



**Gesundheit,
Wohlbefinden und
Energieeffizienz.**

Raumluftechnische Geräte (RLT-Geräte)

Version 1.0 – Juni 2020

Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
ABL	Abluft (Englisch: ETA → Extract Air)
AC	Alternating current
AHU	Air Handling Unit (Deutsch: RLT-Gerät)
AQI	Air Quality Index, Luftqualitätsindex
AUL	Aussenluft (Englisch: ODA → Outdoor Air)
AWN	Abwärmenutzung
clo	Dämmwert für Kleidung, steht für «clothing»
CO ₂	Kohlendioxid
COPD	Chronische obstruktive Lungenerkrankung
DDC	Direct Digital Controller
E	Abkürzung für Energie
EC	Electronically commutated
EG	Erdgeschoss
ELA	Ein-Richtungs-Lüftungsanlagen
EN	Europäische Norm
EPA	Efficient Particulate Air filter
FOL	Fortluft (Englisch: EHA → Exhaust Air)
GLT	Gebäudeleittechnik
HEPA	High Efficiency Particulate Air filter
HLK	Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik – Branchenbezeichnung
HLKSE	Heizen, Lüften, Klima, Sanitär, Elektrik – Branchenbezeichnung
I/O	Input/Output
IoT	Internet of Things
KRG	Kälterückgewinnung
KVS	Kreislaufverbundsystem, verwendet für Wärmerückgewinnung
LSV	Lärmschutzverordnung
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
met	Aktivität eines Menschen, steht für «metabolism»
NTC	Negative Temperature Coefficient
NWLA	Nichtwohnraum-Lüftungsanlage
PM	Particulate Matter (Feinstaub)
PMV	Predicted Mean Vote (erwartete durchschnittliche Bewertung der thermischen Behaglichkeit)
ppm	parts per million, Hilfsmasseinheit für Gaskonzentration
r.H.	relative (Luft-)Feuchte
RAL	Klassierung der Raumluftqualität nach EN13779 resp. SIA 382/1
RLT	Raumlufttechnische (Anlage oder Gerät)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SWKI	Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren
UG	Untergeschoss
UKV	Universelle Kommunikationsverkabelung
ULPA	Ultra Low Penetration Air filter
UML	Umluft (Englisch: RCA → Recirculated Air)
VAV	Variable Air Volume
VOC	Volatile Organic Compound
WHO	World Health Organization, Weltgesundheitsorganisation
WLA	Wohnraum-Lüftungsanlage
WRG	Wärmerückgewinnung
ZLA	Zwei-Richtungs-Lüftungsanlagen
ZUL	Zuluft (Englisch: SUP → Supply Air)

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	4
1.1 Motivation	4
1.2 Zweck.....	4
1.3 Zielpublikum und Abgrenzung	4
1.4 Mitwirken.....	4
2 Grundlagen der Luftaufbereitung.....	5
2.1 Einleitung.....	5
2.2 Behaglichkeit und Gesundheit.....	5
2.3 Begriffe und Einbindung.....	12
2.4 Wassergehalt der Luft.....	14
2.5 Prozesse der Luftaufbereitung.....	15
2.6 Zusammenfassung der Grundlagen.....	19
3 RLT-Geräte und Komponenten	20
3.1 Anwendungen/Einsatzbereiche	20
3.2 Anlagentypen.....	21
3.3 Bauformen	22
3.4 Komponenten.....	23
4 Gebäudeautomation	41
4.1 Die Ebenen in der Gebäudeautomation.....	41
4.2 Beispiele Gebäudeautomation mit Fokus auf RLT-Gerät	43
5 Steuern und Regeln von RLT-Geräten.....	44
5.1 Übersicht Feldgeräte und Funktionalität.....	44
5.2 Feldgeräte	46
5.3 Steuern und Regeln eines RLT-Gerätes.....	54
5.4 Beispiele für verschiedene Anlagentypen	73
6 Anhang.....	78
6.1 Umfeld	78
6.2 Normen/Richtlinien und Vorschriften	80
6.3 Energieeffizienzklassen	81
6.4 Vorlage h,x-Diagramm	83

1 Einführung

1.1 Motivation

Belimo steht für stetige Produktinnovation sowie für qualitativ hochstehende Feldgeräte wie Luftklappenantriebe, Ventile, Ventilantriebe und Sensoren. Mit der Einführung der ersten elektrischen Luftklappenantriebe 1975 hat Belimo den Grundstein für Produkte auf RLT-Geräten (raumluftechnische Geräte) gelegt. Im Jahr 2002 sind die Ventile und Ventilantriebe dazugekommen. Mit der Einführung der Sensoren 2017 besitzt Belimo heute ein komplettes Sortiment, um RLT-Geräte auf der Feldgeräteseite auszurüsten. Daher sind RLT-Geräte für Belimo eine wichtige Applikation und rücken damit weiter in den Fokus.

In die Zukunft blickend nehmen die Digitalisierung, Kommunikation und Vernetzung wie IoT weiter zu. Durch eine geschickte Verknüpfung all unserer Feldgeräte und den Einsatz neuer Technologien (mehr Intelligenz im Feldgerät) eröffnen sich neue Chancen für Systeme, die in der HLK-Branche Massstäbe setzen und damit unseren Kunden einen entscheidenden Mehrwert bieten können. Daher lohnt es sich, die «Applikation RLT-Geräte» als Gesamtes zu verstehen und zu betrachten.

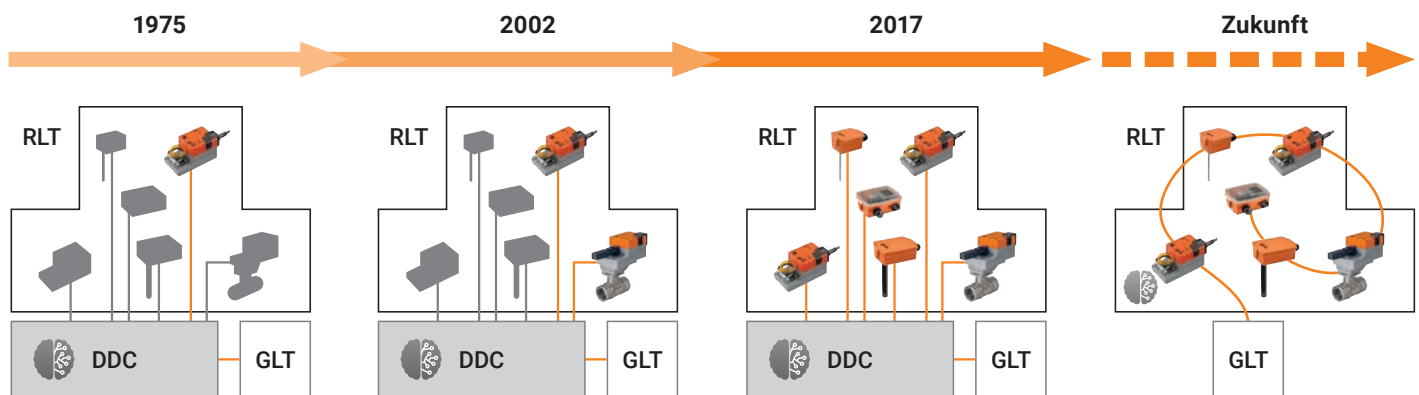


Bild 1: Einführung Belimo-Feldgeräte und Kommunikation auf RLT-Geräten

1.2 Zweck

Diese Dokumentation widmet sich der Applikation RLT-Geräte und hat den Zweck, ein Belimo-internes Nachschlagewerk zu sein. Sie ist produktübergreifend und soll auf einfache Weise die Applikation beschreiben und die Beweggründe für den Einsatz unserer Feldgeräte erklären. Dazu werden der Aufbau und die Funktion der RLT-Geräte erklärt sowie Vor- und Nachteile verschiedener Auslegungsstrategien diskutiert. Spezieller Bezug wird auf den Einsatz und die Anordnung der Belimo-Komponenten genommen.

Mit diesem Dokument, das laufend erweitert werden soll, wollen wir eine Grundlage für die Entwicklung neuer, innovativer Produkte schaffen und unsere Erkenntnisse für neue Mitarbeitende festhalten, damit das Wissen innerhalb der Firma weitergegeben werden kann.

1.3 Zielpublikum und Abgrenzung

Das Dokument richtet sich an neue Belimo-Mitarbeitende mit grundlegenden Kenntnissen der HLK-Branche. Die Zielgruppe sind Mitarbeitende aus Innovation, Produktmanagement und Vertrieb.

In dieser ersten Version liegt der Fokus auf schweizerischen RLT-Geräten für Nicht-Wohngebäude. RLT-Geräte für Wohngebäude werden nicht behandelt. Diese Dokumentation kann in zukünftigen Versionen mit Ausprägungen und Eigenschaften aus anderen Märkten und Sektoren ergänzt werden. Dieses Dokument hat nicht den Anspruch, jedes Detail abzubilden, das in der Praxis anzufinden ist. Vielmehr geht es darum, das grosse Ganze aufzuzeigen und ggf. einzelne Beispiele zu beschreiben. Im Speziellen sind in der Praxis diverse andere und weitere Steuer- und Regelfunktionen anzutreffen.

1.4 Mitwirken

Diese Applikationsdokumentation ist in Zusammenarbeit mit der Hochschule Luzern (Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE), externen Fachexperten und Belimo-internen Mitarbeitenden entstanden. Durch den Beitrag von Textpassagen, Bildern und/oder Review-Befunden konnte die inhaltliche Qualität wesentlich gesteigert werden.

An dieser Stelle wird ein herzliches Dankeschön ausgesprochen!

2 Grundlagen der Luftaufbereitung

2.1 Einleitung

RLT-Anlagen tragen wesentlich zu behaglichen Räumen mit gesunder Luft bei. Zudem stellen sensible Prozesse und Produktionsstätten hohe Anforderungen an das Raumklima und die Raumlufthqualität. RLT-Geräte bilden dabei das Herzstück dieser Anlagen. Sie stellen die Zuluft in der geforderten Qualität und Quantität zur Verfügung.

Ein RLT-Gerät kann die folgenden Luftaufbereitungsstufen beinhalten:

- Luftförderung
- Filtrierung
- Wärmerückgewinnung/Kälterückgewinnung
- Erwärmung
- Kühlung
- Befeuchtung
- Entfeuchtung

Das Mass der Luftaufbereitung richtet sich nach den geforderten Raumkonditionen sowie dem Gebäudetechnikkonzept. So ist beispielsweise neben der erforderlichen Zulufttemperatur auch die Art der Heiz- und Kühleinbringung in den Raum für die Temperatur im Raum verantwortlich.

Wie bei allen gebäudetechnischen Einrichtungen stehen auch bei der Luftaufbereitung die Behaglichkeit und Gesundheit der Personen im Fokus. Dabei sind die in einem RLT-Gerät ablaufenden Luftbehandlungsprozesse wichtig und müssen verstanden werden. Deshalb wird in den folgenden Kapiteln näher darauf eingegangen, obwohl neben der Luftaufbereitung auch die Luftverteilung und die Konditionierung in den Räumen eine wichtige Rolle spielen.

2.2 Behaglichkeit und Gesundheit

Die thermische Behaglichkeit und die Raumlufthqualität sind wesentliche Voraussetzungen, damit Personen leistungsfähig sind und auf längere Sicht gesund bleiben. In geschlossenen, schlecht belüfteten Räumen nimmt die Luftqualität schnell ab, wenn sich Personen darin befinden oder Prozesse oder Einrichtungsgegenstände die Luft mit Schadstoffen belasten.

Da wir unser Leben in Europa zum grossen Teil in geschlossenen Räumen verbringen und die Fenster aus energetischen Gründen oder aus Gründen der Behaglichkeit (Zugerscheinungen, Schallschutz) mehrheitlich geschlossen sein müssen, ist das kontrollierte Abführen von belasteter Raumlufth und das gleichzeitige Zuführen von vorkonditionierter Aussenluft hinsichtlich **Gesundheit, Wohlbefinden und Energieeffizienz** essenziell.

Die Konditionierung der Aussenluft wird in modernen Gebäuden durch die sogenannten RLT-Geräte (raumlufttechnische Geräte) übernommen. Die Behaglichkeit wird durch viele sehr subjektive Empfindungen bestimmt. Bild 2 zeigt die wichtigsten Einflussfaktoren für Behaglichkeit und Gesundheit auf. Ein wesentlicher Teil des Komforts hängt aber von der «thermischen Behaglichkeit» ab.

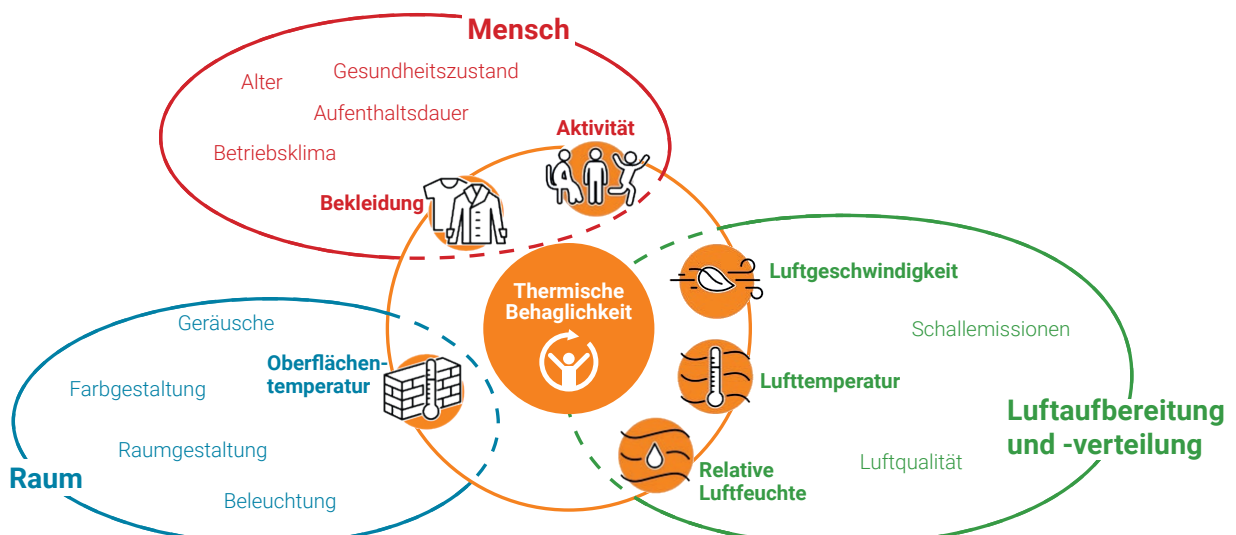


Bild 2: Einflussfaktoren Behaglichkeit

In den folgenden Kapiteln wird auf die Faktoren eingegangen, die durch das RLT-Gerät beeinflusst werden können.

2.2.1 Thermische Behaglichkeit

Optimale thermische Behaglichkeit stellt sich ein, wenn die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers im Gleichgewicht mit dessen Wärmeproduktion ist. Dabei spielen der menschliche Wärmehaushalt unter Einbezug seiner Aktivität (z. B. Schlafen, Laufen etc.) und Kleidung sowie die folgenden Bestimmungsgrößen der thermischen Umgebung eine entscheidende Rolle:

- Raumlufthemperatur
- Raumlufthuchte
- Luftströmung im Raum
- Oberflächentemperatur der Umgebungsflächen (Abstrahlung)

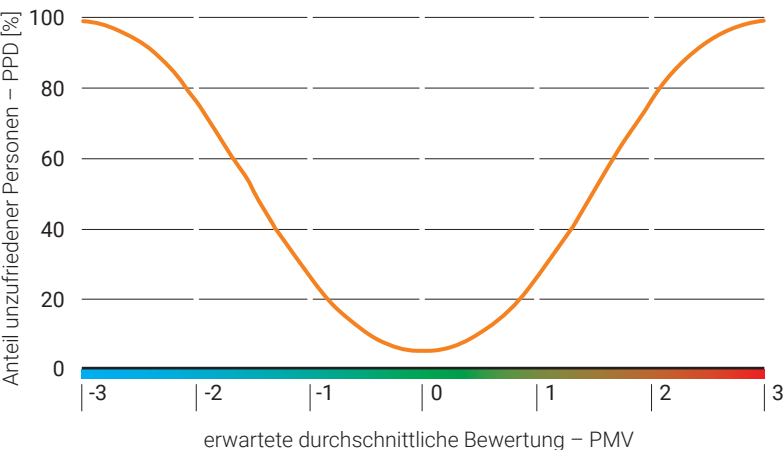


Bild 3: PMV-Index (Quelle: HCU – Arno Dentel / Udo Dietrich)

2.2.1.1 Der menschliche Wärmehaushalt

Der Mensch fühlt sich wohl resp. behaglich, wenn seine Körpertemperatur konstant auf ca. 37°C gehalten wird. Um dieses Ziel zu erreichen, muss ein Gleichgewicht zwischen innerer Wärmeerzeugung (Aktivität) und Wärmeabgabe (Bekleidung) sichergestellt werden. Die Wärmeerzeugung ist stark von der Aktivität, jedoch auch von der Nahrungsaufnahme und der psychologischen Verfassung abhängig. Aus Tabelle 1 können Werte für verschiedene Aktivitäten entnommen werden. Als Einheit für die Aktivität wird «met» (von «metabolism») verwendet.

Die Wärmeabgabe kann durch Verengung und Erweiterung der Blutgefäße beeinflusst werden. Der grösste Anteil macht jedoch die Bekleidung aus. Die Bekleidung ist ein thermischer Widerstand, wie eine Isolation, der auf der nackten Haut aufliegt. Aus Tabelle 2 können Werte für verschiedene Kleider entnommen werden. Als Einheit für den Dämmwert der Kleidung wird «clo» (von «clothing») verwendet.

Die Behaglichkeit resp. die allgemeinen Raumbedingungen werden mittels PMV-Index (Predicted Mean Vote) beurteilt. Der PMV-Index ist ein Durchschnittswert einer Bewertung des Raumklimas durch eine grosse Personengruppe. In einer Nutzungsvereinbarung wird typischerweise festgelegt, auf welchen PMV-Wert das Raumklima geplant wird. Ein Raum kann nie für 100% der anwesenden Personen als komfortabel angenommen werden. In der Praxis lassen sich kaum mehr als 85% der Leute zufriedenstellen.

Tätigkeit	met	W*
schlafend	0.8	83
ruhig sitzend	1.0	104
leichte Arbeit im Sitzen	1.2	126
stehend	1.4	146
mittelschwere Tätigkeit	1.6	167
gehend, 5 km/h	3.0	313

*gültig für eine Person von 1.8 m² Körperoberfläche (z. B. Grösse 1.7 m, Gewicht 69 kg)

Tabelle 1: Wärmeabgabe bei verschiedenen Tätigkeiten (Quelle: «Heizung/Lüftung/Elektrizität Bau & Energie» Christoph Schmid et al.)

Bekleidung	clo
nackt	0.0
kurze Hosen, T-shirt	0.3
Hosen, Kurzarmhemd (Sommer)	0.5
Hosen, Hemd, Pullover (Winter)	1.0

Tabelle 2: Wärmedämmwerte verschiedener Kleidung (Quelle: «Heizung/Lüftung/Elektrizität Bau & Energie» Christoph Schmid et al.)

In Abhängigkeit von Aktivität und Bekleidung kann nun die optimale empfundene Temperatur (Begriff siehe folgender Abschnitt) bestimmt werden. Wenn ein Mensch sehr aktiv ist und dicke Kleider trägt, empfindet er eine kühlere Temperatur als angenehm, und bei wenig Kleidern und wenig Aktivität braucht es höhere Temperaturen, damit er sich wohl fühlt. Die Grafik in Bild 4 zeigt auf, welches die optimale empfundene Temperatur für die jeweilige Aktivität und Bekleidung ist. Sie geht jeweils von einem PMV-Wert von < 5% (maximal 5% Unzufriedene) aus.

