral	Dezentral	Kombination
---------------------------	---------	-----------	-------------

Druckverlust des Verteilsystems	hoch	vernachlässigbar	mittel
Wirkungsgrad der Ventilatoren	hoch	gering	mittel
Energieaufwand Kühlen	gering	hoch	mittel
Energieaufwand Heizen	gering (wirtschaftliche Nutzung WRG)	hoch	mittel

4. Nutzung

Zentral

Dezentral

Kombination

Einstellbare Bedienung	homogen / heterogen	heterogen	homogen / heterogen
Zu- und Abschaltung	gesamter Bereich	individuell	gesamt und individuell
Abrechnung / Verbraucherzuordnung	nur pauschal möglich	leicht möglich	pauschal und individuell
Baulicher Aufwand	hoch (Technikzentrale und Verteilung)	gering / hoher Aufwand Fassadengestaltung	sehr hoch
Erweiterungsmöglichkeiten	schwierig	leichter möglich / Modulbauweise	leicht möglich
Nutzung des Systems zur Entrauchung	möglich	nicht möglich	möglich

5. Wartung und Betrieb

Zentral

Dezentral

Kombination

Wartung und Instandhaltung	geringer Aufwand	sehr hoher Aufwand	sehr hoher Aufwand
Zugänglichkeit	leicht möglich (zentral)	u.U. aufwendig	möglich
Funktionskontrolle	leicht möglich	hoher Aufwand	möglich
Kondensatabfuhr	leicht realisierbar	aufwendig lösbar	leicht realisierbar
Aufwand für Brandschutz	höher (Brandabschnitte)	gering	höher
Anlagensicherheit	große Flächenwirkung	räumlich begrenzt	große Flächenwirkung

6. Regelungsaufwand

Zentral

Dezentral

Kombination

Aufwand für Energiemanagement	gering	hoch	mittel
Akzeptanz der Nutzer	geringer	höher	höher
Verhalten im Brandfall	Rauchsensoren Anlage schaltet ab	aufwendig realisierbar	Rauchsensoren Anlage schaltet ab
Sollwertvorgabe lokal	nur pro Zone	Temperatur / Betriebszeit	Temperatur / Betriebszeit

7. Medienversorgung

Zentral

Dezentral

Kombination

Pumpenwarmwasser	konzentriert	verzweigt	konzentriert oder/und verzweigt
Pumpenkaltwasser	konzentriert	verzweigt	konzentriert oder/und verzweigt
Kondensatableitung	konzentriert	verzweigt	konzentriert
Elektrischer Strom	konzentriert	verzweigt	verzweigt
Verteilverluste	gering	hoch	gering

Autarke Wärmeerzeugung	leicht möglich	nicht möglich	leicht möglich
------------------------	----------------	---------------	----------------

8. Hygiene	Zentral	Dezentral	Kombination
Hygienischer Betrieb	leicht realisierbar	sehr schwer realisierbar	je nach Betrieb
Filtertechnik	hochwertig (mehrstufig)	geringere Qualität	hochwertig
Filterstandzeit	hoch (große Fläche)	gering	hoch
Verschmutzung der Systeme	gering	möglich	geringer
Vermeidung Durchfeuchtung Außenfilter	konstruktiv möglich	nicht möglich	konstruktiv möglich
Hygienevorschriften	Stand der Technik	bedingt möglich	Stand der Technik
Aufwand Hygienekontrollen	gering	sehr hoch	mittel

*) Zentrale RLT-Anlagen mit zentraler Außenluftaufbereitung und einer kanalbasierten Luftverteilung im Gebäude

**) Dezentrale Einheiten im Raum mit einem Außenluftanschluss (Fassadenorientiert)

***) Zentrale RLT-Anlagen mit zentraler Außenluftaufbereitung und einer kanalbasierten Luftverteilung kombiniert mit raumbasierten dezentralen thermischen Nachbehandlungseinheiten ohne Außenluftanschluss

7.2. Checkliste Betreiben von RLT-Anlagen

In den folgenden Abschnitten sind die wichtigsten Hinweise für einen fachgerechten und energiesparenden Betrieb der gesamten RLT-Anlage und der einzelnen Anlagenkomponenten in Form einer Checkliste zusammengefasst. Sie sollen dem Betriebspersonal als Anhalt für eine systematische Kontrolle der eigenen Anlagen dienen. Für weitergehende Überprüfungen sei auf die AMEV-Empfehlung Wartung und die VDI 6022 (Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte) verwiesen.

7.2.1. Gesamtanlage

- Nur die unbedingt notwendigen Anlagen und Anlagenteile betreiben. Überprüfen, ob die vorhandenen RLT-Anlagen im Hinblick auf die derzeitige Nutzung überhaupt erforderlich sind. In Zweifelsfällen Anlagen probeweise stilllegen.
- Außerhalb der Nutzungszeiten RLT-Anlagen nur betreiben, falls keine stationäre Grundheizung vorhanden ist und Frostgefahr besteht.
- Betriebszeiten der Anlagen den wirklichen Nutzungszeiten der Räume anpassen, z. B. Eingabe von Wochenbelegungsplänen und Nutzungsanpassungen wie „frühestens eine Stunde vor Raumnutzung einschalten und spätestens eine halbe Stunde danach ausschalten“.
- Außerbetriebnahme der gesamten Anlagen, z. B. an Feiertagen oder während der Ferien (Ausnahmen z. B. bei der Aufrechterhaltung bestimmter

Mindestraumluftzustände, Frostgefahr oder bei der Abführung von Stofflasten usw.).

- Laufzeiten der Anlagen auf ein Minimum begrenzen, z. B. durch Zeitschaltungen oder Bewegungsmelder (bei Bedarf von Hand wieder einschaltbar).
- Zuluftvolumenstrom dem jeweiligen Bedarf anpassen (z. B. durch CO₂-Regelung).
- Reduzieren der Außenlufrate bei hohen Außentemperaturen im Kühlbetrieb und bei niedrigen Außentemperaturen im Heizbetrieb (soweit nicht automatische Klappenregelung); Mindestaußenlufrate beachten.
- Kontrolle der Raumtemperatur und ggf. Raumfeuchte in bestimmten Testräumen zu gleichbleibenden Zeiten; gemessene Werte ablegen.
- In Räumen ohne besondere Anforderungen sind Anlagen zur Befeuchtung und Kühlung – soweit möglich – ganz außer Betrieb zu nehmen.
- Zulassen größerer Toleranzen für die Luftbehandlung; Be- bzw. Entfeuchtung weitgehend reduzieren; Bereich der relativen Feuchte zwischen 35% und 65% voll ausschöpfen; kein Kühlbetrieb bei Raumtemperaturen unter 26 °C (Ausnahmen bei Räumen mit besonderer technologischer Anforderung wie z.B. spezielle Labore sowie Daten- und Serverräume).
- Funktionskontrolle der einzelnen Zeitschaltungen (bei Zeitschaltuhren richtige Uhrzeit und Wirkrichtung); Überprüfen der eingestellten Schaltzeiten und der an den Regelgeräten eingestellten zugehörigen Sollwerte.
- Funktionskontrolle bzw. Einrichtung des Sonnenschutzes so, dass dieser an sonnigen Sommertagen auf der Ostseite der Gebäude geschlossen wird (wegen morgendlicher Sonneneinstrahlung auch nachts), sofern möglich in Verbindung mit Wind- und Sonnenlichtsensoren; auf den Schattenseiten sollen die Sonnenschutzvorrichtungen wieder öffnen, um einen erhöhten Lichtstromverbrauch zu vermeiden; durch Sonneneinstrahlung aufgewärmte, ungenutzte Dachräume durchlüften.
- Fenster in klimatisierten Räumen geschlossen halten; unkontrollierten Luftwechsel durch Schließen von Türen sowie Abdichten von unbenutzten Kaminen und Entlüftungsöffnungen auf ein Mindestmaß beschränken.

7.2.2. Ventilatoren

- Sichtkontrolle auf Beschädigungen, Undichtigkeiten, Korrosion und sonstige Mängel oder Veränderungen vornehmen.
- Funktionsprüfung vornehmen, Schalter (0 – EIN – AUTOMATIK o. ä.) betätigen; Reparaturschalter prüfen; falls vorhanden Störungsüberwachung (z. B. Druckschalter) prüfen.

- Ventilatorinnenteile bei Verschmutzung reinigen (mit Staubsauger oder Heißwasserreiniger).
- Schwingungsverhalten überprüfen; Laufradveränderungen kontrollieren; Schwingungsdämpfer auf Bruch, Abriss, Verklemmen prüfen.
- Flexible Anschlussstutzen auf freies Spiel und Dichtigkeit prüfen.

7.2.3. Spannung, Abrieb, Bruch und Fluchtung am Keilriementrieb prüfen; Fluchtung durch Band oder Holzplatte feststellen; Motor auf dem Schlitten wieder festziehen; überdehnte oder defekte Riemen austauschen (immer nur ganzen Riemensatz wechseln); Riemenschutz nach Arbeiten wieder montieren!

- Lager auf Geräusche durch Schwingungsübertragung über Schraubendreher prüfen (Lagerprüfgeräte nur bei sehr großen und wichtigen Anlagen); Lager nach Herstellerempfehlung schmieren.
- Drallschaukeln, Drosseleinbauten, falls vorhanden, auf richtige Stellung und evtl. Bewegung prüfen, Gestängelager fetten.