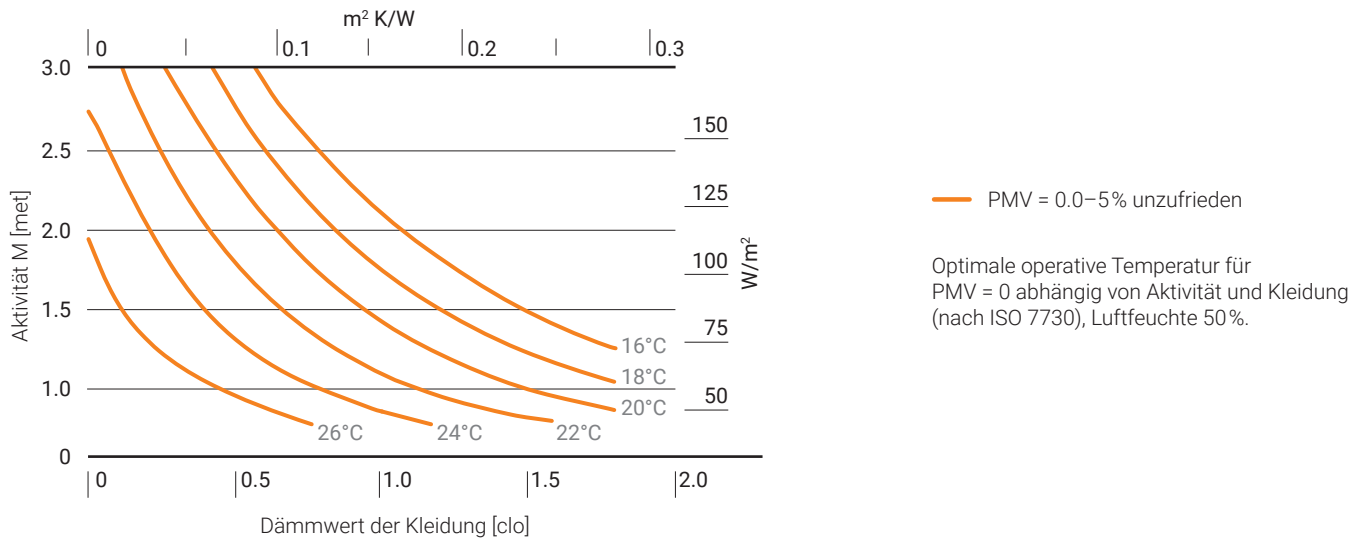


Bild 4: Optimale empfundene Temperatur in Abhängigkeit von Aktivität und Bekleidung (Quelle: SN EN ISO 7730)

2.2.1.2 Empfundene Temperatur

Die empfundene Temperatur ist die zentrale Grösse der thermischen Behaglichkeit. Sie berücksichtigt die Lufttemperatur und die Strahlungstemperatur am betrachteten Ort. Die empfundene Temperatur kann vereinfacht mit folgender Formel berechnet werden:

$$\text{Gefühlte Temperatur} = \frac{\text{Oberflächentemperatur} + \text{Raumtemperatur}}{2}$$

Der zulässige Bereich der empfundenen Raumtemperatur wird in den Normen in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur bestimmt (siehe Bild 5 gemäss SIA 382/1). Die Gebäudetechnik muss das Einhalten dieses Temperaturbandes garantieren.

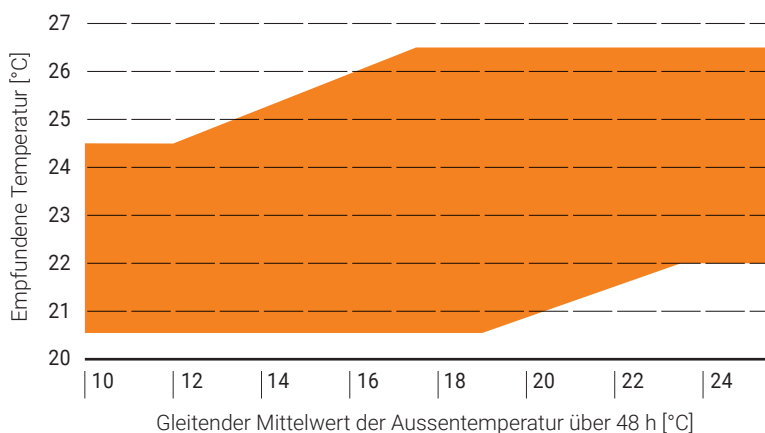


Bild 5: Zulässiger Bereich der empfundenen Temperatur in Wohn- und Büroräumen, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind. (Quelle: SIA 382/1)

Bei steigender Aussentemperatur wird offenbar eine höhere empfundene Raumtemperatur zugelassen. Dahinter steht u.a. die Annahme, dass sich die Personen im Raum im Sommer leichter kleiden (kleinerer clo -Wert) als im Winter.

Das Temperaturband zwischen der minimalen und der maximalen empfundene Temperatur zeigt die zulässigen Schwankungen, die z. B. durch Wärmeeinträge wie Sonnenstrahlung akzeptiert werden. Wichtige Gründe sowohl für den Anstieg als auch den Toleranzbereich der empfundenen Temperatur ist die Energieeffizienz. Die normativen Vorgaben wie sie in Bild 5 dargestellt sind sollen verhindern, dass unnötig gekühlt oder geheizt wird.

2.2.1.3 Oberflächentemperatur der Umgebungsflächen

Wie bei der empfundenen Temperatur aufgezeigt wurde, hat die Oberflächentemperatur der umschliessenden Flächen einen gleich grossen Einfluss wie die Raumlufthtemperatur. Sie spielt also eine grosse Rolle für die thermische Behaglichkeit. Aus diesem Grund kann auch bei einer Bodenheizung eine tiefere Raumtemperatur als angenehm empfunden werden als bei Radiatorenheizung.

Wenn verschiedene Flächen verschiedene Oberflächentemperaturen haben, spricht man von «Strahlungsasymmetrie». Dies kann z. B. in Gebäuden mit alten, schlecht wärmedämmten Fenstern zu einer lokalen Komforteinbusse führen. Da heutzutage immer mehr Fenster mit geringen U-Werten (Wärmedurchgangskoeffizient/Mass für den Wärmedurchgang) eingebaut werden und sich darum die Oberflächentemperaturen in den Innenräumen nur noch geringfügig voneinander unterscheiden, kommen Strahlungsasymmetrien seltener vor. Strahlungsasymmetrien können auch unterschiedlich behaglich wahrgenommen werden. In einem kühlen Raum empfindet man einen heissen Kachelofen als angenehm, weil man der Wärmestrahlung bewusst ausweichen kann, indem man sich davon entfernt. In einem Büro jedoch gibt es unter Umständen keine Möglichkeit, auszuweichen, und es wird darum als unangenehm empfunden.

2.2.1.4 Luftfeuchte

Im Gegensatz zur Temperatur hat der Mensch kein Sinnesorgan, mit dem er die Luftfeuchte wahrnehmen kann. In Kombination mit der Temperatur hat die relative Luftfeuchte jedoch einen Einfluss auf die Behaglichkeit. Bild 6 zeigt den Einfluss der Beziehung zwischen Raumlufthtemperatur und relativer Raumlufthfeuchte auf die Behaglichkeit.

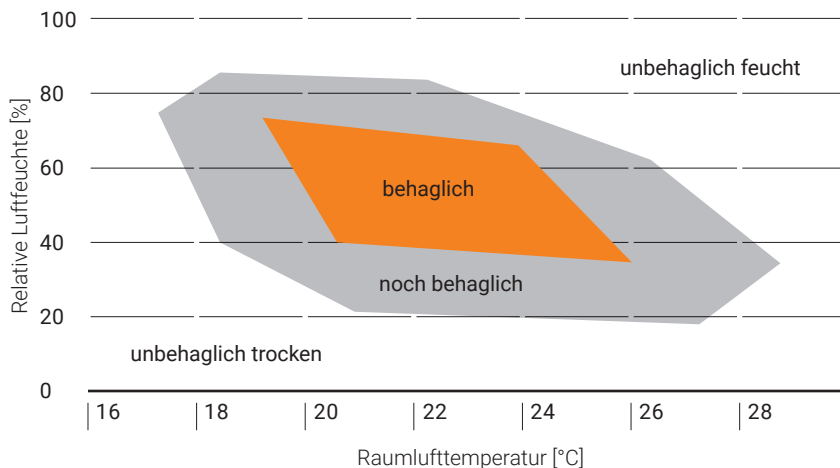


Bild 6: Behaglichkeitsfeld (Quelle: Leusden und Freymark)

Gemäss Scofield und Sterling liegt die ideale Luftfeuchte zwischen 40 und 60%. Bild 7 zeigt den Zusammenhang zwischen verschiedenen Stoffen in der Luft und der Luftfeuchte. In der Norm SIA 382/1 wird eine minimale Raumlufthfeuchte von 30% gefordert, die aber während 10% der Nutzungszeit unterschritten werden darf. Diese Norm legt auch einen höheren Grenzwert für die maximale Raumlufthfeuchte fest.

Die Über- oder Unterschreitung von vorgeschriebenen oder empfohlenen Grenzwerten kann neben der Behaglichkeit auch einen Einfluss auf die Gesundheit haben.

Ca. ein Drittel der Menschen reagiert auf zu trockene Luft mit verminderter Atemleistung, trockenen Augen oder trockenen Schleimhäuten. Trockene Luft kann zudem Influenzaviren weiter verteilen, und die Virenpartikel bleiben länger ansteckend als bei idealer Luftfeuchte.

Zu hohe Luftfeuchte im Raum wird als unangenehm und schwül empfunden. Ebenso können sich Milben und Schimmel in feuchter Umgebung besser ausbreiten. Die hohe Luftfeuchte birgt ausserdem eine höhere Gefahr, dass sich aufgrund von Kondensation an kälteren Flächen Schimmel bildet.

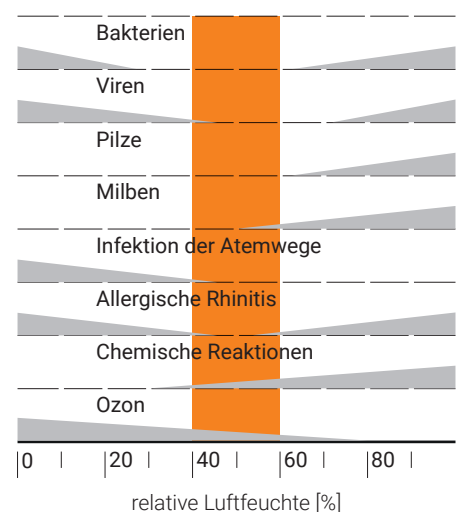


Bild 7: Scofield-Sterling-Diagramm, 1985

2.2.1.5 Luftgeschwindigkeit

Im Gegensatz zur Raumtemperatur ist es viel schwieriger, Luftbewegungen im Raum im Bereich der thermischen Behaglichkeit zu behalten. Vor allem im Kühlfall ist eine zu hohe Luftgeschwindigkeit Grund für viele Beanstandungen der Nutzer. Hervorgerufen wird das Problem durch die Kühlwirkung der über die Haut strömenden Luft und die daraus resultierenden Zugerscheinungen. Aber auch im Winter gibt es Probleme, vor allem in Gebäuden mit schlecht isolierten Fenstern mit hohen U-Werten, an denen sich die Raumluft abkühlen und als Kaltluftabfall unangenehme Zugerscheinungen auslösen kann.

Bei Luftströmungen sind folgende Faktoren für Zugerscheinungen ausschlaggebend:

- Raumlufttemperatur
- mittlere Luftgeschwindigkeit
- Art der Luftströmung (laminar/turbulent)

Bild 8 zeigt die zulässigen Luftgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur.

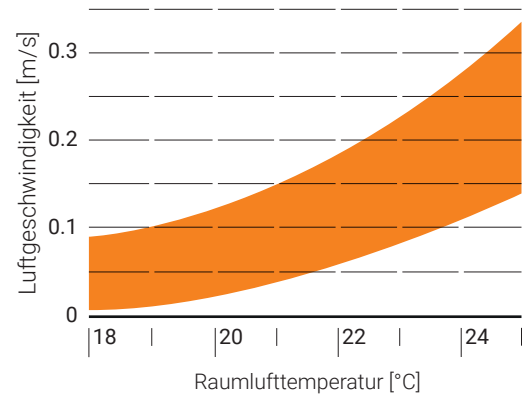


Bild 8: Zulässige Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur (Quelle: ikz.de)

2.2.2 Luftqualität

Die Luftqualität ist normalerweise der Hauptgrund, wieso eine Lüftungsanlage eingebaut wird. Durch das Austauschen verbrauchter Luft gegen Frischluft aus dem Freien kann eine kontinuierliche Luftqualität gewährleistet werden. In den meisten Fällen sind die anwesenden Personen die grösste Quelle der Luftbelastung. In Industrieanlagen können aber auch andere, zum Teil gesundheitsschädliche und giftige Stoffe freigesetzt werden, die abgeführt werden müssen. Ebenso können Möbel oder Bauteile Stoffe freisetzen, die den Innenraum belasten. Dieses Buch konzentriert sich auf Gebäudenutzungen, bei denen die anwesenden Personen die Hauptquelle der Luftbelastung darstellen.

Für alle Stoffe existiert ein MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration), der angibt, welche Konzentration für welchen Stoff nicht überschritten werden darf. Die Luftvolumenströme des RLT-Gerätes können dann entsprechend dimensioniert werden.

2.2.2.1 CO₂ und empfundene Raumlufqualität

In Räumen, wo sich vor allem Menschen aufhalten, stellt der Mensch die grösste Quelle der Luftverunreinigung dar. Die CO₂-Konzentration, die in ppm (parts per million) angegeben wird, korreliert zudem mit der Geruchsintensität von Menschen. Aus diesem Grund können die Luftqualität und Geruchsintensität gut über den CO₂-Gehalt in der Luft gemessen und geregelt werden.

Einige Studien nennen 1000 ppm als Kriterium für gute Raumluf, andere legen die Belästigungsschwelle für menschliche Ausdünstungen auf ca. 1500 ppm. Der zuletzt genannte Grenzwert wird von einigen Ländern empfohlen. Ca. 20% der Personen, die einen Raum betreten, empfinden 1000 ppm als unbefriedigend. Grundsätzlich gibt es aber keine fixen Werte, die als unbefriedigend bezeichnet werden könnten, und der Wert liegt wahrscheinlich in einem Band zwischen 1000 und 1500 ppm. Die Wahrnehmung der Luftqualität hängt auch von Temperatur, Feuchte, Aufenthaltsdauer und sozialen Aspekten ab.

Um die CO₂-Konzentration im Raum zu minimieren, wird dem Raum mit der Lüftungsanlage Frischluft zugeführt. Zur Berechnung der benötigten Frischluftmenge kann eine Frischlufrate pro Person angenommen werden. Je grösser die angenommene Frischlufrate, desto besser die Luftqualität und umso zufriedener sind die anwesenden Personen. Andererseits bedeutet eine grössere Frischlufrate auch höhere Energie- und Investitionskosten.

In Bild 9 und Bild 10 ist zu sehen, wie die Luftqualität die Arbeitsleistung und die Zufriedenheit der anwesenden Personen beeinflusst. Mit einer grösseren Aussenluft rate kann mehr CO₂ abgeführt werden, was zu einer besseren Luftqualität führt.

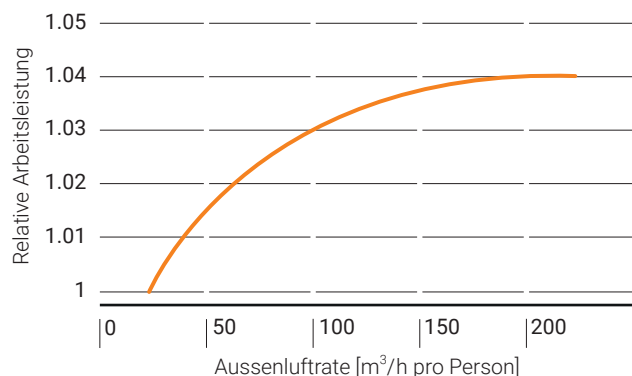


Bild 9: Zusammenhang von Lüftung und Arbeitsleistung bei Büroarbeit
(Quelle: Trox GmbH)

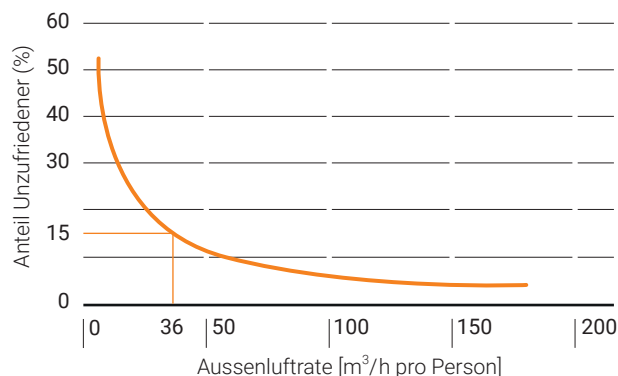


Bild 10: Anteil Unzufriedener in Abhängigkeit der Lüftungsrate
(Quelle: Trox GmbH)

Lesebeispiel: Bei einer Zulufrate von 36 m³/h nehmen 15% der Personen die Luftqualität als unzufriedenstellend wahr.

Bild 11 zeigt auf, welchen Einfluss ppm-Werte auf den Menschen haben. In normal belüfteten Räumen ist CO₂ bezüglich der Gesundheit irrelevant.

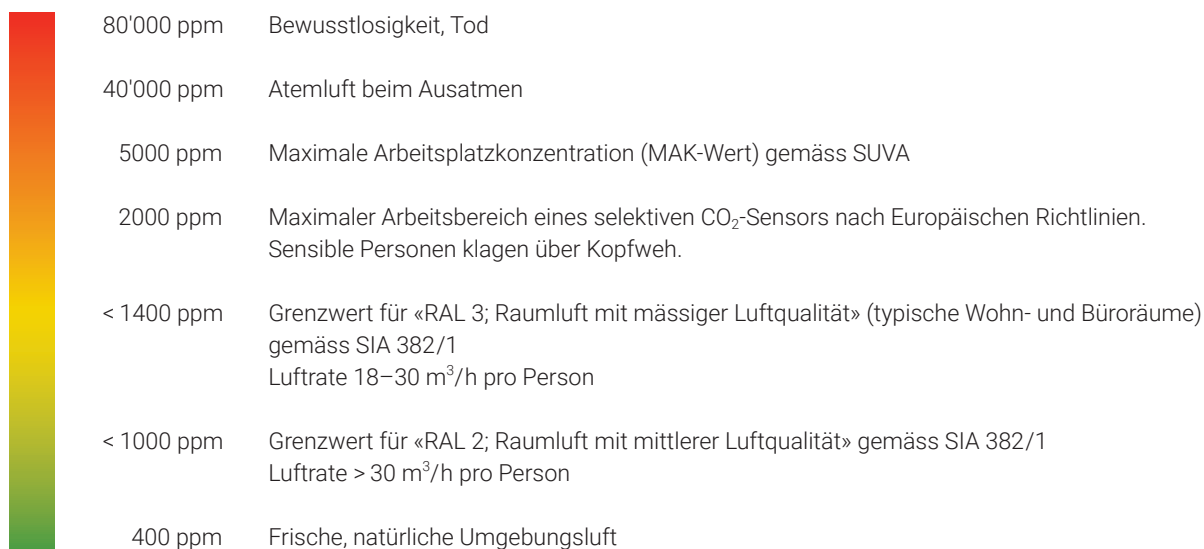


Bild 11: Einfluss der ppm-Werte auf den Menschen

2.2.2.2 VOC (Volatile Organic Compound)

VOC ist die Sammelbezeichnung für flüchtige organische Verbindungen, also für kohlenstoffhaltige Stoffe, die leicht verdampfen und schon bei Raumtemperatur gasförmig sind.

Quellen von VOC in der Raumluf können neben menschlichen Ausdünstungen unter anderem auch Kunststoffe, Baustoffe, Möbel, Teppiche, Reinigungsmittel sowie auch Tabakrauch sein. Es kann auch sein, dass übel riechende Luft von aussen durch das RLT-Gerät angesaugt wird (zum Beispiel Emission aus Landwirtschaft oder Holzfeuerungen).

Die Auswirkungen von VOC-belasteter Raumluf auf die Gesundheit können sehr unterschiedlich sein. Auf der einen Seite kann sie einfach unangenehm riechen oder sich leistungsmindernd auswirken. Auf der anderen Seite der Skala können Stoffe in bestimmten Konzentrationen Allergien und Reizungen der Atemwege hervorrufen oder im schlimmsten Fall sogar das Krebsrisiko fördern.

2.2.2.3 Feinstaub PM2.5/PM10

Der Feinstaub wird heute im Wesentlichen für die Auswirkungen von Luftverschmutzungen auf die Gesundheit verantwortlich gemacht. Der Feinstaub wird vor allem durch menschliches Handeln erzeugt. Die grössten Quellen sind Emissionen von Kraftfahrzeugen (Verbrennungsprozess, Reifen- und Bremsabrieb), Heizungen, Industrie und Landwirtschaft.

Feinstaub wird anhand der Partikelgrösse in «PM»-Kategorien eingeteilt, wobei «PM» für «Particulate Matter» steht und die nachfolgende Zahl den maximalen Durchmesser der Staubteilchen in μm angibt. Unter PM10 versteht man somit alle Staubteilchen mit einem Durchmesser kleiner als 10 μm .

Wenn man die Partikel PM1, PM2.5 und PM10 in menschliche Verhältnisse stellen würde, dann hätte ein PM1-Partikel die Grösse eines Menschen, ein PM2.5 die Grösse eines Elefanten und ein PM10-Partikel die Grösse eines Pottwals.

Grundsätzlich kann man sagen, je kleiner die Staubteilchen, desto tiefer können sie in den Körper eindringen und desto schädlicher sind sie für unsere Gesundheit. Bild 12 zeigt die Partikelgrössen auf und wie weit sie in unseren Körper vordringen können.

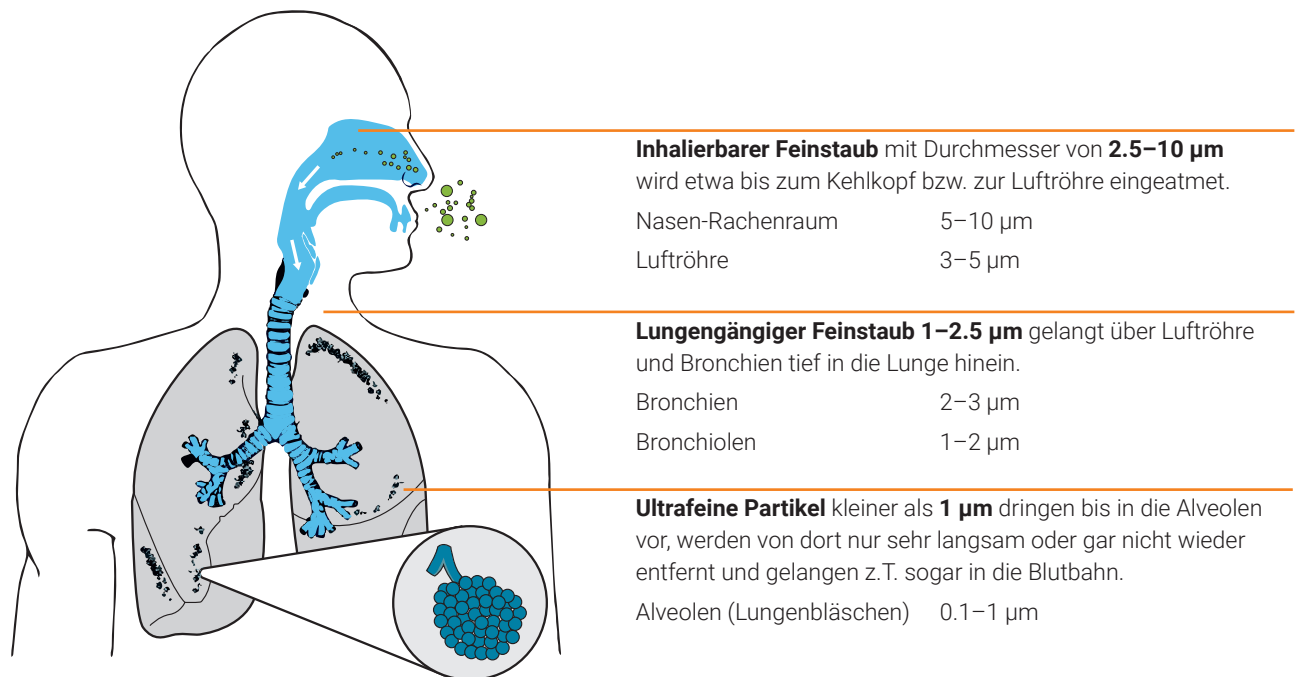


Bild 12: Grössenvergleich Feinstaub (Quelle: Stadt Zürich Luftbilanz 2004)

Man hat festgestellt, dass eine erhöhte Belastung von Partikeln kleiner als 2.5 μm schwere Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann. In der Lunge können entzündliche Reaktionen ausgelöst werden, welche zu Folgeschäden an anderen Organen führen können.

Wie viel Feinstaub die Lunge belasten kann, bevor Symptome auftreten, ist von Person zu Person verschieden und hängt vom allgemeinen Gesundheitszustand ab. Vor allem Krankheiten wie Asthma oder COPD (Chronische obstruktive Lungenerkrankung) können durch Einatmen von Feinstaub verschlimmert werden.

Die Feinstaubwerte können regional verschieden sein und ändern sich spontan sehr häufig. Der «Wiener Luftgüteindex» in Tabelle 3 bewertet und kategorisiert die Luftqualität anhand der Feinstaub- wie auch der Ozon-, Stickstoffdioxid-, Schwefeldioxid- und Kohlenmonoxidkonzentration. Für Filteranwendungen ist jedoch nur die Bewertung des Feinstaubes relevant. Deshalb wird in der folgenden Tabelle nur die Feinstaubkonzentration aufgeführt.

Bewertung	Index	PM10, AQI 24 h-Mittel µg/m³	PM2.5 24 h-Mittel µg/m³	Bedeutung
sehr gut	1	0–20	< 25	Negative Auswirkungen auf Ökosysteme sind nach derzeitigem Wissensstand wenig wahrscheinlich.
gut	2	21–35		Alle Gesundheitsschutz-Grenzwerte sind eingehalten. Auswirkungen auf Ökosysteme sind nicht mehr auszuschliessen.
befriedigend	3	36–50		Die Gesundheitsschutz-Grenzwerte sind meist noch eingehalten. Auswirkungen auf Ökosysteme sind in zunehmendem Masse möglich.
unbefriedigend	4	51–100	25.1–35.4	Die Messwerte befinden sich auf dem Niveau von Gesundheitsschutz-Grenzwerten. Gesundheitliche Beeinträchtigungen empfindlicher Personen können vereinzelt auftreten.
schlecht	5	101–150	35.5–55.4	Die Gesundheitsschutz-Grenzwerte sind überschritten. Gesundheitliche Beeinträchtigungen empfindlicher Personen sind möglich. Die Bevölkerung wird verstärkt über die Schadstoffsituation informiert.
sehr schlecht	6	ab 151	ab 55.5	Die Messwerte befinden sich in der Höhe von Alarmschwellen. Die Gesundheitsschutz-Grenzwerte sind deutlich überschritten. Gesundheitliche Beeinträchtigungen aller Personen sind möglich.

Tabelle 3: Wiener Luftgüteindex

Auch nationale und internationale Verordnungen/Richtlinien gehen auf Feinstaub-Grenzwerte ein.

Tabelle 4 zeigt die definierten Grenzwerte der WHO (Weltgesundheitsorganisation) aus deren Luftgüte-Richtlinie auf.

	PM10 µg/m³	PM2.5 µg/m³
Jahresmittelwert	20	10
24-Stunden-Mittelwert	50	25

Tabelle 4: Grenzwerte aus Luftgüte-Richtlinie der WHO

2.3 Begriffe und Einbindung

2.3.1 Luftarten

Bild 13 zeigt die Begriffe und Farben für die wichtigsten Luftarten innerhalb eines RLT-Gerätes, die gemäss EN 13779 gelten.

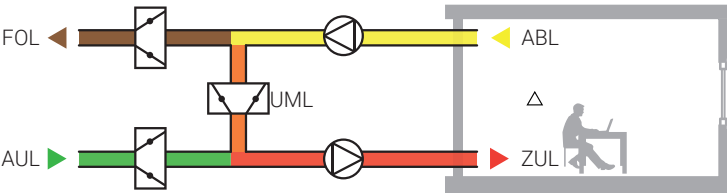


Bild 13: Begriffe und Farben der Luftarten

Begriffe der Luftarten			
AUL	Aussenluft	ODA	outdoor air
ZUL	Zuluft	SUP	supply air
ABL	Abluft	ETA	extract air
FOL	Fortluft	EHA	exhaust air
UML	Umluft	RCA	recirculated air

Tabelle 5: Begriffe der Luftarten

2.3.2 Einbindung in Gebäude

Wie in der Einleitung beschrieben, ist das RLT-Gerät das Herzstück einer Lüftungsanlage. Diese ist in der Regel mit anderen Systemen oder Einrichtungen im Gebäude verbunden. Über Heiz- oder Kühlleitungen ist das RLT-Gerät in maximaler Ausführung (mit Heiz- und Kühlregister) mit der Heizungs- und Kälteanlage verbunden. In der Regel befördern Luftkanäle die Aussen- resp. die Fortluft von ausserhalb des Gebäudes zum RLT-Gerät und die Zu- resp. Abluft vom RLT-Gerät zu den Nutzungseinheiten im Gebäude. In einzelnen Fällen fallen die Luftkanäle durch entsprechende Platzierung der RLT-Geräte im Gebäude weg (zum Beispiel Fassaden- oder Einzelraumlüftungsgeräte).

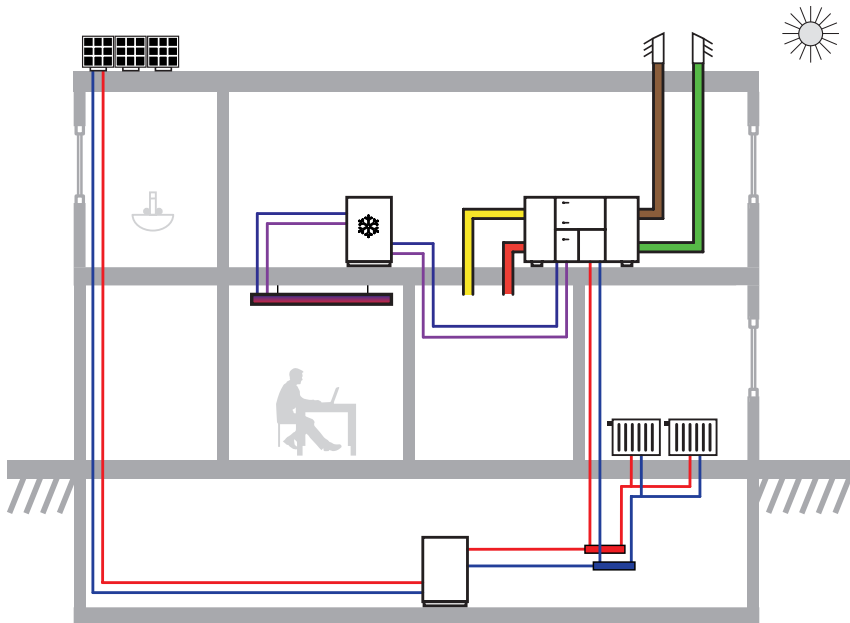


Bild 14: Einbindung RLT-Gerät in Gebäude

Je nach Platzverhältnissen und Nutzung des Gebäudes ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Platzierung des RLT-Gerätes im Gebäude, welche wiederum Anforderungen an das RLT-Gerät selber stellt.

So müssen beispielsweise RLT-Geräte für Aussenaufstellung gegen die Bewitterung geschützt werden und bessere Isolationswerte vorweisen. Auf der anderen Seite werden Deckenlüftungsgeräte eher flach ausgeführt, damit sie möglichst wenig von der Raumhöhe einnehmen.

Lüftungsanlagen können mit zentralen oder dezentralen Geräten ausgeführt werden.

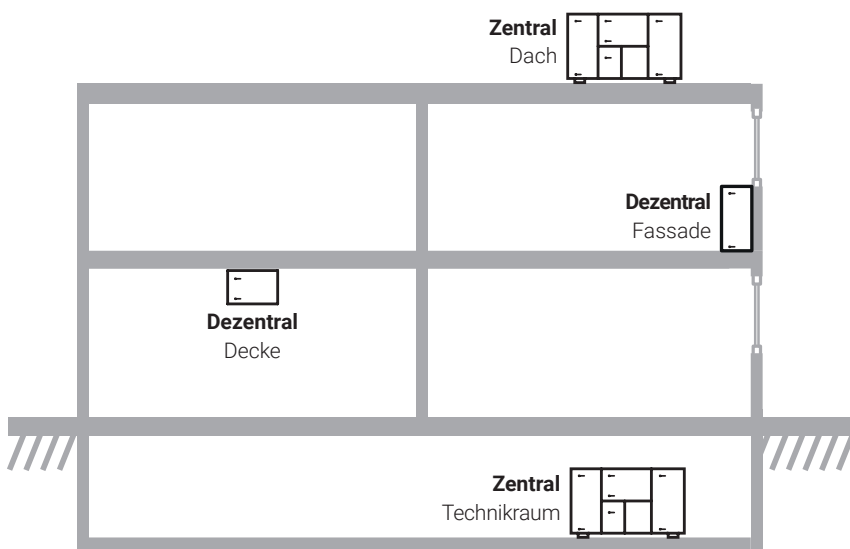


Bild 15: Platzierung RLT-Geräte im Gebäude

Zentrale Lösungen versorgen ein Gebäude, ein Gebäudeteil oder ein grosser Bereich mit einem Gerät, während bei dezentralen Lösungen meist kleinere Geräte eingesetzt werden, die kleinere Gebäudebereiche oder Räume (z. B. Wohnungen oder Büros) mit Luft versorgen. Ob RLT-Geräte zentral oder dezentral angeordnet werden, hängt unter anderem mit der Nutzung des Gebäudes resp. der Zonen oder Räume (Nutzungseinheiten) zusammen.

Einzelraum-Lüftungsgeräte sind ebenfalls dezentrale Lösungen, die meistens nur einen Raum versorgen und keinen Kanalanschluss haben.

2.4 Wassergehalt der Luft

Luft enthält einen Anteil an Wasser, das in Dampfform im Gasgemisch der Luft auftritt. Folgende Faktoren sorgen für Verwirrung, wenn es um trockene/feuchte Luft geht:

- Es wird unterschieden zwischen relativer und absoluter Luftfeuchte.
- Ein Kilogramm kalte Luft kann sehr viel weniger Wasserdampf aufnehmen wie ein Kilogramm heiße Luft.

In folgenden Bildern wird das Verhalten der Luft anhand von Wassergläsern illustriert. Je kleiner das Wasserglas, desto kältere Luft soll damit veranschaulicht werden.

Bild 16 veranschaulicht ein Erhitzen von voll gesättigter (100% r.H.) Luft bei 0°C. Je wärmer die Luft wird, umso mehr nimmt die relative Feuchte ab. Die absolute Luftfeuchte, sprich die darin enthaltene Wassermenge, bleibt immer gleich.

Glasgröße:

Aufnahmevermögen an Wasser von einem Kilogramm Luft = maximale absolute Feuchte

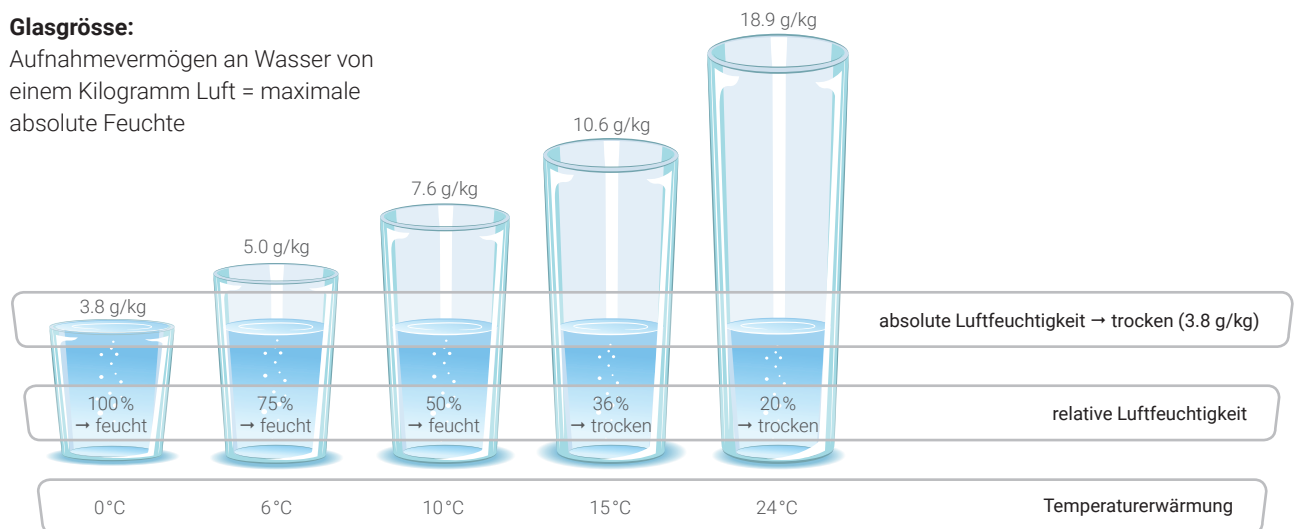


Bild 16: Absolute und relative Feuchtigkeit bei Lufterwärmung

Im Bild 17 wird das Verhalten von Luft dargestellt, die von 24°C auf 0°C abgekühlt wird.

Die Luft startet bei Raumbedingungen mit idealer Bedingung von 40% relativer Feuchte. Je kälter die Luft wird, desto mehr steigt die relative Feuchte. Die kälter werdende Luft kann immer weniger Wasserdampf aufnehmen, somit steigt die Luftfeuchte in Relation zum Maximum. Sobald das Maximalpotenzial erreicht und die Luft voll gesättigt ist, fängt das Wasser an zu kondensieren, wenn die Luft noch weiter abgekühlt wird.

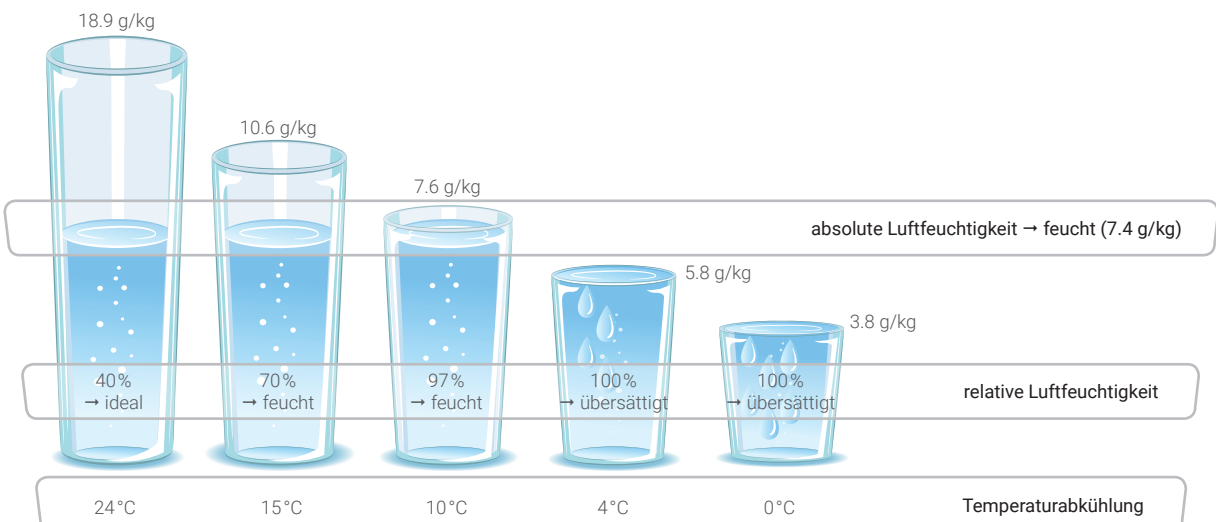


Bild 17: Absolute und relative Feuchtigkeit bei Luftkühlung

Dasselbe gilt auch für den Energieinhalt der Luft. Je feuchter die Luft, desto mehr Energieinhalt hat die Luft.

Bild 18 zeigt den Energieinhalt von Luft bei 40 °C und deren Energieinhalt bei verschiedener relativer Luftfeuchte. Um die relative Luftfeuchte von 40 % auf 50 % zu vergrössern, muss die Differenz des Energieinhalts thermisch hinzugefügt werden. Beim Verringern der Luftfeuchte muss die thermische Energie entzogen werden.

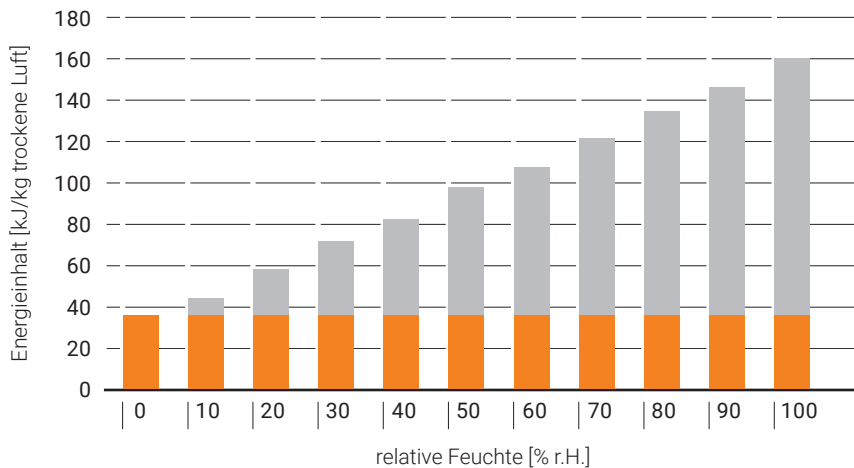


Bild 18: Energieinhalt von feuchter Luft bei 40 °C

Generell ist Luftbefeuchtung oder Luftentfeuchtung aus oben genanntem Grunde sehr energieintensiv. Die Verdunstung von 1 kg Wasser beansprucht etwa 0.7 kWh Energie.