7.2.4. Motoren

- Sichtkontrolle vornehmen; Verschmutzung, Schäden, Veränderungen, Korrosion feststellen.
- Funktionsprüfung in Zusammenhang mit angetriebenem Aggregat (siehe Prüfung Ventilator) vornehmen; Schalterstellungen prüfen.
- Lager auf Geräusche prüfen; nach Herstellerempfehlung fetten; Motorlüfterrad prüfen, reinigen.
- Kupplungen (falls vorhanden) und Kupplungsschutz zum angetriebenen Aggregat prüfen.
- Bei Kommutatormaschinen Bürstenverschleiß kontrollieren, Laufruhe genau beobachten, Bürsten und Kollektor reinigen, Bürsten evtl. erneuern.
- Stromaufnahme kontrollieren (falls möglich nur in größeren Abständen).

7.2.5. Wärmeübertrager

- Sichtkontrolle vornehmen; Verschmutzung, Schäden, Korrosion, sonstige Veränderungen feststellen.
- Reinigen mit Druckluft (gegen Luftströmung), Industriestaubsauger (beidseitig) oder Heißwassergerät (beidseitig).
- Korrosionsansätze mit Schutzanstrich behandeln.
- Vor- und Rücklauf des Heiz-/Kühlmediums prüfen. Schmutzfänger reinigen, Register entlüften.

- Bei Luftkühlung Tropfenabscheider reinigen; Kondenswasserwanne und Kondenswasserablauf reinigen.
- Absperrventile betätigen, Spindeln fetten, Dichtigkeit prüfen.
- Bei Direktverdampferkühlern auf Vereisung achten (Eisansatz abtauen lassen und Luftdurchsatz prüfen).
- Bei Elektrolufterhitzern Zunder und Korrosionsansatz entfernen; Sicherheitseinrichtungen (Überhitzungsthermostat und Luftmangelsicherung prüfen).

7.2.6. Filter

- Durch Sichtkontrolle Differenzdruck, ungewöhnliche Verschmutzung, Filtersitz, Filterabriss prüfen; ggf. Filter austauschen oder regenerierbares Filtermedium reinigen.
- Korrosionen des Gehäuses und der Dichtleisten feststellen und beseitigen.
- Soweit vorhanden: Funktionskontrolle der Vorheizung der Filterstufe 1.
- Falls kein Differenzdruckmanometer vorhanden, nachrüsten oder nachrüsten lassen!
- Max. zulässigen Differenzdruck am Manometer kennzeichnen.
- Einwegfilter auswechseln; regenerierbare Filter auswaschen; Filterkammer reinigen.
- Bei Rollbandfiltern, Funktion der Steuerung prüfen, Sollwert evtl. nachstellen; Filtertransport prüfen; Spanndrähte und Filterführung prüfen.
- Ersatzfilter nachbestellen.
- Arbeiten an Spezialfiltern für Isotope, Toxide oder an Elektrofiltern durch Wartungsfirmen abwickeln oder nach spezieller Einweisung ausführen.
- Arbeiten an Elektrofiltern nur nach besonderer Wartungsanleitung des Herstellers und Sicherungen im Hochspannungsteil vornehmen.

7.2.7. Luftbefeuchter

Bei Luftbefeuchtern ist in besonderem Maße die Beachtung der Hygienemaßnahmen gemäß VDI 6022 sicherzustellen. Insbesondere wird empfohlen:

- Beprobung des verwendeten Trinkwassers (Anforderungen gem. VDI 3803, Blatt 1, Anhang A1).
- Die Schauöffnungen der Befeuchter müssen (mit Ausnahme von Dampf-befeuchtern) nach außen verdunkelt betrieben werden.

- Bei Stillstandzeiten oder entsprechenden Phasen ohne Feuchteanforderung von mehr als 48 h muss der Befeuchter leergefahren und anschließend trockengewischt werden.
- Reinigungspersonal ist mit Atemmaske (Filterklasse P3) auszustatten.

Sprühbefeuchter

- Sichtkontrolle vornehmen; auf gleichmäßiges Sprühen aller Düsen achten; Kalkablagerungen und Korrosion (besonders im Tropfenabscheider) beobachten; ggf. Düsen reinigen oder austauschen
- Hygienekontrolle gemäß VDI 6022 (z. B. Keimzahlmessung des Befeuchterwassers, Waschen und Desinfizieren der Wanne).
- Abschlammvorrichtung und Schmutzfänger prüfen, ggf. reinigen.
- Schwimmerschaltung, Nachspeisung, Wasserniveau prüfen.
- Düsen, Düsenstöcke, Gleichrichter und Tropfenabscheider reinigen; Ab- und Überlauf reinigen, Umwälzpumpenansaugung und Pumpe reinigen.
- Pumpendruck prüfen.
- Dosierung oder sonstige Wasserbehandlungsanlage prüfen.

Dampfbefeuchter

- Durch Sichtkontrolle Dampfverteilerdüsen auf gleichmäßiges Arbeiten und Ablagerungen, Verschmutzungen, Korrosion prüfen.
- Hygienekontrolle gemäß VDI 6022 (z. B. halbjährliches Waschen mit Reinigungsmittel, Ausspülen und Austrocknen der Befeuchterkammer).
- Dampfventil einer Funktionskontrolle unterziehen; Kondensatableiter und Absperrventile prüfen und betätigen.
- Bei Kleindampferzeuger Zylinder auf Ablagerung prüfen; evtl. austauschen; Magnetventile für Wasserzulauf, Wasserstand, Stromaufnahme registrieren.
- Funktionskontrolle der Abschlammautomatik und der Wasseraufbereitung.
- Befeuchtungsregelung und Sicherheitsbegrenzung einer Funktionskontrolle unterziehen.

7.2.8. Jalousieklappen

- Sichtkontrolle auf Verschmutzung und Korrosion vornehmen; ggf. reinigen.
- Gängigkeit der Klappe prüfen.
- Lager schmieren; Gestänge auf Gängigkeit prüfen, Gestängelager einfetten.
- Dichtigkeit der Klappe prüfen; gleich-/gegensinnigen Lauf von Außenluft- und Fortluft-Umluftklappe beobachten.
- Außen- und Fortluftklappe bei abgeschalteter Anlage geschlossen halten.

7.2.9. Brandschutzklappen

- Klappenstellung prüfen; Übereinstimmung von Stellung und Stellungsanzeige prüfen. Endschalter überprüfen; optische Anzeige prüfen.
- Hebel, Feder, Haltevorrichtung prüfen; Probeauslösung vornehmen.
- Auslöseelement evtl. erneuern.
- Wetterschutzgitter von Laub und Schmutz befreien; Korrosionsansätze beseitigen.
- Luftdurchlässe (vor allem Abluftgitter) reinigen.

7.2.10. Luftleitungen, Kammern, RLT-Gerätetüren

- Sichtkontrollen vornehmen.
- Hygienekontrolle gemäß VDI 6022.
- Luftleitungen – soweit zugänglich – reinigen.
- Kammern reinigen und bei Korrosionsansatz streichen.
- Luftkammertüren und Revisionsluken auf Dichtigkeit prüfen; Verschlüsse prüfen.

7.2.11. Kälteanlagen

- Arbeiten an Kälteanlagen nur dann ausführen, wenn Fachwissen vorhanden, sonst Wartungsfirma anfordern.
- Luftgekühlte Kondensatoren von Schmutz und Korrosion befreien (siehe Wärmeübertrager).
- Wassergekühlte Kondensatoren spülen; evtl. im Umlaufverfahren mit Säure reinigen/entkalken und anschließend neutralisieren.
- Kühlturm von Kalkablagerungen und Algen befreien; Funktion der Sprühdüsen prüfen; gleichmäßiges Durchfluten des Füllkörpers beobachten; Heizung für Rückkühlwasser im Sommer abschalten; Kühlturm im Herbst „winterfest machen« oder Anlage außer Betrieb nehmen und Wasser ablassen.
- Bei mehreren Kälteanlagen Folgeschaltungen kontrollieren.
- Prüfen, ob Kälteanlage außerhalb der Sommermonate (Außenlufttemperatur < 16 °C) außer Betrieb genommen werden kann.

7.2.12. Steuerung, Regelung, Gebäudeautomation

Arbeiten an Steuerungen und Regelungen nur von besonders geschultem Fachpersonal ausführen lassen:

- Mess- und Anzeigegeräte (Manometer, Thermometer, Niveaumessgerät) auf Anzeigegenauigkeit prüfen.
- Durchflussmessgeräte auf Funktion prüfen. Einfache Arbeiten und Prüfungen kann eigenes Wartungspersonal regelmäßig ausführen
- Funktionsprüfung durch Betätigen der Betriebsschalter, Lampenkontrollen etc. am Schaltschrank.
- Gelegentliches Prüfen von Lufttemperaturen im Schaltschrank (max. 40 °C).
- Funktionsprüfungen durch Betätigen der Sollwertsteller/Handscharter für Stellantriebe von Klappen und Ventilen.
- Betätigen von Handabsperungen; Schmieren von Ventilspindeln; Abdichten (Nachziehen) von Stopfbuchsen.
- Schmieren von Gestängelagern.
- Prüfen von Pneumatikschläuchen auf Dichtigkeit; prüfen auf dichten Anschluss.
- Funktionsprüfung der Frostschutzanlage vor Winterbeginn vornehmen.