■ feuchter Anteil
■ trockene Luft

2.5 Prozesse der Luftaufbereitung

RLT-Geräte haben neben der Luftförderung die Aufgabe, die Luft entsprechend zu konditionieren (Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten). In verschiedenen Prozessen laufen dabei verschiedene Luftzustandsänderungen ab, die für das Verständnis der Funktion des RLT-Gerätes als Gesamtes und dessen Komponenten sehr wichtig sind und daher in den folgenden Kapiteln näher beschrieben werden.

Die angesprochenen Luftzustandsänderungen lassen sich im sogenannten h,x-Diagramm nach Mollier grafisch darstellen und berechnen. Deshalb wird in einem ersten Schritt das h,x-Diagramm selber erklärt. Danach werden die einzelnen Prozesse mittels Anwendung des Diagrammes erklärt.

Bei den Komponenten eines RLT-Gerätes wird wieder Bezug auf die einzelnen Prozesse genommen, die teilweise auch in einem h,x-Diagramm wieder dargestellt werden.

2.5.1 h,x-Mollier-Diagramm

Die Luft hat verschiedene messbare Grössen, die zueinander in Beziehung stehen und im h,x-Diagramm (siehe dazu vollständiges h,x-Diagramm im Anhang) dargestellt resp. herausgelesen werden können. Das betrifft die Grössen in der folgenden Tabelle. In den folgenden Kapiteln wird nur auf die wesentlichen Grössen (in Grün dargestellt) eingegangen.

Bezeichnung	Zeichen [Einheit]	Beschreibung
Gesamtdruck der Luft	p [hPa]	Die Eigenschaften von feuchter Luft hängen vom barometrischen Luftdruck resp. dem Gesamtdruck der Luft ab. Deshalb gilt das h,x-Diagramm immer nur für einen bestimmten Luftdruck, der von der Höhe über Meer abhängig ist. Luftdruck und Höhe über Meer sind bei jedem h,x-Diagramm angegeben.
Teildruck des Wasserdampfes	pD [hPa]	Der vom Wasserdampf ausgeübte Anteil am gesamten Luftdruck.
Temperatur	θ [°C]	Temperatur der Luft.
Spezifische Enthalpie	h [kJ/kg]	Wärmeinhalt der Luft, bezogen auf 1 kg trockene Luft.
Wassergehalt	x [g/kg]	Menge Wasser in Gramm, die in der Luft als Gas (in Dampfform) pro Kilogramm trockene Luft vorhanden ist. Man spricht auch von der absoluten Feuchtigkeit.
Relative Feuchte	φ [%]	Anteil an Wasserdampf in der Luft, gemessen am maximal möglichen Wasserdampfgehalt, bei gleicher Temperatur.
Dichte	ρ [kg/m³]	Masse der Luft, bezogen auf das Volumen von einem Kubikmeter.

Tabelle 6: Grössen im h,x-Diagramm

Das folgende h,x-Diagramm zeigt die wesentlichen Größen für zwei unterschiedliche Luftzustände 1 und 2. Das Delta der einzelnen Größen der Luftzustände kann entsprechend berechnet und/oder ausgelesen werden.

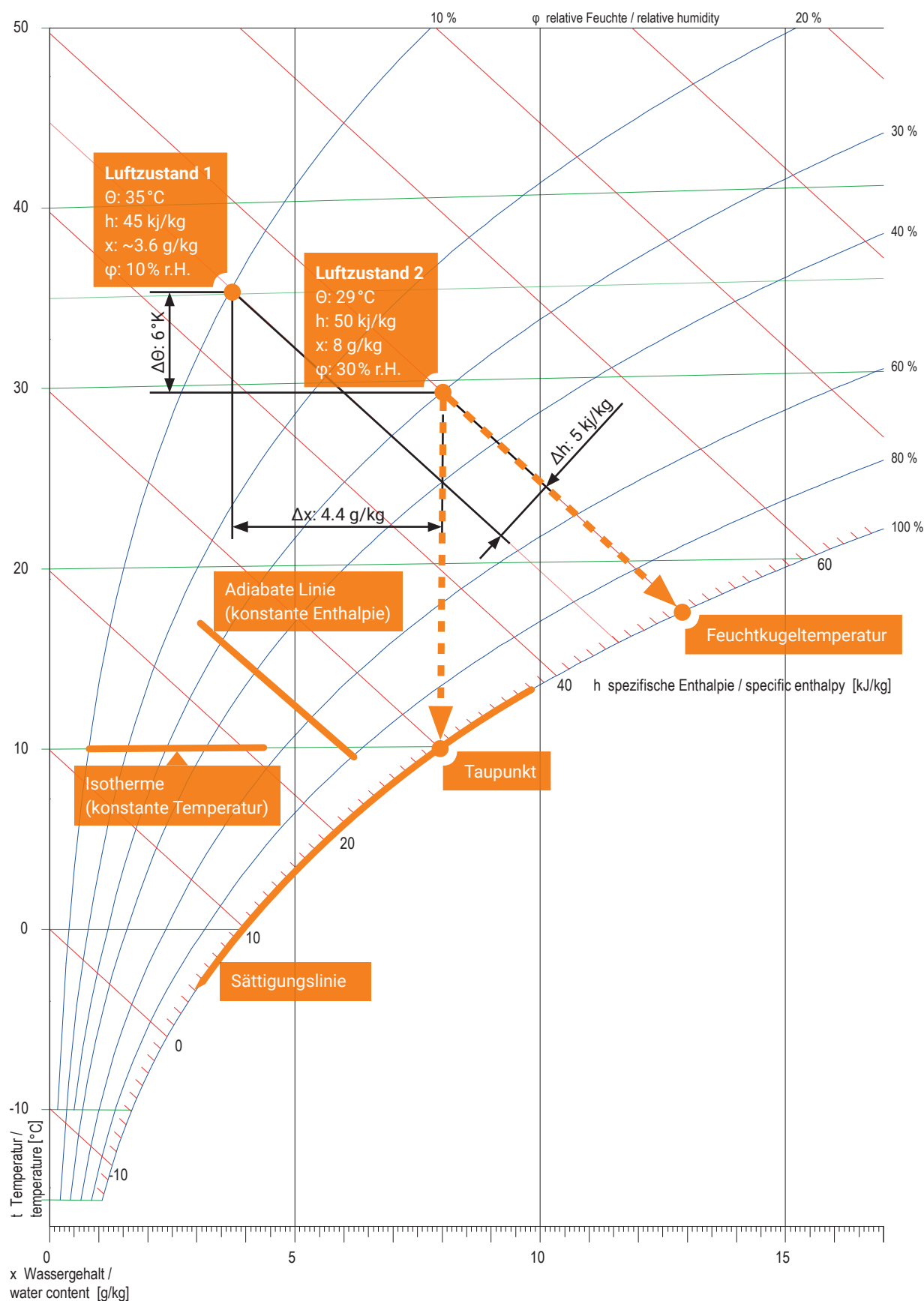


Bild 19: Übersicht h,x-Diagramm mit den wesentlichen Größen

2.5.2 Prozesse

2.5.2.1 Mischen zweier Luftmengen

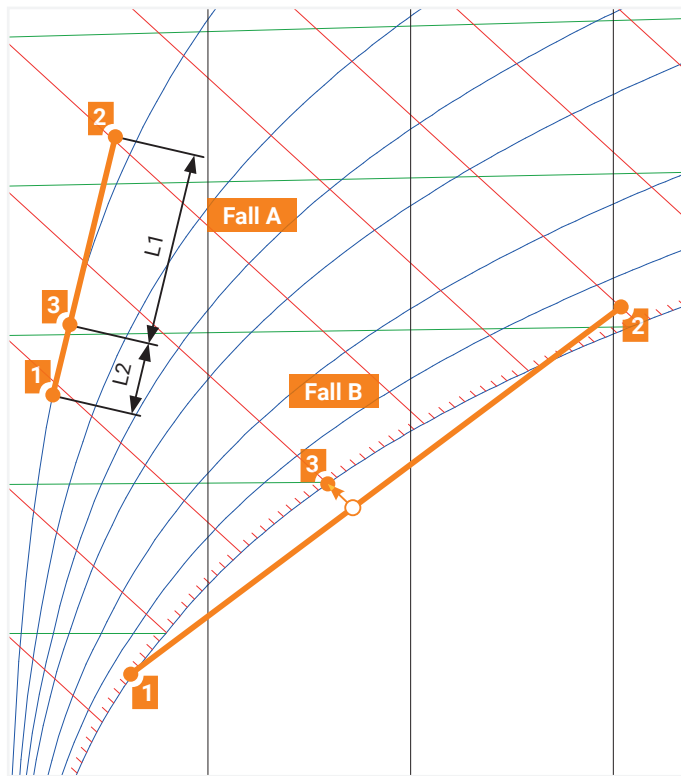


Bild 20: Mischen von Luft im h,x-Diagramm

Werden zwei Luftmengen mit den Zuständen 1 und 2 miteinander vermischt, ergibt sich eine Mischluft mit dem Luftzustand 3.

Dazu kann man die beiden Zustände 1 und 2 im h,x-Diagramm miteinander verbinden. Wie im Beispiel von Fall A gezeigt, kommt der Zustand der Mischluft 3 auf der Geraden dazwischen zu liegen und unterteilt diese in die Längen L1 und L2. Die Längen L1 und L2 entsprechen dem Verhältnis der Luftmengen 1 und 2.

Beispiel: Wird eine grosse Luftmenge vom Zustand 1 mit einer kleinen Luftmenge vom Zustand 2 vermischt, kommt der Zustand der Mischluft näher an Zustand 1 zu liegen.

Sollte der Zustand der Mischluft 3 unterhalb der Sättigungslinie zu liegen kommen (wie in Fall B gezeigt), wird überschüssiges Wasser ausgeschieden. Der theoretische Zustand der Mischluft 3 verschiebt sich parallel zur adiabaten Linie (Linie mit konstanter Enthalpie) und kommt auf der Sättigungslinie zu liegen.

2.5.2.2 Lufterwärmung

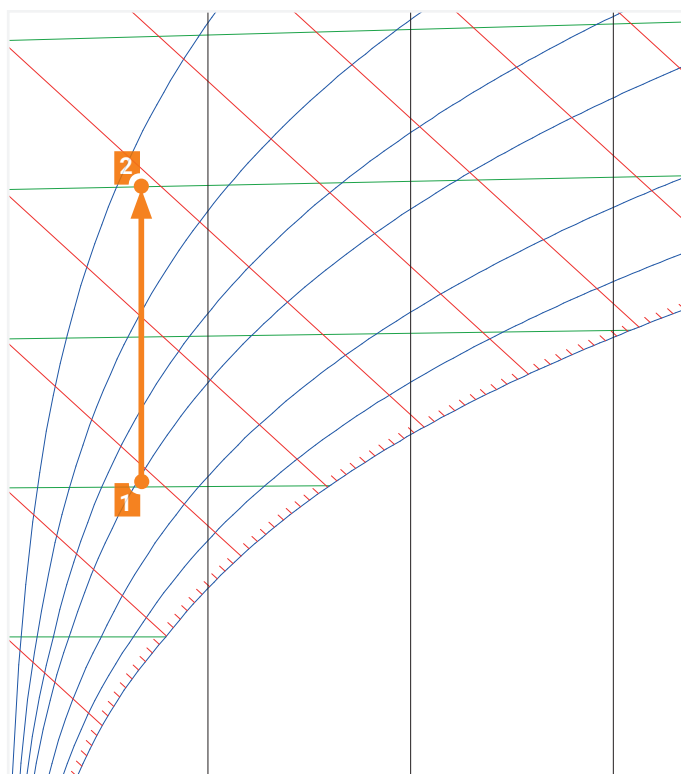


Bild 21: Lufterwärmung im h,x-Diagramm

Erwärmt man feuchte Luft, so steigt die Temperatur, ihr absoluter Wassergehalt x aber ändert sich nicht. Durch die Erwärmung wird der Luft weder Wasser hinzugefügt noch entzogen. Die relative Feuchtigkeit ändert sich jedoch schon.

Im h,x-Diagramm verläuft dieser Prozess daher entlang einer senkrechten Linie vom Zustand 1 zum Zustand 2 mit konstanter absoluter Feuchtigkeit.

2.5.2.3 Luftkühlung ohne Wasserausscheidung

Im Prinzip verhält sich die Zustandsänderung bei der Luftkühlung ohne Wasserausscheidung gleich wie bei der Lufterwärmung, jedoch kühlt sich die Temperatur ab.

Im h,x -Diagramm verläuft dieser Prozess entlang einer senkrechten Linie gemäss Bild 21 vom Zustand 2 zum Zustand 1 mit konstanter absoluter Feuchtigkeit.

2.5.2.4 Luftkühlung mit Wasserausscheidung

Ist die Temperatur des Endzustands der Luft oder nur der Kühlflächen des Luftkühlers tiefer als die Temperatur des Taupunkts, dann wird Wasser ausgeschieden. Dieser Prozess wird neben der Luftkühlung auch zur Entfeuchtung der Luft verwendet.

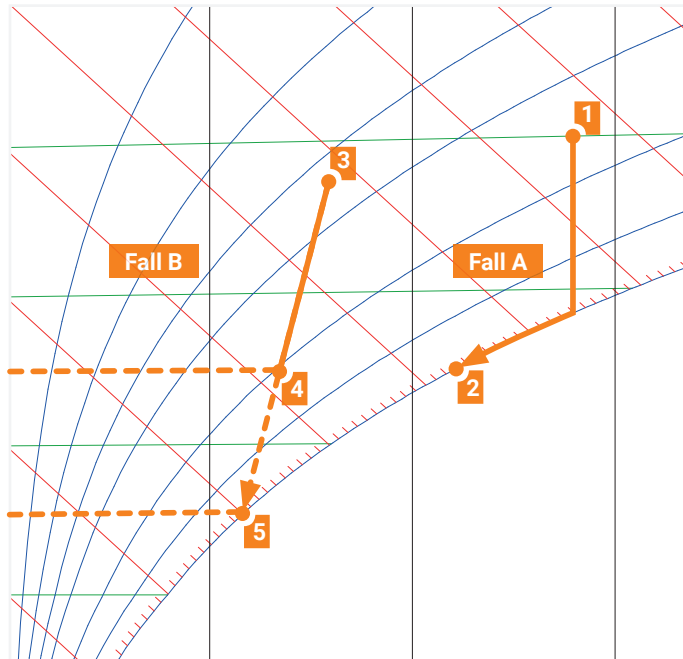


Bild 22: Luftkühlung mit Wasserausscheidung im h,x -Diagramm

Im Fall A, in welchem der Endzustand der Luft (2) tiefer ist als der Taupunkt, kann vom Ausgangszustand der Luft (1) senkrecht nach unten bis zu Sättigungslinie und danach entlang dieser bis zur Temperatur des Endzustands (2) gefahren werden (im Beispiel 15°C).

Im Fall B, in welchem nur die Kühlflächen tiefer sind als der Endzustand der Luft (4), kann im h,x -Diagramm eine Verbindungsgerade vom Ausgangszustand der Luft (3) bis zum Schnittpunkt der Sättigungslinie mit der mittleren Temperatur der Kühlflächen (5) gelegt werden (im Beispiel 5°C). Darauf befindet sich der Endzustand der Luft (4) auf der Höhe der gewünschten Endtemperatur (im Beispiel 15°C).

2.5.2.5 Befeuchten adiabatisch

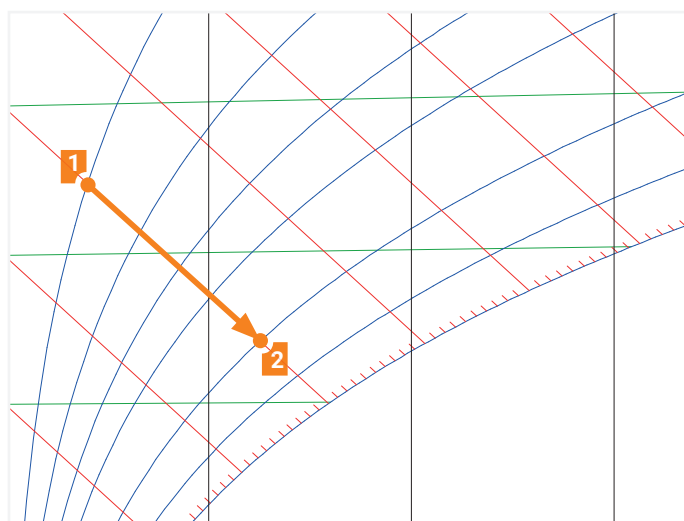


Bild 23: Adiabatische Befeuchtung im h,x -Diagramm

Die adiabatische Befeuchtung erfolgt durch Einspritzung von Wasser in den Luftstrom. Es gibt dazu verschiedene Verfahren (siehe auch Kapitel Luftbefeuchter 3.4.5).

Das eingespritzte Wasser verdunstet und entzieht damit der Luft entsprechende Wärmeenergie. Die Luft kühlt sich dabei ab.

Im h,x -Diagramm verläuft dieser Prozess entlang der Linie mit konstanter Enthalpie (Isenthalpen) von links oben nach rechts unten.

2.6.2.1 Befeuchten isotherm

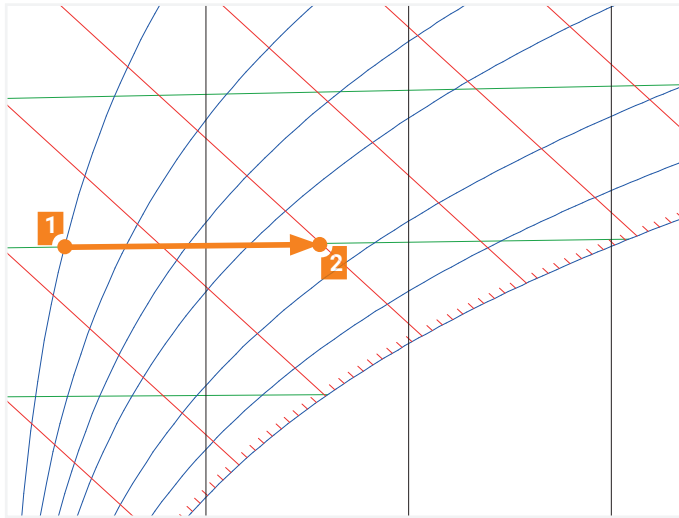


Bild 24: Isothermes Befeuchten mit Dampf im h,x-Diagramm

Das Befeuchten mit Dampf erfolgt durch Beimengen von Wasserdampf in den Luftstrom. Es gibt dazu verschiedene Verfahren (siehe auch Kapitel Luftbefeuchter 3.4.5).

Wird die Luft mit Niederdruck-Sattdampf befeuchtet, kann die Zustandsänderung als isotherm angesehen werden. Im h,x-Diagramm verläuft dieser Prozess entlang der Linie mit konstanter Temperatur (Isotherme).



2.6 Zusammenfassung der Grundlagen

Die folgenden Punkte sind die wichtigsten Aussagen dieses Kapitels:

- Konditionierte Frischluft für geschlossene Räume ist hinsichtlich **Gesundheit, Wohlbefinden und Energieeffizienz** essenziell. Dafür werden in modernen Gebäuden typischerweise RLT-Geräte eingesetzt.
- Das RLT-Gerät kann je nach Ausführung die Lufttemperatur, die Luftfeuchte, die Luftqualität und teilweise die Luftgeschwindigkeit beeinflussen.
- Die thermische Behaglichkeit (Wohlbefinden) der sich im Raum befindenden Personen ist wichtig, damit diese leistungsfähig sind und gesund bleiben.
- Neben der durch das RLT-Gerät bestimmten Faktoren wie Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und Lufttemperatur spielen auch die jeweilige Aktivität und Kleidung sowie die Oberflächentemperatur im Raum eine Rolle.
- Jeder Mensch empfindet die Behaglichkeit anders und hat eigene Präferenzen an das Raumklima. Deshalb gibt es einen Behaglichkeitsbereich der Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte, in dem sich die grosse Mehrheit der Raumnutzer wohl fühlt.
- Die Luftqualität in den Räumen spielt bezüglich Gesundheit und Wohlbefinden eine grosse Rolle.
- Die Luftqualität drückt sich durch die Konzentration von CO₂, VOC und/oder PM aus.
- Durch gefilterte Frischluftzufuhr des RLT-Gerätes kann die Luftqualität im Gebäude resp. in den Räumen beeinflusst werden.
- Die Luftströme, die zum RLT-Gerät hin oder von diesem weg führen, haben jeweils eine eindeutige Bezeichnung: **Aussen-, Zu-, Ab-, Fort- oder Umluft.**
- Je nach Gebäudeart, Einbauort und Anwendung ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an das jeweilige Luftaufbereitungsgerät.
- Die wesentlichen Zustandsgrössen der Luft sind die Temperatur, die absolute und relative Feuchte und die Enthalpie. Diese Zustandsgrössen stehen untereinander in Beziehung.
- Mit der Konditionierung (Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten) durch das RLT-Gerät erfährt die Luft verschiedene Zustandsänderungen. Diese Zustandsänderungen können in einem h,x-Diagramm nach Mollier veranschaulicht werden.

3 RLT-Geräte und Komponenten

Wie zuvor beschrieben, wird ein RLT-Gerät dazu verwendet, die in einem Raum oder Gebäude benötigte Luft bedarfsgerecht aufzubereiten. Aufbereiten bedeutet, dass die Luft entsprechend dem Bedarf gefiltert, temperiert, be- oder entfeuchtet und dem Raum und/oder Gebäude eingeblasen oder abgesaugt wird.

Je nach Anwendung und Bedarf können verschiedene Ausführungen und Formen unterschieden werden. In den folgenden Unterkapiteln werden diese Themen entsprechend behandelt.

3.1 Anwendungen/Einsatzbereiche

Die Anforderungen an ein RLT-Gerät hängen von der Anwendung ab, in welcher das Gerät benötigt wird. Folgende Anwendungen mit ihren Eigenschaften können unterschieden werden (nicht abschliessend):

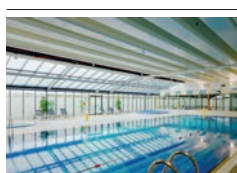
	Anwendung Büros, Schulen und Versammlungsräume	Anforderung Abführen von Luftbelastungen durch Personen sowie teilweise von internen Wärmelasten. Zuführen von konditionierter Ersatzluft.
	Anwendung Flughäfen und Messehallen	Anforderung Grosse Volumenströme für die Abführung von Wärmelasten.
	Anwendung Museen und Kunstgalerien	Anforderung Konstante Raumbedingungen → kleine Temperatur- und Feuchtigkeitsbereiche zum Schutz vor vorzeitiger Alterung.
	Anwendung Data Center	Anforderung Reduzierung der Kühllasten mit minimalem Frischluft- und maximalen Umluftanteil. Einsatz adiabatischer Kühlung mit hocheffizienter Energierückgewinnung. Konzepte mit freier Kühlung möglich.
	Anwendung Schwimmbad	Anforderung Reduzierung der Luftfeuchte für Komfortsteigerung und Schutz gegen Feuchtigkeitsschäden.
	Anwendung Schiffahrt	Anforderung Zuführung von Frischluft für Komfortsteigerung und Reduktion der Luftfeuchte zum Schutz gegen Feuchtigkeitsschäden. Anlagen müssen korrosionsbeständig sein.
	Anwendung Spital und Labor	Anforderung Konstante Temperatur- und Feuchtigkeitswerte. Tiefe Feinstaubbelastung. Anlagen müssen höchste hygienische Standards aufweisen.
	Anwendung Pharmazeutische und chemische Industrie	Anforderung Definierte Reinraumbedingungen mit teilweise hohen Anforderungen an die Raumlufthtemperatur und Feuchte.
	Anwendung Generelle Industrie mit höheren Ansprüchen	Anforderung Definierte Klimabedingungen für konstante Produktionsqualität ohne Betriebsunterbrüche.

Tabelle 7: Anwendungen und Einsatzbereiche

3.2 Anlagentypen

Grundsätzlich kann zwischen drei grundsätzlich verschiedenen Anlagentypen unterschieden werden, die jeweils weiter unterteilt werden können:

- Zuluft- oder Abluftanlage
- Lüftungsanlage
- Klimaanlage

Die Erklärung der Symbole und die Funktion der entsprechenden Komponenten wird im anschliessenden Kapitel genauer erläutert.

3.2.1 Zu- oder Abluftanlage

Zu- oder Abluftanlagen sind «Ein-Richtungs-Lüftungsanlagen» (ELA), die einen Luftstrom nur in einer Richtung erzeugen. Mit der Zuluftanlage wird einem Gebäude Luft (in der Regel Aussenluft) mechanisch zugeführt. Dadurch entsteht ein geringfügiger Überdruck, der die Luft über definierte Öffnungen abströmen lässt. Die Zuluft wird dabei gefiltert und kann ggf. auch erwärmt werden. Bei einer Abluftanlage wird die verbrauchte Luft im Gebäude oder Raum durch ein Abluftgerät abgesaugt und ausgeblasen. Im Gebäude wird dabei ein geringfügiger Unterdruck erzeugt, sodass Ersatzluft von aussen über Nachströmöffnungen einströmt.

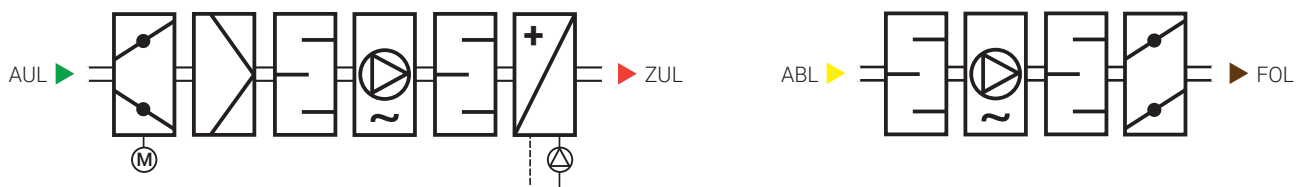


Bild 25: Zu- oder Abluftanlage

3.2.2 Lüftungsanlage

Ob Büro- oder Gewerbebauten, die Lüftungsanlage ist der am häufigsten anzutreffende Lüftungsanlagentyp. Im Gegensatz zu einer Zu- oder Abluftanlage fördert eine Lüftungsanlage gleichzeitig die Aussenluft dem Gebäude zu und die «verbrauchte» Abluft auch wieder ab. Daher spricht man auch von einer «Zwei-Richtungs-Lüftungsanlage» (ZLA). Aus energetischen Gründen muss dabei die Wärme von der Abluft auf die Zuluft übertragen werden (Wärmerückgewinnung). Je nach Ausführung kann die Zuluft auch zusätzlich erwärmt und/oder befeuchtet werden.

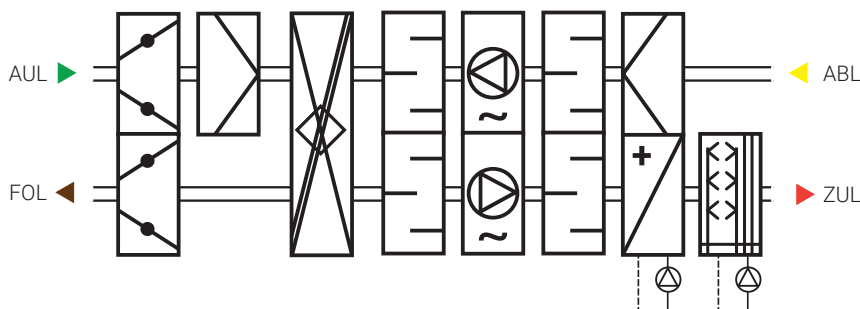


Bild 26: Lüftungsanlage

3.2.3 Klimaanlage

Gegenüber einer Lüftungsanlage unterscheidet sich eine Klimaanlage insofern, als dass diese die Luft aktiv kühlen und bei Bedarf auch entfeuchten kann.

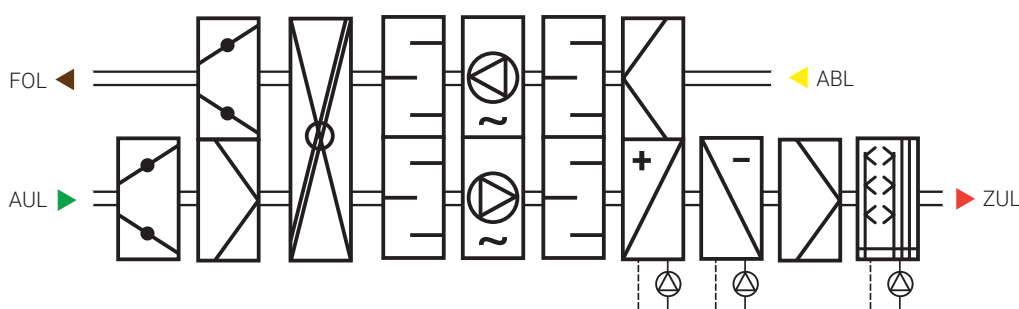


Bild 27: Klimaanlage

3.3 Bauformen

Grundsätzlich können die RLT-Geräte bezüglich Luftvolumenstrom und Bauweise unterschieden werden. Gemäss europäischer Ökodesign-Verordnung (VO EU 1253/2014) kann wie folgt unterteilt werden:

Bestimmungszweck	Höchst rate des Luftvolumenstroms
Wohnraum-Lüftungsanlage (WLA)	< 250 m³/h
Bestimmungszweck gemäss Herstellerangaben Wohnraum-Lüftungsanlage (WLA) oder Nichtwohnraum-Lüftungsanlage (NWL A)	250–1000 m³/h
Nichtwohnraum-Lüftungsanlage (NWL A)	> 1000 m³/h

Tabelle 8: Bestimmungszweck von RLT-Geräten

In Abhängigkeit des Luftdurchflusses können die Auslegung der Komponenten, die Bauweise und Materialien und die Wahl der Feldgeräte unterschiedlich ausfallen. Das muss aber nicht zwingend mit der oben aufgeführten Unterteilung korrelieren. RLT-Geräte können zusätzlich hinsichtlich ihres Aufbaus unterschieden werden. Es gibt kompakte und modulare RLT-Geräte.

Kompaktgeräte sind RLT-Geräte für häufige Anwendungen und vielfach in sehr grossen Stückzahlen gefertigt. Oft sind die Komponenten (z. B. Filter, Ventilatoren etc.) in ein Gehäuse eingebaut und brauchen daher weniger Platz als modulare Geräte. Oft bieten RLT-Hersteller standardisierte Geräte mit abgestuften Luftvolumenströmen an, die sich bezüglich Ausstattung nur begrenzt ergänzen resp. konfigurieren lassen. Normalerweise sind in solchen Geräten die Heiz- und Kühlregister in den nachgelagerten Verteilsystemen eingebaut.



Bild 28: Kompaktes RLT-Gerät (Quelle: Salda UAB)



Bild 29: Modulares RLT-Gerät (Quelle: Salda UAB)

Modulare RLT-Geräte (Monoblöcke) sind häufig spezifisch für ein Projekt oder eine Applikation ausgelegt und einmalig. Diese zeichnen sich durch eine flexible Modulbauweise aus, in der alle Komponenten individuell auf die Applikations- oder Kundenbedürfnisse angepasst werden. Mit einer von den Herstellern zur Verfügung gestellten Auslegungssoftware lassen sich alle Komponenten auf die situativen Anforderungen und deren Betriebspunkt definieren.

3.4 Komponenten

Ein RLT-Gerät besteht aus einer Kette von Komponenten, die die Luft adäquat behandeln, aufbereiten und fördern.

Die folgende Grafik, die ein offenes RLT-Gerät in einer maximal möglichen Ausprägung zeigt, gibt einen Überblick über die wichtigsten Komponenten und deren Funktion. Die anschließenden Kapitel erklären die jeweiligen Komponenten im Detail.

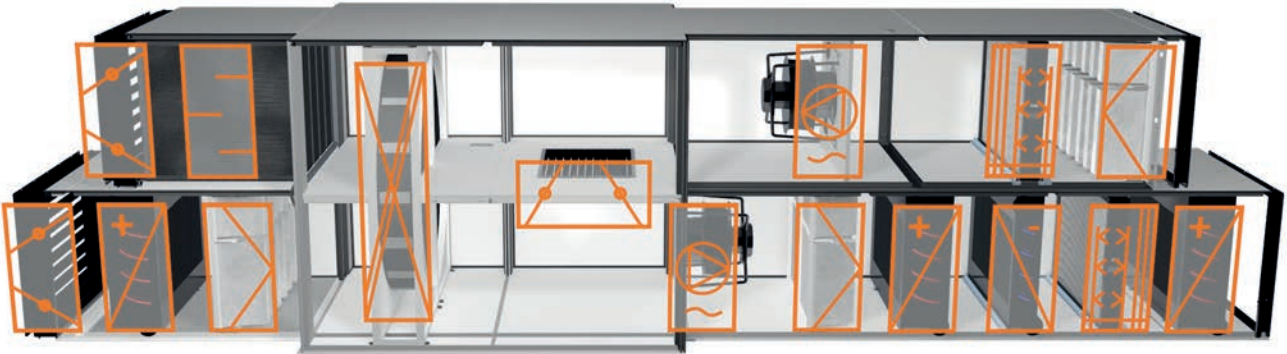


Bild 30: Komponenten eines RLT-Gerätes

Symbol	Funktion	Komponente
	- Zufuhr Aussenluft unterbinden - Schäden bei abgeschalteter Anlage verhindern	Klappe
	- Aussenluft filtern - Zuluft filtern - Abluft filtern	Luftfilter
	- Schallausbreitung reduzieren	Schalldämpfer
	- Wärme rückgewinnen - Energie rückgewinnen	Wärmerückgewinnung (WRG) Plattenwärmeübertrager Rotationswärmeübertrager Kreislaufverbundsystem
	- Umluft beimischen	Klappe

Tabelle 9: Übersicht der Komponenten eines RLT-Gerätes

Symbol	Funktion	Komponente
	- Zuluft fördern - Abluft fördern	Ventilator
	- Aussenluft vorwärmen - Zuluft erwärmen - Zuluft nachwärmen	Wärmeübertrager Lufterhitzer
	- Zuluft kühlen - Zuluft entfeuchten	Wärmeübertrager Luftkühler
	- Zuluft befeuchten	Luftbefeuchter
	- Abluft adiabatisch befeuchten resp. kühlen	Luftbefeuchter

3.4.1 Luftfilter



Luftfilter entfernen Verunreinigungen und Schadstoffe in Form von festen Teilchen aus der Luft. Dabei haben Filter in der Lüftungsanlage drei Hauptzwecke zu erfüllen:

- Personenschutz in Bürogebäuden, Spitälern, Wohnräumen
- Produkteschutz in der Lebensmittel-, Chemie- und Pharmaindustrie
- Anlagenschutz für Komponenten wie WRG, Befeuchter, Kühler usw.

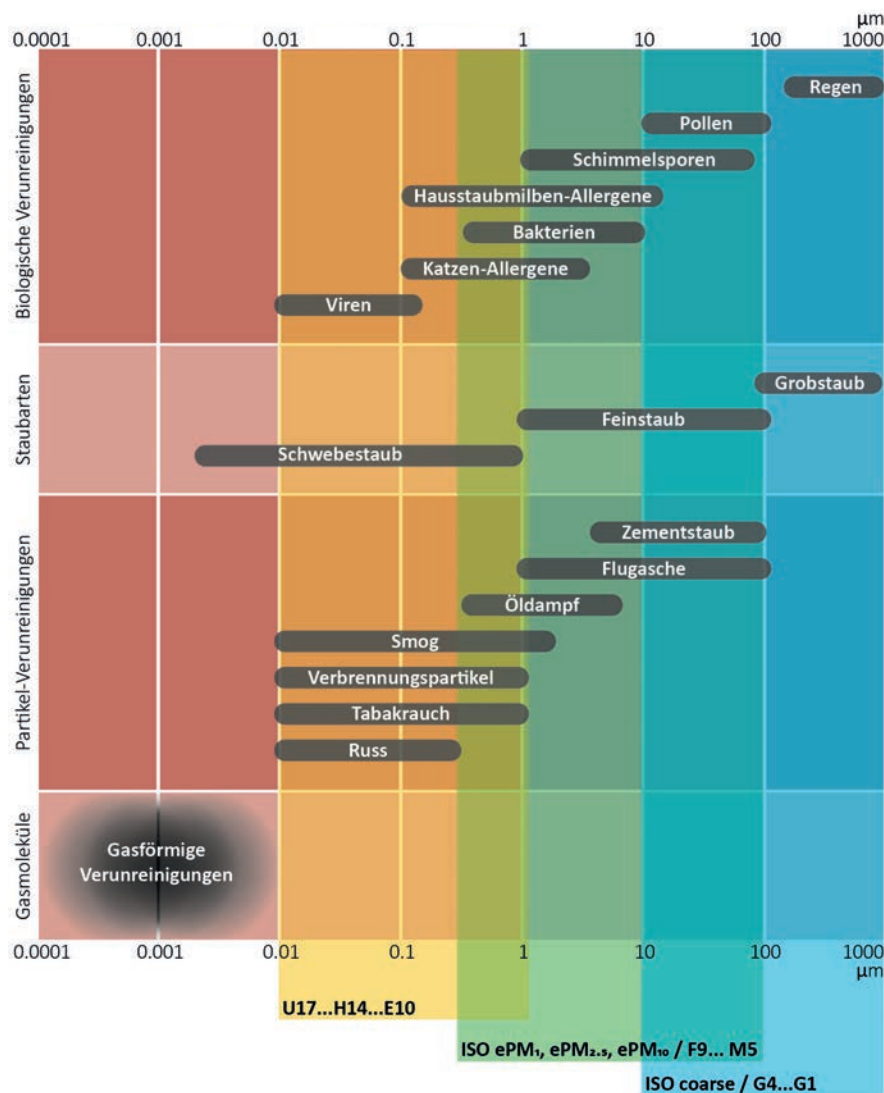


Bild 31: Partikelgrößen und Filterklassen (Quelle: Unifil AG Filtertechnik)

Je nach Anforderung an die Filtration werden Filtertyp, Bauform und Filterklasse bestimmt. Als Feinstaubfilter werden meist Taschen-, Kassetten- oder Zellenfilter eingesetzt. Wenn es um Schwebstofffilter in Reinraumanwendungen geht, kommen bevorzugt Plattenfilter zum Einsatz.

Die nebenstehende Grafik zeigt, welche Filterklasse gewählt werden muss, um entsprechende Luftinhaltsstoffe abzuscheiden.

Mit zunehmender Verschmutzung eines Filters nimmt der Widerstand im Luftstrom (Druckverlust) und somit die Druckdifferenz über dem Filter zu. Spätestens bei Überschreitung eines höchstzulässigen Druckabfalls muss der Filter gewechselt werden. Aus energetischen Gründen schreibt die Ökodesign-Richtlinie (VO EU 1253/2014) vor, dass dieser Druckabfall überwacht werden muss.

3.4.1.1 Grob- und Feinstaubfilter

In der ISO-Norm 16890 werden vier Filterklassen geführt. ISO coarse (Grobstaubfilter) und drei Feinstaubklassen, die den bekannten Feinstaubwerten der Umwelttechnik (PM1, PM2.5, PM10) entsprechen.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der verschiedenen Filtergruppen und Klassierungen. Eine Filterklasse nach ISO16890 wird erreicht, wenn die Partikel im entsprechenden Grössenbereich zu mindestens 50 % ausgefiltert werden. Diese Bereiche sind grün markiert.

Filterklassen nach ISO 16890	Anfangsdruck-differenz [Pa]	Enddruck-differenz [Pa]	Filterklasse nach EN779:2012*	PM1 0.3–1 µm [%]	PM2.5 0.3–2.5 µm [%]	PM10 0.3–10 µm [%]	ISO coarse Prüfstaub [%]	Anwendung	
 ISO coarse	20–50	200	G1					sehr geringe Anforderungen	
			G2				> 30 %		
			G3				> 45 %		
			G4				> 60 %		
 ISO ePM2.5	40–80	300	M5	< 20	< 40	> 50		AUL-Filtere für geringe Anforderungen (Garagen, Werkhallen) oder ABL-Filter	
			M6	< 40	50–60	> 60			
 ISO ePM1	70–180		F7	50–75	> 70	> 80		AUL Filter für Büros, Läden, Restaurants oder Schulen	
			F8	70–85	> 80	> 90			
			F9	> 85	> 90	> 95			

Tabelle 10: Filterklassen nach ISO 16890 (Quelle Bilder: Unifil AG Filtertechnik)

* EN779:2012 wurde durch ISO 16890:2017 abgelöst. Ein exakter direkter Vergleich der Filterklassifizierung ist aufgrund unterschiedlicher Methodik nicht möglich. Die Liste gilt nur als Orientierungshilfe für die Vergleichbarkeit und deckt sich auch weitgehend mit Empfehlungen der gängigen SWKI Richtlinien.