Mängel beeinträchtigen den Betrieb der Anlagen und bedeuten oft Energieverluste. Aus diesem Grunde sollen sie so schnell wie möglich beseitigt werden. Soweit bauliche oder technische Mängel festgestellt werden, die nicht vom Betriebspersonal behoben werden können, ist dies unverzüglich ggf. schriftlich der zuständigen Stelle zu melden.

7.2.13. Checkliste zur systematischen Fehlersuche

In der folgenden Tabelle sind häufig auftretende Fehlerquellen, ihr Erscheinungsbild und die möglichen Ursachen angegeben.

Fehlerart	Auswirkung/Erscheinungsbild	Ursachen
<i>Steuerungs- und elektrotechnische Fehler</i>	<i>Minderleistung von Drehstrom-Antrieben</i>	<i>Ausfall einer Phase bzw. falsche Drehrichtung</i>
	<i>Fehlerhafte Funktion der Regelanlagen</i>	<i>Verdrahtungsfehler</i>
		<i>Falsch angeordnete Messfühler, falsche Wirkungsrichtung von Stellantrieben</i>
		<i>Lockerung der Arretierungen an Stellantrieben</i>
		<i>Veränderung der Messfühlerumgebung</i>
		<i>Defekt von Messfühlern</i>
		<i>Verstellte Sollwerte und Regelparameter</i>
	<i>Auslösen des Motorschutzschalters</i>	<i>Auslösestrom zu niedrig eingestellt</i>
		<i>Ventilator nimmt durch Veränderung des Luftleitungsnetzes zu hohe Leistung auf (z. B. Tür von Kastengerät geöffnet)</i>
		<i>Ausfall einer Phase</i>
	<i>Häufiges Auslösen des Frostschutzes</i>	<i>Frostschutz zu niedrig eingestellt</i>
		<i>Fehler in der Heizmittelversorgung</i>
	<i>Keine Betriebs- oder Störanzeige (Schalttafel)</i>	<i>Defekte Kontrollleuchte</i>
<i>Mechanische und maschinen-technische Fehler</i>	<i>Schneller Verschleiß der Keilriemen</i>	<i>Keilriemen zu schlaff</i>
		<i>Keilriemenscheiben fluchten nicht</i>
		<i>Keilriemen zu schwach dimensioniert</i>
	<i>Laufgeräusche an Ventilatoren und Pumpen</i>	<i>Defekte Lager</i>
		<i>Unwucht an Laufrädern</i>

		<i>Defekte Schwingungsdämpfer</i>
		<i>Verformung am Gehäuse</i>
	<i>Blockieren von Gestängen an Stellantrieben</i>	<i>Verschleiß oder Verrosten von Lagern</i>
		<i>Verbiegen von Gestängen durch äußere Einwirkungen</i>
<i>Strömungs- und anlagentechnische Fehler</i>	<i>Heiz- oder Kühlleistung zu gering</i>	<i>Verstellte Regler</i>
		<i>Verstopfte Schmutzfänger</i>
		<i>Festsitzende Absperrorgane</i>
		<i>Blockierte Motorventile</i>
		<i>Ausfall der Pumpen</i>
		<i>Luftpolster im System</i>
		<i>Minderleistung der Kessel- oder Kälteanlage</i>
		<i>Zu geringe Luftleistung</i>
	<i>Luftleistung zu gering</i>	<i>Schlupf am Keilriemenantrieb</i>
		<i>Blockierte Luftklappen</i>
		<i>Verstopfte Luftfilter</i>
		<i>Verschmutzte Wärmeaustauscher, Luftleitungen und Gitter</i>
		<i>Ausfall einer Phase</i>
		<i>Falsche Drehrichtung der Lüfter</i>
		<i>Verstopfte Düsen</i>
	<i>Verschmutzte Luftfilter</i>	<i>Defekte Widerstandsanzeige</i>
		<i>Defekte Transporteinrichtung bei Rollbandfiltern</i>
	<i>Deformation von Geräten und Luftleitungen durch Unter- oder Überdruck</i>	<i>Verschmutzte Filter</i>
		<i>Blockierte Luftklappen</i>
		<i>Verschmutzte oder verstopfte Gitter und Luftleitungen</i>
	<i>Verschmutzte Geräte und Luftleitungen</i>	<i>Fehlende Luftfilter</i>

		<i>Undichte Luftfilter</i>
		<i>Stark verschmutzte Luftfilter</i>
	<i>Zugbelästigung</i>	<i>Verstellter Zuluft-Minimalbegrenzer</i>
		<i>Zu hohe Raumtemperatur</i>
		<i>Zu geringe Zuluftmenge</i>
		<i>Verstellte Zuluftauslässe</i>
	<i>Befeuchtungsleistung zu gering (Luftwäscher)</i>	<i>Feuchtesollwert zu niedrig eingestellt</i>
		<i>Wäscherdüsen verstopft</i>
		<i>Wäscherwanne verschmutzt</i>
		<i>Feuchtefühler defekt</i>
		<i>Wasseraufbereitung nicht in Funktion</i>
		<i>Pumpendruck zu niedrig</i>
	<i>Befeuchtungsleistung zu gering (Dampfluftbefeuchter)</i>	<i>Stellenantrieb blockiert</i>
		<i>Feuchtesollwert zu niedrig eingestellt</i>
		<i>Dampfleitungen und Düsen verstopft</i>
		<i>Dampfzylinder verkalkt</i>
	<i>Schwitzwasserbildung an Luftleitungen und Rohrleitungen</i>	<i>Zu hohe Raumluftfeuchtigkeit</i>
		<i>Defekte Innenisolierung</i>
	<i>Blockierte Feuerschutzklappen</i>	<i>Vorschriftswidriger Einbau</i>
	<i>Eindringen von Wasser in Geräteteile hinter dem Wäscher</i>	<i>Wasserstand in der Wanne zu hoch</i>
		<i>Tropfenabscheider defekt</i>
		<i>Tropfenabscheider verschmutzt oder verkalkt</i>
		<i>Luftgeschwindigkeit zu hoch</i>
		<i>Pumpendruck zu hoch</i>

7.3. Begriffe und Definitionen

Zum Verständnis der Wirkungsweise von RLT-Anlagen sollen einige wesentliche Begriffe und Kennwerte erläutert werden.

7.3.1. Entfeuchtung

Eine Lüftungstechnische Anlage kann auch zum Abführen von Feuchte aus dem Raum eingesetzt werden. Die bekanntesten Beispiele hierfür sind Duschräume und Hallenbäder.

Die Lüftungstechnische Anlage hat sicherzustellen, dass in der Raumluft vorgegebene Höchstwerte für die relative Feuchte nicht überschritten werden. Die Eingrenzung der Luftfeuchten ist nicht nur aus hygienischen Gründen notwendig, sondern vielmehr auch aus bauphysikalischen, da bei fortdauernd hoher Luftfeuchtigkeit und ungünstigen Außenwandkonstruktionen erhebliche Bauschäden infolge Durchfeuchtung der Wände auftreten.

7.3.2. Heizlast/Heizleistung

Soll ein Raum im Winter nicht nur von statischen Heizflächen erwärmt, sondern auch über die Lüftungsanlage der Wärmeverlust des Raumes gedeckt werden, so ist die Lüftungsanlage entsprechend auszulegen.

Die für den Raum aufzubringende Wärmemenge nennt man Heizlast. Die Heizleistung ist dagegen die Wärmemenge, die der Lufterwärmer in der Anlage aufbringen muss; denn dieser hat in der Regel neben der Heizlast auch noch die Außenluft auf die Raumtemperatur aufzuwärmen. Aus wirtschaftlichen Gründen ist es üblich, nur einen Teil der Heizlast der RLT-Anlage zuzuordnen. Den anderen Teil übernimmt die statische Heizung. Die Regelung der beiden Systeme muss aber aufeinander abgestimmt sein.

7.3.3. Kühllast/Kühlleistung

Unter der Kühllast wird die Wärmemenge verstanden, die zur Einhaltung einer vorgegebenen Raumtemperatur aus dem Raum abgeführt werden muss.

Diese Wärmemenge setzt sich im Allgemeinen zusammen aus Personen- wärme, Geräthewärme (Maschinenwärme) und der Transmissionswärme, die durch Wärmeeinstrahlung an den Fenstern und Wärmedurchgang durch die Wände im Sommer auftritt. Der sich aus der Kühllast ergebende Luftmengenstrom ist in der Regel erheblich größer als die Mindestluftströmung, die zur Lüftererneuerung erforderlich ist.

Die Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Raumluft muss niedrig gehalten werden (max. 8 – 10 K), da es sonst zu Zugerscheinungen im Raum kommt. Aus diesem Zwang heraus ergibt sich häufig eine hohe Luftmenge bzw. Luftwechselzahl.

Die Kühlleistung von Luftkühlern muss nicht nur für den Entzug der sog. „fühlbaren Wärme“ („sensible Wärme“), sondern auch für den damit gekoppelten Entzug der Verdampfungswärme (sog. „latente Wärme“) ausgelegt werden. Mit der Abkühlung ist infolge der Kondensatbildung auch eine Feuchtigkeitsverminderung verbunden.