Nach ISO 16890 kann ein Filter zum Beispiel die Klassierung ISO ePM1 70% aufweisen. Dies bedeutet, dass dieser Filter 70% der PM1-Partikel abscheidet, also der Feinstpartikel, die kleiner als 1 µm sind. Ein ISO ePM10 50%-Filter scheidet entsprechend 50% der Feinpartikel < 10 µm ab.

Aufgrund dieser Klassierung ist es möglich, dass Filter, der Feinstaubbelastung am Einsatzort entsprechend, ausgewählt werden können. Die Wahl des richtigen Filters ist sehr wichtig und ist von der Anwendung, der erforderlichen Zuluftqualität und der Aussenluftbelastung abhängig.

Für den Filterwechsel ist die Enddruckdifferenz massgebend. Diese kann für jeden Filter aus oben aufgeführter Tabelle entnommen werden.

Auch wenn die Enddruckdifferenz noch nicht erreicht ist, müssen aus hygienischen Gründen Filter in der ersten oder alleinigen Filterstufe jährlich gewechselt werden. Die Filterrichtlinie SWKI VA101-01 und die Hygienerichtlinie SWKI VA104-01 gehen ausführlich auf diese Themen ein.

Genauso wichtig bei Luftfiltern ist das Thema Energieeffizienz. Die SIA 382/1 gibt vor, dass bei Neuanlagen mit Personenbelegung zwingend Luftfilter einzusetzen sind, die nachweislich die Energieklasse A erreichen. Eurovent Certification definiert und vergibt Energieklassen und führt öffentlich eine Liste aller zertifizierten Produkte.

3.4.1.2 Schwebstofffilter

Wenn es um sehr hohe Anforderungen der Luftqualität geht, kommen Schwebstofffilter zum Einsatz. Typische Einsatzgebiete sind Spitäler sowie Reinräume für verschiedenste Anwendungsgebiete. Die Wahl der richtigen Filter ist von vielen Faktoren abhängig und kann nur von entsprechenden Reinraumspezialisten bestimmt werden. Für die Auslegung, die Inbetriebnahme, den Betrieb und die Wartung sind die gültigen Normen und Richtlinien zu beachten.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Filterklassen der Schwebstofffilter nach EN1822 aufgelistet.

Filtergruppe*	Filterklasse	Mindest-Abscheidegrad für MPPS** [%]	Beispiele Partikel	Anwendungen
 EPA	E10	85	Tonerpartikel	Nahrungsmittelindustrie
	E11	95	Ölnebel	Chemie und Pharma
	E12	99.5	Bakterien	Medizinaltechnik Spitäler Mikrobiologie
 HEPA	H13	99.95	Tabakrauch	Elektronik und Mikroelektronik
	H14	99.995	Russ Smog	Halbleiterproduktion
 ULPA	U15	99.999'5	Viren	
	U16	99.999'95	Gasmoleküle	
	U17	99.999'995		

Tabelle 11: Schwebstofffilterklassen nach EN 1822 (Quelle Bilder: Unifil AG Filtertechnik)

* Filtergruppe:

EPA = Efficient Particulate Air filter, HEPA = High Efficiency Particulate Air filter, ULPA = Ultra Low Penetration Air filter

** MPPS (most penetrating particle size): Schwebstofffilter werden in der Partikelgrösse, die am schlechtesten abgeschieden wird, geprüft. Kleinere und grössere Partikel werden vom Filter besser abgeschieden.

Um die Standzeiten der Schwebstofffilter zu verlängern (5–8 Jahre), werden Feinstaubfilter (Tabelle 10) als Vorfilter eingesetzt. Dabei sind in der Regel zwei Filterstufen mit den Klassen ePM1 > 50% und ePM1 > 80% vorgesehen.

3.4.1.3 Sensoren für Luftfilter

Sensoren können für folgende Anwendungsfälle eingesetzt werden:

Was	Beschreibung	Einstellwert
Wartungsanzeige	Ein Differenzdruckschalter über dem Filter gibt an, wenn eine eingestellte Druckdifferenz erreicht wird, die einen Filterwechsel anzeigt.	Enddruckdifferenz gemäss Tabelle 10
Wartungsanzeige bei Teilluftmengen	Da sich der Differenzdruck bei Teilluftmengen über dem Filter mit dem Reduzieren der Luftmenge ebenfalls reduziert, kann ein Differenzdruckschalter einen vollen Filter nicht detektieren. Ein Differenzdrucksensor kann den Differenzdruck jederzeit messen und anhand des Proportionalgesetzes (Druckabfall ändert sich zur Volumenstromreduktion im Quadrat) einen vollen Filter anhand der momentanen Luftmenge ausrechnen. Die ansteigende Druckdifferenz über dem Filter ist ein Mass für den ungefähren Verschmutzungsgrad.	Enddruckdifferenz gemäss Tabelle 10
Luftbelastung messen	Um die Luftbelastung von PM zu detektieren, werden PM2.5- oder PM10-Sensoren eingesetzt.	

Tabelle 12: Sensoren für Luftfilter

3.4.2 Ventilator



Der Zuluftventilator fördert die Luft von aussen durch das RLT-Gerät und die Zuluft bis in den Raum. Auf der anderen Seite fördert der Abluftventilator die Luft vom Raum durch das RLT-Gerät und danach nach aussen. Dazu müssen die Ventilatoren den Widerstand der Komponenten innerhalb des RLT-Gerätes und des Kanalnetzes überwinden. Der zwischen Zuluft- und Abluftventilator aufzubringende Luftdruck kann, je nach Ausführung des RLT-Gerätes und des Kanalnetzes, sehr unterschiedlich sein und bis zu mehreren hundert Pascal betragen.

Da die Ventilatoren einen wesentlichen Anteil an die Effizienz eines RLT-Gerätes beitragen, setzt die Ökodesign-Richtlinie einen bestimmten Systemwirkungsgrad (Wirkungsgrad des Ventilators, Motors und der Regelung) voraus.

Die folgenden Ventilatorenmodelle können in RLT-Geräten vorkommen:

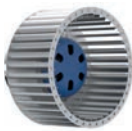
Bauart	Ausführung/Anwendung		Wirkungsgrad
Radialventilator	Vorwärts gekrümmte Schaufel	Vorwärts gekrümmte Schaufeln für geringe Drücke Ausgeführt mit Spiralgehäuse	0.4–0.7
		Aufgrund des tiefen Wirkungsgrads in neuen RLT-Geräten kaum mehr eingesetzt	
	Rückwärts gekrümmte Schaufel	Rückwärts gekrümmte Schaufeln für hohe Drücke Ausgeführt mit Spiralgehäuse oder als freiblasende Laufräder	0.6–0.85
			
Axialventilator (Lufteintritt axial, Luftaustritt axial)	Grosse Volumenströme und geringe Gesamtdrücke		0.4–0.7
		Eingesetzt in RLT-Geräten als «Fan Grid» (Anordnung von mehreren, parallelen Axialventilatoren)	

Tabelle 13: Übersicht Ventilatorarten (Quelle Bilder: ZIEHL-ABEGG SE)

Der Wert für den benötigten Differenzdruck und die Luftmenge muss jeweils vom Hersteller des Lüftungsgerätes berechnet und bei der Wahl des Ventilartyps und der Ventilatorleistung berücksichtigt werden. Dazu gibt es entsprechende Ventilator-Kennfelder resp. Auslegungsprogramme.

3.4.2.1 Ventilator-Kennfeld

Die vom Ventilator geförderte Luftmenge steht im Zusammenhang mit der Druckerhöhung, die er aufwenden kann. Diese physikalische Eigenschaft führt dazu, dass jeder Ventilator bei einer konstanten Drehzahl eine bestimmte Kennlinie (Volumenstrom zu Druckerhöhung) hat. Je höher der benötigte Druck, umso geringer die Luftmenge bei konstanter Drehzahl (die Ausnahme sind Ventilatoren mit vorwärts gekrümmten Laufrädern, bei denen das nicht über den ganzen Einsatzbereich der Fall ist). Diese Kennlinien haben den Vorteil, dass die Luftmenge anhand des Diagramms bestimmt werden kann, wenn der Druckverlust sowie die Betriebsdrehzahl einer Lüftungsanlage bekannt sind. Kennlinien für verschiedene Drehzahlen können in einem Ventilator-Kennfeld, wie in der Grafik anbei, dargestellt werden. Ein Ventilator besitzt einen optimalen Betriebspunkt, bei welchem der Systemwirkungsgrad am besten ist.

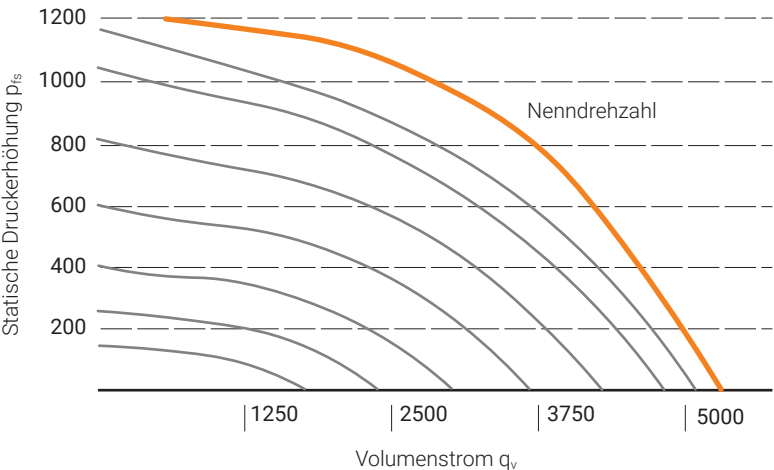


Bild 32: Ventilator-Kennfeld (Quelle: ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG)

3.4.2.2 Volumenstromregulierung

Die Volumenstromregulierung wird bei mehrstufigen oder bedarfsgeregelten RLT-Geräten eingesetzt, die nur einen Raum oder eine Zone versorgen.

Die geförderte Luftmenge (Volumenstrom) kann durch die Ventilator Drehzahl beeinflusst werden. Modulierende Ventilator Drehzahlen können entweder durch den Einsatz von EC-Ventilatoren (mit integriertem Controller) oder durch einen zusätzlichen Frequenzumformer bei AC-Motoren erreicht werden. Ein Frequenzumformer ändert die Stromfrequenz und kann so die Drehzahl des Ventilators reduzieren. Dies ermöglicht eine stufenlose Drehzahlregulierung, was vor allem für Anlagen mit variablem Volumenstrom eingesetzt werden kann. Sowohl EC-Ventilatoren als auch Ventilatoren mit Frequenzumformern können über die Drehzahlregelung möglichst energieeffizient am gewünschten Betriebspunkt betrieben werden.

3.4.2.3 Volumenstrommessung am Ventilator (Wirkdruck-Messverfahren)

Der geförderte Volumenstrom eines Ventilators kann gemessen und gegebenenfalls damit geregelt werden. Dazu wird der Wirkdruck (statischer Differenzdruck) zwischen Saugseite und der Einlaufdüse gemessen (siehe folgende Darstellungen). Mittels

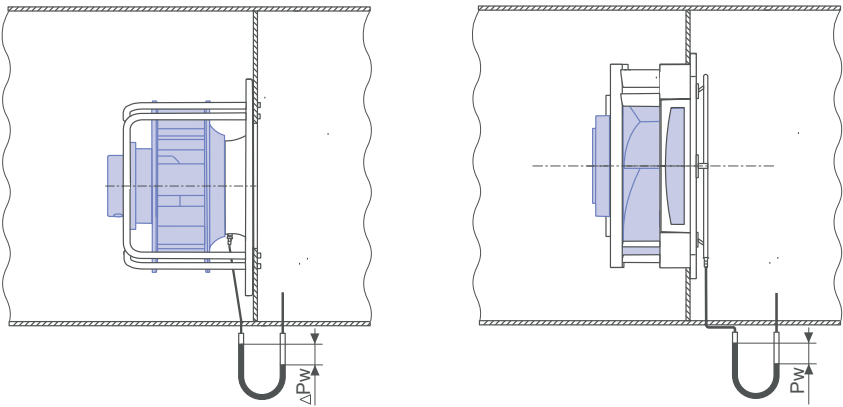


Bild 33: Messung des Wirkdrucks bei Radialventilatoren (Quelle: ZIEHL-ABEGG SE)

von den Ventilatorherstellern für ihre jeweiligen Ventilortypen genannten «k-Faktoren» (Düsenbeiwert) und einer individuellen Formel (siehe folgende Tabelle) kann der Volumenstrom berechnet werden.

Der an der Einlaufdüse gemessene Druck ist nicht mit der statischen Druckerhöhung, die ein Ventilator im Betriebspunkt erzielt, zu verwechseln. Die statische Druckerhöhung im Kennfeld eines Ventilators sagt aus, wie viel statischer Druckverlust der Ventilator überwinden kann, um eine bestimmte Luftmenge zu fördern.

Folgend eine Liste mit den gängigsten Herstellern von Ventilatoren mit den entsprechenden Berechnungsformeln.

Hersteller	Gleichung	K-Faktor	Einheit
Fläkt Woods	$q = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\Delta P}$	0.3...99	m³/s
Rosenberg	$q = k \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$	37...800	m³/h
Nicotra	$q = C_{PFN} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$	10...1500	m³/h
Comefri	$q = k \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$	10...2000	m³/h
Ziehl-Abegg	$q = k \cdot \sqrt{\Delta P}$	10...1500	m³/h
EBM-Pabst	$q = k \cdot \sqrt{\Delta P}$	10...1500	m³/h
Gebhardt	$q = k \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$	50...4700	m³/h

- q
- Volumenstrom in m³/h
- k/CPFN
- Faktor für spezifische Düsen-eigenschaften (Düsenbeiwert / herstellerspezifisch)
- ΔP
- Differenzdruck der statischen Drücke in Pa
- ρ
- Luftdichte bei vorliegendem Betriebspunkt in kg/m³
Wenn die Luftdichte in der Gleichung nicht berücksichtigt wird, bezieht sich diese auf den Normzustand bei 20 °C.

Tabelle 14: Volumenstrom-Berechnungsformeln mit Berücksichtigung des k-Faktors

3.4.2.4 Sensoren für Ventilatoren

Sensoren können für folgende Anwendungsfälle eingesetzt werden:

Was/Wo	Beschreibung	Einstellwert
Ventilatorüberwachung	Ein Differenzdruckschalter misst den Druckunterschied vor und nach dem Ventilator. Beim Unterschreiten eines gewissen Druckwertes kann detektiert werden, ob der Ventilator dreht oder nicht (z. B., wenn der Keilriemen reissen würde).	Gemäss Ventilatorangaben
Anzeige Druckunterschied	Die Anzeige des Druckunterschiedes am RLT-Gerät ist für das Instandhaltungspersonal Indiz für die Drehzahl.	Gemäss Ventilatorangaben
Anzeige Luftmenge	Anhand des k-Faktors kann die geförderte Luftmenge infolge des Differenzdrucks ermittelt werden. Diese kann zur Info an ein Gebäudemanagementsystem gesendet oder auf dem Display des Differenzdrucksensors angezeigt werden.	Gemäss Ventilatorangaben

Tabelle 15: Sensoren für Ventilatoren

3.4.3 Wärmerückgewinnung (WRG)



Um den Energieverbrauch für die Luftaufheizung im Winter zu reduzieren, schreiben alle EU-Staaten und die Schweiz Wärmerückgewinnungsanlagen in Lüftungsanlagen vor. Ob eine WRG resp. Abwärmenutzung auch für Abluftanlagen eingebaut werden muss, hängt von der Luftleistung und der Jahresbetriebszeit ab.

Gemäss den kantonalen Energievorschriften in der Schweiz ist eine WRG vorgeschrieben, wenn einer der zwei folgenden Werte übertroffen wird:

- 500 h Betriebszeit pro Jahr
- 1000 m³/h Luftmenge

Um so viel Energie wie möglich zu sparen, wird der Abluft so viel Wärme wie möglich entnommen und der Zuluft zugeführt. Dies geschieht immer unter Berücksichtigung des Druckverlustes der WRG. Es gibt ein Optimum zwischen zurückgewonnener Wärmeenergie und dem zusätzlichen Energiebedarf für die Luftförderung. Die Fortluft, die ins Freie ausgeblasen wird, wird somit abgekühlt, und im Gegenzug wird die angesaugte Aussenluft erwärmt. Die Effizienz an Wärme, die an die Zuluft abgegeben wird, wird mit dem Temperaturänderungsgrad ausgedrückt.

Es gibt Wärmerückgewinnungen mit und ohne Feuchterückgewinnung (auch «Enthalpie-Übertrager» genannt) sowie Wärmeübertrager, welche die Wärme direkt (Rekuperator) oder indirekt über ein Zwischenmedium (Regenerator) übertragen. Folgende Tabelle zeigt auf, wie die Effizienz von Wärmerückgewinnungssystemen angegeben wird:

Was	Beschreibung
Temperatur	Der Temperaturänderungsgrad gibt die Temperaturdifferenz auf der Zuluftseite dividiert durch die Temperaturdifferenz zwischen Abluft und Aussenluft an. Der Temperaturänderungsgrad gibt an, wie gross der Anteil der übertragenen sensiblen Wärmeenergie ist, wenn der Zuluft- und der Abluft-Volumenstrom gleich gross sind und keine Leckagen vorhanden sind.
Feuchte	Der Feuchteänderungsgrad gibt die Feuchtedifferenz auf der Zuluftseite dividiert durch die Temperaturdifferenz zwischen Abluft und Aussenluft an.

Tabelle 16: Effizienz von Wärmerückgewinnungssystemen

Die Verordnung VO EU 1253/2014 zur europäischen Ökodesign-Richtlinie schreibt vor, dass NWLA (Nichtwohnraum-Lüftungsanlage) mit Zu- und Abluft (sog. ZLA, «Zwei-Richtung-Lüftungsanlage») mit einer WRG ausgerüstet sind, die einen minimalen Temperaturänderungsgrad erreicht.

Beim Abkühlen der Abluft kann es vorkommen, dass die abkühlende Luft Wasser ausscheidet. Dieses Kondensat kann beim Unterschreiten des Gefrierpunktes einfrieren, was zu Effizienzverlusten, höheren Druckverlusten oder Schäden führen kann. Aus diesem Grund benötigen alle WRG-Typen einen Vereisungsschutz. Die verschiedenen Strategien sind in folgender Tabelle aufgeführt.

Eine Wärmerückgewinnung kann immer auch Kälte aus klimatisierten Räumen rückgewinnen und wird in diesem Fall als «Kälterückgewinnung» oder «KRG» bezeichnet. Einfachheitshalber wird folgend nur von einer «Wärmerückgewinnung» gesprochen.

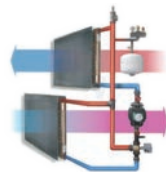
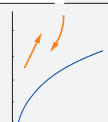
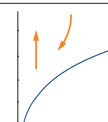
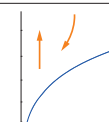
Einsatzkriterien	Rotationswärme- übertrager	Rotations-Enthalpie- wärmeübertrager	Plattenwärme- übertrager	Platten-Enthalpie- übertrager	Kreisverbundsystem (KVS)
					
Prinzip	Regenerator		Rekuperator		Regenerator
Temperatur- änderungsgrad	70...90%		60...85%	60...75%	60...75%
Temperatur- änderungsgrad gemäss ErP	min. 73%				min. 68%
Feuchte- änderungsgrad	–	70...85%	–	40...70%	–
h-X-Diagramm					
Druckverlust luftseitig	50...150 Pa		100...200 Pa		100... 250 Pa
Volumenstrom	klein bis sehr gross		klein bis mittel		mittel bis sehr gross
Platzierung in RLT	ZUL und ABL im selben RLT-Gerät				ZUL-RLT-Gerät und ABL-Gerät können separat platziert werden
Mehrere RLT-Geräte kombinierbar?	Nein				Ja
Geruchs- oder Schadstoff- übertragung	bei korrekten Druck- verhältnissen und ev. Spülzone gering	abhängig von der Art der ABL-Belas- tung und Rotorbe- schichtung	bei dichter Konstruk- tion und korrektem Einbau minimal (< 1%)	abhängig von der Membrane und der ABL-Belastung	ausgeschlossen
Einsatz für Kühlung und Entfeuchtung	- Entfeuchtung - Desiccant-Cooling		indirekte Verdunstungskühlung		
Leistungsregelung auf maximalen Temperatur- änderungsgrad	einfach, durch Drehzahlregelung		bei richtiger Bypass- und Klappenauslegung einfach		schwierig, da Pumpendrehzahl an unterschiedliche Wär- mekapazität (Luft / Wasser) angepasst werden muss
Einfriergrenze	–5...–20 °C		0...–10 °C		–5...–10 °C
Vereisungsschutz	Drosselung der Rotiergeschwindigkeit und Regelung an FOL-Temperatur (z. B. 4 °C)		Bypass oder Vorwärmer in AUL		Öffnung des Bypassventils
Antriebe	Antriebsmotor für Rotor		Bypassklappe		- Umwälzpumpe - Bypassventil
Sensoren für Rückwärmzahl	1 Temp/Hum ABL 1 Temp/Hum ZUL 1 Temp/Hum AUL	1 Temp ABL 1 Temp ZUL 1 Temp AUL	1 Temp ABL 1 Temp ZUL 1 Temp AUL	1 Temp/Hum ABL 1 Temp/Hum ZUL 1 Temp/Hum AUL	1 Temp ABL 1 Temp ZUL 1 Temp AUL 3 Temp für Umlenk- schaltung
Sensoren für Vereisungsschutz	Differenzdrucksensor mit Messung des Differenzdrucks über die WRG		Temperatursensor an kritischer Stelle in FOL oder Differenzdrucküberwachung vor und nach WRG		Temperatursensor in WRG-Medium

Tabelle 17: Übersicht WRG-Systeme (Quelle Bilder: Hoval)

3.4.3.1 Rotationswärmeübertrager

Rotationswärmeübertrager sind langsam drehende Räder, die in der Mitte zwischen Zuluft- und Abluftteil rotieren. Somit ist jeweils die Hälfte im Zuluftteil und die andere Hälfte im Abluftteil. Die Wärme wird in der Abluft aufgenommen, diese in einer wabenförmigen Speichermasse zwischengespeichert und an die Zuluft wieder abgegeben. Je nach Beschichtung oder Oberflächenstruktur kann auch Feuchte übertragen werden.

Zuluft und Abluft sind hierbei voneinander getrennt, jedoch besteht immer eine minimale Kontamination, sodass verschmutzte Abluft oder Geruch in die Zuluft gelangen kann. Rotationswärmeübertrager sollten demnach nur in Anlagen mit sauberer und geruchsfreier Luft verwendet werden.

Eine weitgehende Trennung der beiden Luftströme kann nur mit richtigem Druckverhältnis erreicht werden.

Eine weitere Massnahme zur Minimierung der Übertragung der Kontamination ist eine Spülkammer, so wie im Bild rechts eingesetzt. Die Spülkammer wird jederzeit mit Aussenluft durchspült, die durch den grösseren Druck auf der AUL-Seite in die FOL gedrückt wird. Für das richtige Druckgefälle ist entscheidend, wie die Ventilatoren angeordnet sind. Folgende Tabelle zeigt die verschiedenen Ausführungen:

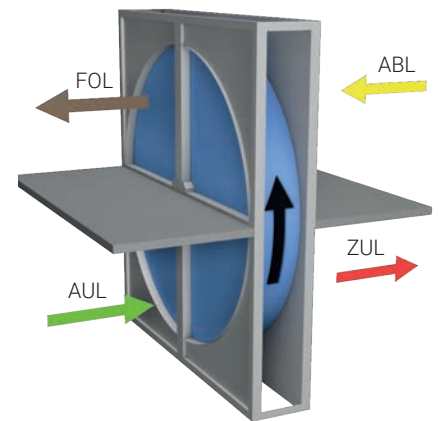


Bild 34: Funktion Rotationswärmeübertrager

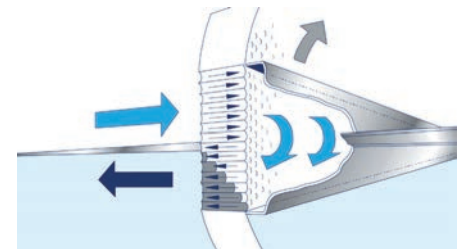
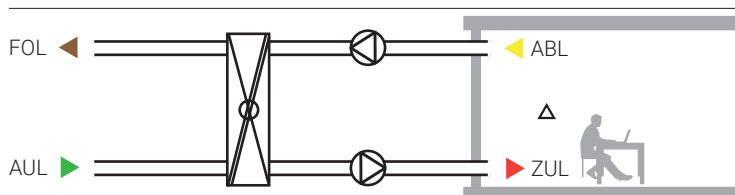
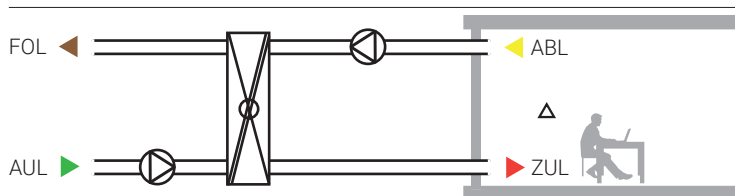
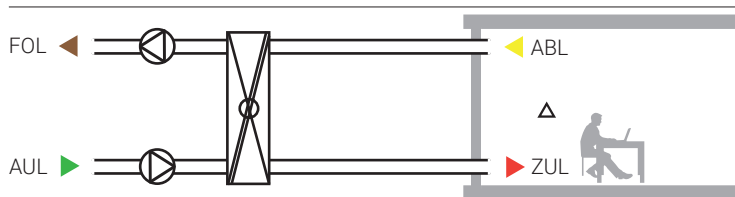
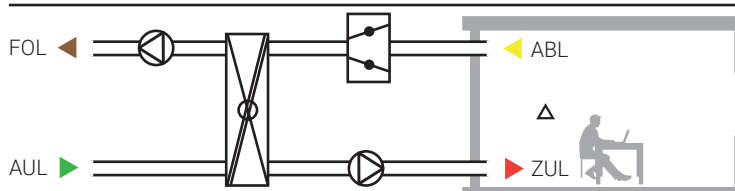


Bild 35: Spülkammer (Quelle: Klingenburg GmbH)

Schema



Beschreibung

Wärmeübertrager saugseitig beider Ventilatoren

- gebräuchlichste Ventilatoranordnung und wird allgemein empfohlen
- bei ungenügendem Druckgefälle zwischen ZUL und ABL kann in die ABL eine Regulierklappe eingebaut werden

Wärmeübertrager saugseitig des FOL-Ventilators und druckseitig des ZUL-Ventilators

- kleinste Übertragung von ABL in AUL
- grosser Druckunterschied
- grosse Leckluftmengen und dadurch grosser Energieverlust

Wärmeübertrager druckseitig beider Ventilatoren

- kann Probleme verursachen, da es schwierig ist, das richtige Druckverhältnis zu erreichen
- erhöhte Leckluft und damit grösserer Energieverlust

Wärmeübertrager saugseitig des Zuluftventilators und druckseitig des Fortluftventilators

- hoher Temperaturänderungsgrad durch grosse Abluftübertragung (Mischung statt WRG)
- nur bei Anlagen anwendbar, in denen hohe Umluft-raten (Leckluft) zulässig sind

Tabelle 18: Ventilatoranordnung bei Rotationswärmeübertrager

Das Einfrieren des Rotors kann mit folgenden Massnahmen verhindert werden:

- Begrenzung der Übertragungsleistung durch niedrigere Rotordrehzahl
- Aussenluftbypass (selten, da zusätzlicher Platzbedarf)
- Reduzierung der Aussenluftmenge
- Vorwärmen der Aussenluft
- Bei Anlagen mit Befeuchtung: Reduzierung der Raumfeuchte

Die üblichste Massnahme, um Vereisung zu verhindern, ist die Verminderung der Rotordrehzahl. Hierbei wird die Drehzahl auf eine konstante Fortluft-Temperatur (z. B. 4 °C) geregelt, sodass eine Vereisung verunmöglicht wird, jedoch so viel Wärme wie möglich zurückgewonnen werden kann

3.4.3.2 Plattenwärmeübertrager

Der Plattenwärmeübertrager war lange Zeit die populärste Wärmerückgewinnung. Seit der Einführung der Ökodesign-Richtlinie (auch ErP-Richtlinie genannt) sind die Mindestrückwärmzahlen für Wärmerückgewinnungssysteme derart erhöht worden, dass es bei grösseren Plattenwärmeübertragern schwierig ist, die geforderten Werte zu erreichen.

Bild 36 zeigt einen sogenannten Kreuzstrom-Wärmeübertrager, bei dem die Luftströme (ABL und ZUL) übers Kreuz aneinander vorbeigeführt werden. Getrennt sind sie im Beispiel durch Aluminiumplatten, welche die Wärme von der Abluft an die Zuluft abgeben.

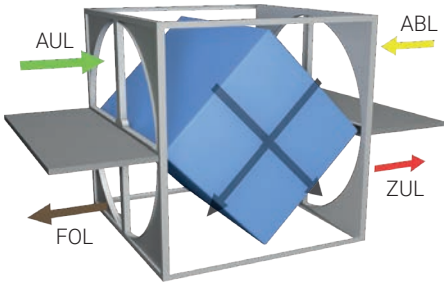


Bild 36: Funktion Plattenwärmeübertrager

Wegen den gestiegenen Anforderungen an die Energieeffizienz werden Plattenwärmeübertrager zunehmend im Gegenstromprinzip gebaut (vgl. Tabelle 19). Anstelle von Aluminium kommt bei kleinen Bauformen immer mehr Kunststoff zum Einsatz. Bei Enthalpie-Plattenwärmeübertragern werden Membranen eingesetzt, die Wasserdampf durchlassen, aber grössere Moleküle (z. B. VOC) nicht. Die Plattenabstände hängen vom geforderten Temperaturänderungsgrad und Druckverlust ab. Weiter spielen das Verschmutzungsrisiko, das Abfliessen von Kondensat und das Vereisungsrisiko eine Rolle.

Plattenwärmeübertrager haben jeweils einen Bypass, durch den die Luft fließen kann, ohne Wärme zu übertragen. Der Grad der Wärmerückgewinnung wird über den Massenstrom geregelt, der über die Wärmeübertragerflächen geführt wird. In der Regel kann dies von 0 bis 100% sein. Der Bypass wird jeweils in einem Luftstrom angeordnet, sodass ein Luftstrom in jedem Fall den Übertrager durchströmt, und der andere nur, wenn die Bypassklappe geschlossen ist. Somit kann der Bypass auf die zwei folgenden Arten realisiert werden:

- Bypass in AUL

Anlagen mit kalten AUL-Temperaturen: Bei sehr kalten Temperaturen wird ein Teil der AUL über Bypass gelenkt, um das Luftvolumen der warmen FOL im Verhältnis zu erhöhen. So wird sichergestellt, dass die Register auf der FOL-Seite nicht durch das gefrorene Kondensat vereist werden.
- Bypass in FOL

Anlagen mit schmutziger Abluft: Der Wärmeübertrager soll nicht unnötig mit dem abgesaugten Schmutz belastet werden. Bei Anlagen mit Bypass in der FOL ist es nicht möglich, eine Abtauung vorzunehmen.

3.4.3.2.1 Varianten von Plattenwärmeübertragern

Bei Plattenwärmeübertragern gibt es verschiedene Ausführungen, auf die in der unten aufgeführten Tabelle weiter eingegangen wird. Je nach Bauform variieren die Luftanschlussarten und die Rückwärmzahl.

	Kreuzstrom-Wärmeübertrager	Gegenstrom-Wärmeübertrager
Prinzipiskizze		
Temperaturänderungsgrad	50–77 %	70–85 %
Typische Luftmenge [m³/h]	4000 < 100'000	... < 5000
Typische Applikation	mittlere und grosse Anlagen	Wohnungslüftungsgeräte
Bemerkung	ErP-Richtlinien können bei kleinen Luftmengen nicht erreicht werden.	Herstellung wird für hohe Luftmengen schwierig und unwirtschaftlich. Zudem steigt der Druckverlust.

Tabelle 19: Varianten von Plattenwärmeübertragern

3.4.3.3 Kreislaufverbundsystem (KVS)

Kreislaufverbundsysteme sind voneinander vollkommen getrennte Wärmeübertrager, die über einen Zwischenkreislauf miteinander verbunden sind. Das Medium im Zwischenkreislauf, meistens ein Wasser-Glykol-Gemisch, nimmt die Wärme auf der warmen Seite auf, speichert sie, und transportiert sie auf die kalte Seite. Dieses System ermöglicht es, Abluft-RLT-Gerät und Zuluft-RLT-Gerät an separaten Standorten zu platzieren. Ebenfalls kann ausgeschlossen werden, dass kontaminierte Abluft über Leckagen an die Zuluft übertragen werden kann, da die Luftströme komplett voneinander getrennt sind.

Der Temperaturänderungsgrad hängt wesentlich vom Massenstrom im Zwischenkreislauf ab. Sowohl bei einem zu kleinen als auch einem zu grossen Verhältnis von Luftvolumenstrom zum Massenstrom im Zwischenkreislauf nimmt der Temperaturänderungsgrad ab. Für die Effizienz und die Leistungsregelung des KVS ist daher die Regelung der Umwälzpumpe im Zwischenkreislauf entscheidend. Um einen maximalen Temperaturänderungsgrad zu erreichen, muss der Wärmekapazitätsstrom im Zwischenkreislauf gleich gross sein wie derjenige im Luftvolumenstrom (d. h., der Massenstrom des Wasser-Glykol-Gemischs ist rund viermal kleiner als der Massenstrom der Luft). Zur Leistungsregelung wird die Pumpendrehzahl reduziert.

Bei Bedarf können auch mehrere RLT-Anlagen über einen gemeinsamen Wasser-Glykol-Kreislauf verbunden werden. Bei solchen Systemen wird oft noch zusätzlich Wärme (von einer Heizungsanlage) oder Kälte in den Zwischenkreislauf eingekoppelt. Diese Systeme sind regelungstechnisch sehr anspruchsvoll.

Für den Frostschutz des Zwischenkreislafs wird meist ein Gemisch von Wasser und mehrwertigen Alkoholen (Ethylenglykol) verwendet.

Um eine Vereisung des FOL-Registers zu verhindern, wird ein Temperatursensor auf der kalten Seite des Wasser-Glykol-Kreislaufs installiert, um sicherzustellen, dass die Temperatur nie unter den kritischen Wert (z. B. -2 °C, je nach Hersteller) fällt. Die Regelung erfolgt über ein Ventil im Bypass des Zwischenkreislafs (s. Bild 37).

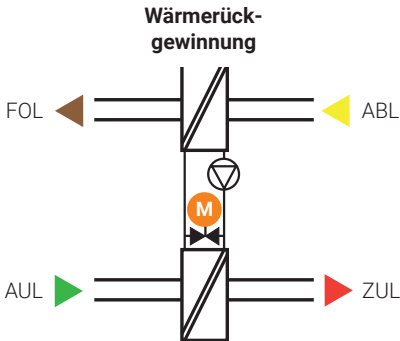


Bild 37: Funktion KVS

3.4.3.4 Sensoren und Antriebe für WRG

Sensoren und Antriebe können für folgende Anwendungsfälle eingesetzt werden:

Was/Wo	Beschreibung	Einstellwert
Regelung Wärmerückgewinnung	Temperaturen werden jeweils in - ABL - AUL - ZUL gemessen, um zu entscheiden, ob eine Wärmerückgewinnung nötig ist oder nicht. In Übergangszeiten wird die Solltemperatur zusammengemischt. Bei Enthalpieübertragern wird zusätzlich die Feuchte gemessen.	Details in Tabelle 17
Vereisungsschutz mit Temperatursensor	Um eine Vereisung detektieren zu können, werden an kritischen Stellen Temperatursensoren installiert. Bei Unterschreitung einer voreingestellten Temperatur wird die WRG-Leistung minimiert.	Siehe Tabelle 17
Vereisungsschutz mit Differenzdrucksensor	Um eine Vereisung detektieren zu können, wird ein Differenzdrucksensor eingebaut, der den Druck abluftseitig vor und nach der WRG misst. Durch eine Zunahme des Differenzdrucks kann eine Vereisung detektiert werden.	Siehe Tabelle 17
Klappenantrieb	Für den Bypass des Plattenübertragers wird ein Klappenantrieb eingesetzt, der die Luft nach Bedarf über den Bypass oder das Register leiten kann.	Siehe Tabelle 17

Tabelle 20: Sensoren und Antriebe für WRG

3.4.4 Wärmeübertrager

3.4.4.1 Lufterhitzer



Der Lufterhitzer sorgt dafür, dass die Luft auf die Temperatur erwärmt wird, mit der sie in einen Raum eingeblasen wird. In der Regel ist dem Lufterhitzer eine Wärmerückgewinnung vorgeschaltet, welche die Luft schon vorgewärmt hat. Der Lufterhitzer muss somit nur noch die Differenz zwischen Einblastemperatur und Austritt aus der WRG übernehmen.

Bei RLT-Geräten werden praktisch nur noch Lamellenrohr-Wärmeübertrager eingesetzt. Bei diesen wird warmes Wasser durch die Kupferrohre gepumpt, die verbunden über Aluminiumlamellen die Wärme an die Luft übertragen.

Elektrolufterhitzer, welche Wärme durch elektrischen Strom produzieren, sind nur unter bestimmten Umständen zulässig (z. B. bei sehr kleinen Leistungen) und werden daher selten eingebaut.

Je nach Ausprägung des RLT-Gerätes können mehrere Lufterhitzer eingesetzt werden. Dabei wird zwischen einem Vorwärmer und einem Nachwärmer unterschieden. Der Vorwärmer wird meist direkt vor der WRG eingesetzt. Der Nachwärmer wird nach der Befeuchtung mit dem Ziel eingesetzt, die durch die Be- oder Entfeuchtung abgekühlte Luft auf die gewünschte Temperatur zu erhitzen (siehe dazu auch Kapitel 5.3.2.3 Feuchteregelung).



Bild 38: Wärmeübertrager (Quelle: Trox GmbH)

3.4.4.2 Luftkühler



Der Luftkühler hat die Aufgabe, Luft auf die Einblastemperatur eines Raumes zu kühlen. Die Bauart entspricht in etwa der des Lufterhitzers. Da jedoch der Temperaturunterschied zwischen Wasser und Luft kleiner ist, müssen die Kühlerflächen grösser sein, wodurch mehr Rohrreihen mit Lamellen benötigt werden.

Vielfach wird beim Kühlen der Luft Wasser ausgeschieden, was zwei Gründe hat:

- Zuluft wird unterhalb des Taupunktes gekühlt.
- Zuluft wird nicht unterhalb des Taupunktes gekühlt, doch ist die Wassertemperatur im Rohr kälter als die Taupunkttemperatur der Luft, und es entsteht partiell Kondensat.

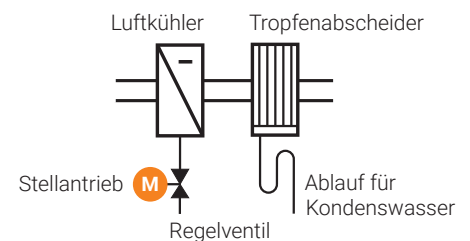


Bild 39: Luftkühler mit Kondensation

Luftkühler werden daher auch zum Entfeuchten von Luft eingesetzt, wobei immer ein Tropfenabscheider einzusetzen ist.

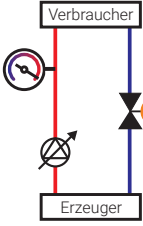
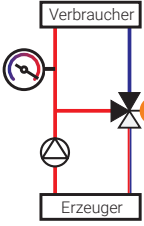
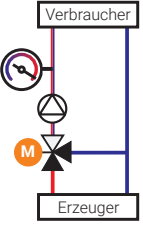
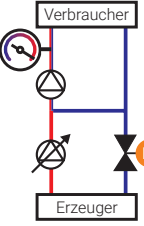
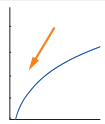
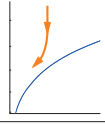
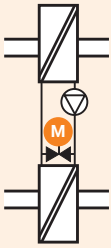
Folgende Varianten kommen zum Einsatz:

- Wasser-Luftkühler
 - Kaltwasserkreis, der zwischen Luftkühler und Kältemaschine zirkuliert
 - Freecooling; Kälte ohne Kompressionsenergie, z. B. aus Grundwasser
- Direkt-Verdampfer; Kältemittel des Kompressionskreislaufs verdampft direkt im Luftkühler

3.4.4.3 Hydraulische Schaltungen für Wärmeübertrager

Für Lufterhitzer und Luftkühler gibt es verschiedene hydraulische Schaltungen, die sich für den spezifischen Verwendungszweck besser oder schlechter eignen.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verschiedenen Schaltungen für den jeweiligen Verwendungszweck bei einem RLT-Gerät. Es ist jedoch zu beachten, dass zur Auswahl der Schaltung auch die Anforderungen der Erzeugerseite berücksichtigt werden müssen, die hier nicht aufgeführt werden.

		Drosselschaltung	Umlenkschaltung	Beimischschaltung	Einspritzschaltung mit Durchgangsventil*
					
Wasserseitige Eintrittstemperatur in Wärmeübertrager		konstant	konstant	variabel	variabel
Wasserseitiger Durchfluss durch den Wärmeübertrager		variabel	variabel	konstant	konstant
Lufterhitzer ohne Einfriergefahr (Nachwärmer)		✓ Temperaturschichtung im Teillastbetrieb	– Wird aus Energieeffizienzgründen nicht mehr empfohlen	✓	✓
Lufterhitzer mit Einfriergefahr (Vorwärmer)		✗ Einfriergefahr bei kleinen Wassermengen	– Wird aus Energieeffizienzgründen nicht mehr empfohlen	✓	✓
Luftkühler mit Entfeuchtung		✓	– Wird aus Energieeffizienzgründen nicht mehr empfohlen	✗ Keine kontrollierte Entfeuchtung möglich	✗ Keine kontrollierte Entfeuchtung möglich
Luftkühler ohne Entfeuchtung		– Ungeregelte und evtl. unerwünschte Entfeuchtung möglich	– Wird aus Energieeffizienzgründen nicht mehr empfohlen	✓	✓
Kreislaufverbundsysteme (KVS)			✗	✓ Umlenk- resp. Beimischschaltung mit 2-Weg-Ventil als Bypass 	✗

* Einspritzschaltung mit 3-Weg-Ventil für Einsatz auf RLT-Gerät nicht typisch (ggf. für sehr genaue Industrieprozesse).

Tabelle 21: Anwendung hydraulische Schaltungen für Wärmeübertrager

✓ geeignet ✗ nicht geeignet – nicht empfohlen

Weitere Informationen zu den hydraulischen Grundsaltungen für Wärmeübertrager und RLT-Geräte findet man in der Broschüre «Belimo – Applikationen Luftaufbereitungsanlagen».

3.4.5 Luftbefeuchter



Kalte Luft kann weniger Wasser aufnehmen. Speziell im Winter ist die absolute Luftfeuchte der Aussenluft sehr niedrig. Beim Aufwärmen der Luft im RLT-Gerät, zum Beispiel durch die Wärmerückgewinnung oder durch den Lufterhitzer, steigt zwar die Kapazität, Wasser aufzunehmen, jedoch bleibt der absolute Wassergehalt gleich. Somit sinkt bei gleichbleibendem Wasserinhalt die relative Feuchtigkeit bei der Lufterwärmung (siehe auch Kapitel 2.4 Wassergehalt der Luft).

Um Produktionsprozesse nicht zu beeinflussen, und aus Komfortgründen werden in RLT-Geräten Luftbefeuchter eingebaut, die daher vorwiegend im Winter zugeschaltet werden.

In gewissen Bedingungen kann es ausreichend sein, eine Feuchterückgewinnung einzusetzen, die existierende Luftfeuchte zurückgewinnt (siehe auch Kapitel 3.4.3 Wärmerückgewinnung (WRG)). Im Gegensatz zur Feuchterückgewinnung befeuchtet eine Luftbefeuchtung die Zuluft aktiv.

3.4.5.1 Befeuchtungstypen

Es kann zwischen folgenden Befeuchtungstypen unterschieden werden:

Typ	Beschreibung
Adiabatische Befeuchter	Adiabatische Luftbefeuchter befeuchten die Luft durch Verdunstung von Wasser. Es gibt verschiedene Ausführungen, die sich durch die Einbringung des Wassers in den Luftstrom unterscheiden.
- Zerstäuber	Wie der Name schon sagt, bringen Zerstäuber das Wasser durch eine feine Zerstäubung in den Luftstrom ein. Dadurch wird eine gute Wasseraufnahme erreicht.
- Verdunster	Wasser wird auf einer porösen Oberfläche, an der die zu befeuchtende Luft verrieselt und verdunstet. Je nach System wird entmineralisiertes Wasser eingesetzt, um Düsen nicht mit Kalk zu verstopfen oder Mineralstaub in die Räume zu bringen. Vorteile: - Ökologischere Lösung als Dampfbefeuchtung (siehe auch anschliessenden Abschnitt) - Für grössere Anlagen geeignet - Bei grossen Anlagen wirtschaftlicher als Dampfbefeuchtung - Adiabate Kühlung möglich (siehe auch folgendes Kapitel 3.4.5.3) Nachteile: - Augenmerk auf Hygiene (siehe Kapitel 3.4.5.4 Hygiene) - Nachrüstung schwierig - Teilweise hoher Wasserverbrauch - Aufwändigere Wartung
Isotherme Befeuchter	Die meisten Dampfluftbefeuchter erzeugen Dampf in einem Wasserbehälter. Es kann aber auch Dampf aus externer Quelle verwendet werden. Der Dampf wird über Lanzen der Zuluft beigeführt.
- Dampfbefeuchter	Vorteile: - genaue Regelbarkeit bei elektrischen Dampfluftbefeuchtern - kompakte Bauweise, gut nachrüstbar - Wassertemperatur an Siedepunkt tötet Keime Nachteile: - hoher Strom-/Gasverbrauch - Dampf kann bei Einbringung in Lüftungssystem kondensieren

Tabelle 22: Übersicht Befeuchtungstypen

3.4.5.2 Befeuchtung im h,x-Diagramm

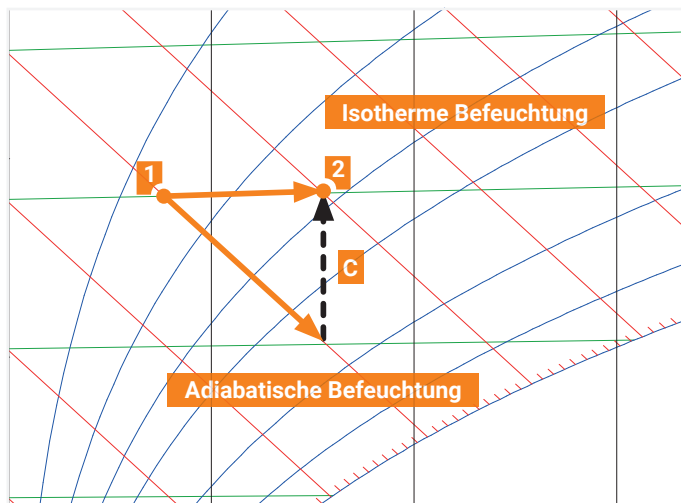


Bild 40: Verlauf der Befeuchtungsprozesse im h,x-Diagramm

Speziell bei der Befeuchtung ist es wichtig, den Vorgang im h,x-Diagramm zu betrachten und so die Unterschiede zwischen der adiabatischen und isothermen Befeuchtung zu erkennen (siehe auch Kapitel 2.5.2).

Die isotherme Befeuchtung erfolgt temperaturkonstant entlang der Isotherme.

Die adiabatische Befeuchtung erfolgt entlang der konstanten Enthalpie-Linie. Dabei kühlt sich die Luft ab, da das Verdunsten Wärmeenergie benötigt, die der Luft entzogen wird. Aus diesem Grund muss im RLT-Gerät die Luft immer vor- oder nach- erwärmt werden (Vorgang C).

Entgegen dem Volksmund verbraucht jede Art der Luftbefeuchtung, ob isotherm oder adiabatisch, gleich viel Energie, nämlich so viel, wie für die Änderung des Aggregatzustandes von Wasser zu Wasserdampf nötig ist. Während bei der isothermen Befeuchtung die Energie bei der Dampfproduktion hinzugegeben wird, wird die Energie bei der adiabatischen Befeuchtung während des Befeuchtungsprozesses der Umgebungs- oder Zuluft entzogen.

Bei der adiabatischen Befeuchtung könnte je nach Heizungssystem hingegen die benötigte Energie, die für die Vor- oder Nach- erwärmung der Luft im RLT-Gerät nötig ist, ökologischer erzeugt werden (zum Beispiel mittels Wärmepumpe).

	Zerstäuber		Verdunster	Dampfbefeuchter	
	Ultraschallbefeuchter	Hochdruckzerstäuber	Kontaktbefeuchter	Elektro (Eigendampf)	Druckdampf (Fremddampf)
Nur Luftbefeuchtung	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Adiabatische Kühlung	✓	✓	✓✓	✗	✗
Lüftungsgerät	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Kanal	–	–	–	✓✓	✓✓
Gross > 10'000 m³/h	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓
Mittel 3000–10'000 m³/h	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Klein < 3000 m³/h	✓	✓	✓	✓✓	✓

Tabelle 23: Übersicht Befeuchtungssysteme (Quelle Bilder: Condair Group AG)

✓✓ empfehlenswert ✓ gut möglich ✗ nicht geeignet – nicht empfohlen

3.4.5.3 Adiabatische Kühlung

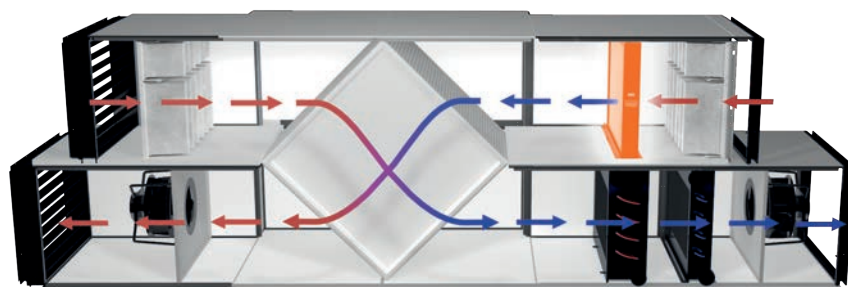


Bild 41: Indirekte adiabatische Kühlung

Die adiabatische Zustandsänderung der Luft kann bei Kühlanwendungen zunutze gemacht werden. Hierfür wird die vom Raum zurückkommende Abluft adiabatisch befeuchtet, wobei sich die Luft nahe an die Feuchtkugeltemperatur abkühlt. Die abgekühlte, sehr feuchte Abluft wird anschliessend durch die Wärmerückgewinnung geführt, wo sie einen Teil der Wärme von der Zuluft aufnehmen kann. Die Zuluft kann so mit geringem Energieaufwand durch die Abluft abgekühlt werden, ohne dass die Zuluft feuchter wird, was ebenfalls dem Komfort schaden würde.

3.4.5.4 Hygiene

Der Umgang mit dem Wasser spielt bei der Luftbefeuchtung eine wichtige Rolle. Es ist enorm wichtig, dass Befeuchtungsanlagen richtig ausgelegt und hygienisch betrieben werden. Folgende Tabelle zeigt fünf Kriterien auf, welche die Hygiene wesentlich beeinflussen können:

Kriterium	Beschreibung
Befeuchtungsstrecke	Die Befeuchtungsstrecke ist der Raum nach dem Befeuchter, in dem sich der Restdampf oder Nebel vollständig mit der Luft vermischt. Die richtige Länge der Befeuchtungsstrecke verhindert Kondensation in den Lüftungsleitungen.
Vermeidung von Biofilmen	Das Zulaufwasser zu Luftbefeuchtern soll die mikrobiologische Qualität von Trinkwasser aufweisen. Auch eine geringe Anzahl von Mikroorganismen siedelt sich an nassen Stellen an und kann mit der Zeit einen Biofilm ausbilden. Der ausgebildete Biofilm gibt kontinuierlich Keime ab und kontaminiert das Befeuchtungswasser oder die Zuluft. Ein Bilden von Biofilmen kann vermieden werden, wenn alle folgenden Punkte eingehalten werden: - Hygienisches Befeuchtungswasser - Regelmässige Reinigung mit Desinfektion - Keine Stagnation in den Wasserleitungen - Hygienemassnahmen zur Keimminderung - Kontrolle (Keimmessungen)
Wasser-Aerosole	Wasser-Aerosole nennt man kleinste Wassertropfchen, die sich in der Luft befinden. Da sie sich in der Luft befinden, können sie durch Einatmung in die Atemwege und Lunge gelangen. Bei mikrobiologisch kontaminiertem Befeuchtungswasser können schädliche Keime tief in den Atemtrakt gelangen. Wegen ihrer geringen Grösse können sie nur schwer und teilweise überhaupt nicht abgeschieden werden. Aufgrund ihres schwebeförmigen Verhaltens können sie weite Strecken durch die Lüftungskanäle transportiert werden, ohne zu verdunsten.
Feuchteregelung	Um Kondensat in den Kanälen oder eine generelle Taupunktunterschreitung zu vermeiden, ist es wichtig, Lüftungssysteme mit Luftbefeuchtern korrekt zu regeln. Der Einsatz von Hygrostaten kann zudem die Befeuchtungsanlage bei Fehlverhalten abschalten.
Hygienenachweise	Hygienenachweise der Hersteller der Luftbefeuchter können zur Bewertung des jeweiligen Systems beitragen. Das Befeuchtungssystem soll über die gesamte Produktlebenszeit hygienisch betrieben werden können. Eine Beurteilung der Hygienequalität ist nur möglich, wenn alle erforderlichen Hygienemerkmale erfüllt sind: - Einhaltung technischer Richtlinien - Wirkungsvolle Hygienemassnahmen zu Keimminderung - Regelmässige Reinigung mit Desinfektion

Bild 42: Hygienekriterien

3.4.5.5 Sensoren für Luftbefeuchtung

Sensoren können für folgende Anwendungsfälle eingesetzt werden:

Was/Wo	Beschreibung	Einstellwert
Zuluftbegrenzung	In gewissen Fällen kann es sein, dass der Raum noch sehr viel Raumfeuchte verlangt, sodass die Anforderung auf 100 % ansteigt. Um jedoch die Raumluf nicht zu überfeuchten oder Kondensatbildung im Zuluftkanal zu verhindern, kann im Zuluftkanal ein Feuchtesensor oder Hygrostat angebracht werden, der dafür sorgt, dass die Zuluft einen gewissen Wert an relativer Feuchte nicht übersteigt. Häufig liegt dieser bei ca. 60–70 % r.H.	60–70 % r.H.
Sollwertbestimmung ABL	Ein Feuchtesensor im Abluftkanal erfasst die gemittelte Raumfeuchte und regelt die Befeuchtungsleistung gemäss diesem Wert.	40–50 % r.H.
Sollwertbestimmung Raum	Der Raumsensor erfasst die Raumluftheuchte in einem Referenzraum, oder der Raum wird separat befeuchtet. Wichtig ist eine korrekte Platzierung des Raumsensors. Wenn ein Referenzsensor mehrere Räume beeinflusst, kann es sein, dass die anderen Räume unter- oder überfeuchtet werden.	40–50 % r.H.
Sollwertbestimmung ZUL	In seltenen Fällen wird die Befeuchtungsleistung über einen Sensor in der Zuluft gesteuert. Da jedoch Raumeinflüsse nicht berücksichtigt werden können, kann keine ideale Befeuchtung gewährleistet werden.	40–50 % r.H.

Tabelle 24: Sensoren für Luftbefeuchtung

3.4.6 Klappen



In RLT-Anlagen werden Klappen, meist normale Gliederklappen, zum Verschliessen des Aussen- und des Fortluftaustritts sowie für die Regulierung des Luftstroms bei Umluftbetrieb und Wärmerückgewinnung (Bypass Plattenwärmeübertrager) verwendet.

3.4.6.1 Aussen- und Fortluftklappen

Beim Lufteintritt sowie beim Luftaustritt werden im Normalfall elektrisch bewegte Klappen installiert. Bei abgeschalteter Anlage sind die Klappen dicht geschlossen, um den Eintritt von kalter oder verschmutzter Aussenluft zu verhindern. Um sicherzugehen, dass die Aussen- und Fortluftklappen auch im Störfall (z. B. bei Spannungsausfall) sicher schliessen, werden meist Antriebe mit Notstellfunktion eingesetzt.



Bild 43: Aussen- und Fortluftklappe

3.4.6.2 Umluftklappen

In Fällen, wo das Totalluftvolumen der RLT- Anlage die benötigte Frischluftmenge übersteigt (zum Beispiel bei Anlagen mit hoher Kühllast oder bei Hallenbädern), wird meistens eine Umluftklappe eingebaut, die einen Teil der Abluft wieder der Zuluft zuführt (sogenannte Umluftbeimischung).

Die Umluftklappe wird meist in Kombination mit den zugehörigen Aussen- und Fortluftklappen gesteuert, um die entsprechenden Luftströme einstellen zu können (Verhältnis Umluft- zu Frischluftanteil).

In der Regel werden die Klappen stetig angesteuert (siehe dazu auch Kapitel 5.3.2.5 Umluftbeimischung).



Bild 44: Umluftklappe

3.4.6.3 Bypassklappe Plattenwärmeübertrager

Die Übertragungsleistung eines Plattenwärmeübertragers muss durch eine stetig angesteuerte Klappe, eine sogenannte Bypassklappe, geregelt werden können. Diese sorgt je nach Bedarf dafür, dass die Frischluft, in vereinzelt Fällen die Abluft, am Wärmeübertrager vorbeigeleitet wird und somit keine Wärme resp. Leistung übertragen kann. Kann die Frischluft an der WRG vorbeigeführt werden, kann damit eine Vereisung bei sehr kalter Aussenluft verhindert werden.

3.4.6.4 Antriebe und Sensoren für Klappen

Antriebe und Sensoren können für folgende Anwendungsfälle eingesetzt werden:

Was/Wo	Beschreibung	Einstellwert
Klappenverstellung	Die Verstellung der Klappen erfolgt durch einen Stellantrieb. Drehmoment und Typ des Stellantriebs sind von der Klappengrösse und den Platzverhältnissen abhängig. Die Ansteuerung ist in Abhängigkeit von der Regelstrategie als Auf/Zu, 3-Punkt oder stetig zu wählen.	–
Klappenstellung	In den meisten Fällen werden Antriebe mit Stellungsrückmeldung eingesetzt, um die Funktionstüchtigkeit des Stellantriebs resp. der Klappe zu überprüfen. Vereinzelt werden auch Differenzdrucksensoren eingesetzt, die den Druck vor und nach der Klappe messen und somit erkennen können, ob die Klappe geöffnet oder geschlossen ist.	70 Pa

Tabelle 25: Antriebe und Sensoren für Klappen

3.4.7 Schalldämpfer



Lüftungsgeräte, insbesondere Ventilatoren, verursachen Lärm, der in den Räumen nicht gehört werden soll. Aus diesem Grund werden Schalldämpfer entweder direkt im Lüftungsgerät oder nachfolgend im Kanalnetz eingebaut. Die häufigste Bauart ist der Kulissenschalldämpfer, bei dem mehrere Kulissen aus schallabsorbierendem Material in den Luftstrom verbaut werden.

Schalldämpfer werden auch in Räumen eingebaut, um Strömungsrauschen der Luft zu reduzieren oder Räume schalltechnisch voneinander abzukoppeln. Schalldämpfer, die zwischen Räumen eingesetzt werden, werden «Telefonieschalldämpfer» genannt.

Grundsätzlich ist jedoch darauf zu achten, dass Lärm erst gar nicht entsteht (siehe dazu auch Kapitel 6.1.4 Akustik).

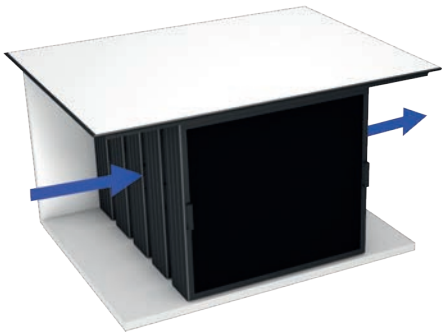


Bild 45: Schalldämpfer

4 Gebäudeautomation

Die Gebäudeautomation dient der automatischen Steuerung, Regelung und Überwachung der gebäudetechnischen Anlagen, insbesondere auch der RLT-Geräte, und koordiniert die verschiedenen Funktionen und Aufgaben der technischen Gewerke (HLKSE). Das Gebäudeautomationssystem stellt zudem verschiedene Werkzeuge für die Bedienung und Visualisierung der Anlagen zur Verfügung (Web-Visualisierung, Display, Bedienelemente etc.). Die Ausprägung eines Gebäudeautomationssystems kann sehr unterschiedlich sein.

4.1 Die Ebenen in der Gebäudeautomation

Die Gebäudeautomation gliedert sich funktional in drei Ebenen:

- Managementebene
- Automationsebene
- Feldebene