Daher ist die Kühlleistung für Außenluft und Umluft größer als die für die Kühllast des Raumes.

7.3.4. Luftwechselrate

Die Luftwechselzahl ist ein Erfahrungswert, der es erlaubt, die Durchströmung des Raumes zu beurteilen, die Gefahr von Zugerscheinungen abzuschätzen und damit eine Vorauswahl über die Luftführung zu treffen.

Unter der Luftwechselzahl LW ist das Verhältnis der stündlich dem Raum zugeführten Luftmenge q_v [m³/h] im Verhältnis zum Raumvolumen V_R [m³] zu verstehen.

$$LW = \frac{q_v}{V_R} [h^{-1}]$$

Vereinfacht gesagt, gibt die Luftwechselzahl an, wie oft die Raumlufte in einer Stunde durch die zugeführte Luft ausgetauscht wird. Je nach Raumnutzung können sich sehr unterschiedliche Luftwechselzahlen ergeben.

7.4. Zusammenstellung der wichtigsten Vorschriften und Regelwerke

7.4.1. Empfehlungen des Arbeitskreises Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV)

- Hinweise zur Planung, Ausführung und Betrieb von Kälteanlagen und Kühlgeräten für öffentliche Gebäude
- Hinweise zum Planen und Bauen von Wärmeversorgungsanlagen für öffentliche Gebäude
- Wartung, Inspektion und damit verbundene kleine Instandsetzungsarbeiten von technischen Anlagen und Einrichtungen in öffentlichen Gebäuden
- Vertragsmuster für Instandhaltung (Wartung, Inspektion, Instandsetzung von technischen Anlagen und Einrichtungen in öffentlichen Gebäuden)

- Hinweise zum Energiemanagement in öffentlichen Gebäuden
- Technisches Monitoring als Instrument zur Qualitätssicherung
- BACnet in öffentlichen Gebäuden
- Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden

7.4.2. Gesetze und Verordnungen, insbesondere:

- Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz-GEG)
- Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz EnEG)
- Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)
- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG)
- Verwaltungsvorschriften zum BImSchG: TA-Luft, TA-Lärm
- Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)
- TRBS 1111 Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung
- Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV)
- Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR): A3.5 Raumtemperatur A3.6 Lüftung, A4.1 Sanitärräume
- Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
- Bauordnungen der Länder (LBO), Musterbauordnung MBO
- Landes-Lüftungsanlagen-Richtlinien (LüAR,) Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (MLüAR)
- Landes-Leitungsanlagen-Richtlinien (LAR,) Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR)
- Versammlungsstätten-, Sonderbau-, Garagen-, Beherbergungsstätten-, Krankenhaus-verordnungen der Länder
- EU-Verordnung 1253/2014 (Ökodesign) „Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen“
- Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme (IT-Sicherheitsgesetz)
- IT-Sicherheitskatalog gem. §11 Absatz 1a Energiewirtschaftsgesetz

- Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-KritisV)
- Verordnung über die Prüfung technischer Anlagen und Einrichtungen [...] der Länder TPrüfV.

7.4.3. Normen des Deutschen Instituts für Normung (DIN), insbesondere:

DIN EN 1822-1	Schwebstofffilter (EPA, HEPA, ULPA) – Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung
DIN EN 1886	Zentrale Raumluftechnische Geräte
DIN 1946-4	Raumluftechnik – Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens
DIN 1946-7	Raumluftechnik – Teil 7: Raumluftechnische Anlagen in Laboratorien
DIN 4102	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
DIN 4108-2	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
DIN 4108-6	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
DIN 4109	Schallschutz im Hochbau
DIN 4710	Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland
DIN EN ISO 7730	Ergonomie der thermischen Umgebung
DIN EN 12097	Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Anforderungen an Lüftungsbauteile zur Wartung DIN EN 12237 Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit rundem Querschnitt aus Blech
DIN EN 12599	Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen
DIN 12924-3	Laboreinrichtungen - Abzüge - Teil 3: Durchreichabzüge
DIN 12924-4	Laboreinrichtungen - Abzüge - Teil 4: Abzüge für Apotheken
DIN EN 13053	Lüftung von Gebäuden - Zentrale raumluftechnische Geräte – Leistungsdaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten

DIN EN ISO 13792	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik
DIN EN 14175	Abzüge
DIN EN ISO 14644	Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche
DIN SPEC 15240	Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Energetische Inspektion von Klimaanlage
DIN EN 15650	Lüftung von Gebäuden - Brandschutzklappen
DIN EN 15805	Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik - Standardisierte Abmessungen
DIN EN 16282	Einrichtungen in gewerblichen Küchen – Elemente zur Be- und Entlüftung
DIN EN 16798-1	Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden - Teil 1:
CEN/TR 16798-2	Technischer Report zu DIN EN 16798-1
DIN EN 16798-3	Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden - Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme
CEN/TR 16798-4	Technischer Report zu DIN EN 16798-3
DIN EN 16798-17	Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 17: Leitlinien für die Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlage
DIN EN ISO 16890	Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik
DIN 18017-3	Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster – Teil 3: Lüftung mit Ventilatoren
DIN 18032	Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung
DIN 18232-5	Rauch- und Wärmefreihaltung – Teil 5: Maschinelle Rauchabzugsanlagen (MRA); Anforderung, Bemessung
DIN V 18599	Energetische Bewertung von Gebäuden
DIN 18960	Nutzungskosten im Hochbau
DIN EN 50272	Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen
DIN EN 50600	Informationstechnik - Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren
DIN ISO/IEC 27001	Informationstechnik – Sicherheitsverfahren – Informationssicherheitsmanagementsysteme - Anforderungen

7.4.4. Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), insbesondere:

VDI 2050	Anforderungen an Technikzentralen
VDI 2051	Raumluftechnik Laboratorien
VDI 2052	Raumluftechnik; Küchen
VDI 2053	Raumluftechnische Anlagen für Garagen
VDI 2054	Raumluftechnische Anlagen für Datenverarbeitung
VDI 2067	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen
VDI 2071	Wärmerückgewinnung in Raumluftechnischen Anlagen
VDI 2078	Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)
VDI 2081	Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen
VDI 2083	Reinraumtechnik
VDI 2089 Blatt 1	Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Hallenbäder
VDI 2569	Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro
VDI 3525	Regelung und Steuerung Raumluftechnischer Anlagen - Beispiele
VDI 3803	Raumluftechnische Anlagen - Bauliche und technische Anforderungen
VDI 3804	Raumluftechnik – Bürogebäude (VDI Lüftungsregeln)
VDI 3810	Betreiben von Raumluftechnischen Anlagen
VDI 3814	Gebäudeautomation (GA)
VDI/DVS 6005	Gefahrstoffe und Lüftungstechnik beim Schweißen und bei den verwandten Verfahren
VDI 6022	Raumluftechnik, Raumlufqualität–Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI Lüftungsregeln)
VDI 6031	Abnahmeprüfung von Raumkühlflächen
VDI 6035	Raumluftechnik – Dezentrale Lüftungsgeräte – Fassadenlüftungsgeräte (VDI Lüftungsregeln)
VDI 6039	Facility-Management - Inbetriebnahmemanagement für Gebäude - Methoden und Vorgehensweisen für gebäudetechnische Anlagen
VDI 6040	Raumluftechnik – Schulen (VDI-Lüftungsregeln, VDI-Schulbaurichtlinien)

7.4.5. Bestimmungen des Verbandes der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik e.V. (VDE)

DIN VDE 0100-540 *Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Erdungsanlagen und Schutzleiter*

7.4.6. Arbeitsblätter des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)

24186 Teil 1 Leistungsprogramm für die Wartung von technischen Anlagen und Ausrüstungen in Gebäuden - Teil 1: Lufttechnische Geräte und Anlagen

7.4.7. Technische Regeln des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW)

DVGW G 631 Installation von gewerblichen Gasgeräten u. a.in Gastronomie und Küche

7.4.8. Richtlinien und Hinweise des Bundes

BNB Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen

Informationsschrift „Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden, Teil 1 Bildungseinrichtungen, Stand November 2017“ des Umweltbundesamtes

7.4.9. Unfallverhütungsvorschriften

BGR 111 Berufsgenossenschaftliche Regelungen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Arbeiten in Küchenbetrieben

7.4.10. Verdingungsordnung für Bauleistungen Teil C (VOB/Teil C), insbesondere:

- DIN 18299 Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art
- DIN 18379 Raumluftechnische Anlagen

Mitarbeiter

Heike Gralla	Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften
Ralf Hengelhaupt (Obmann)	Deutsche Bundesbank
Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke	ILK Dresden
Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup	Hochschule Trier, Umweltcampus Birkenfeld
Markus Kirch	Ministerium der Finanzen Rheinland-Pfalz
Ralf-Dieter Person	HIS-Institut für Hochschulentwicklung e. V. Hannover
Horst Schüssler	Ministerium der Finanzen Rheinland-Pfalz
Ernst Weindorfer	Regierung von Niederbayern
Dr. Ing. Manuel H. Winkler	Landeshauptstadt München Baureferat
Pedro Weyand	Johannes- Gutenberg-Universität Mainz
Michael Römer	Stadt Chemnitz
Thomas Bernhardt	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung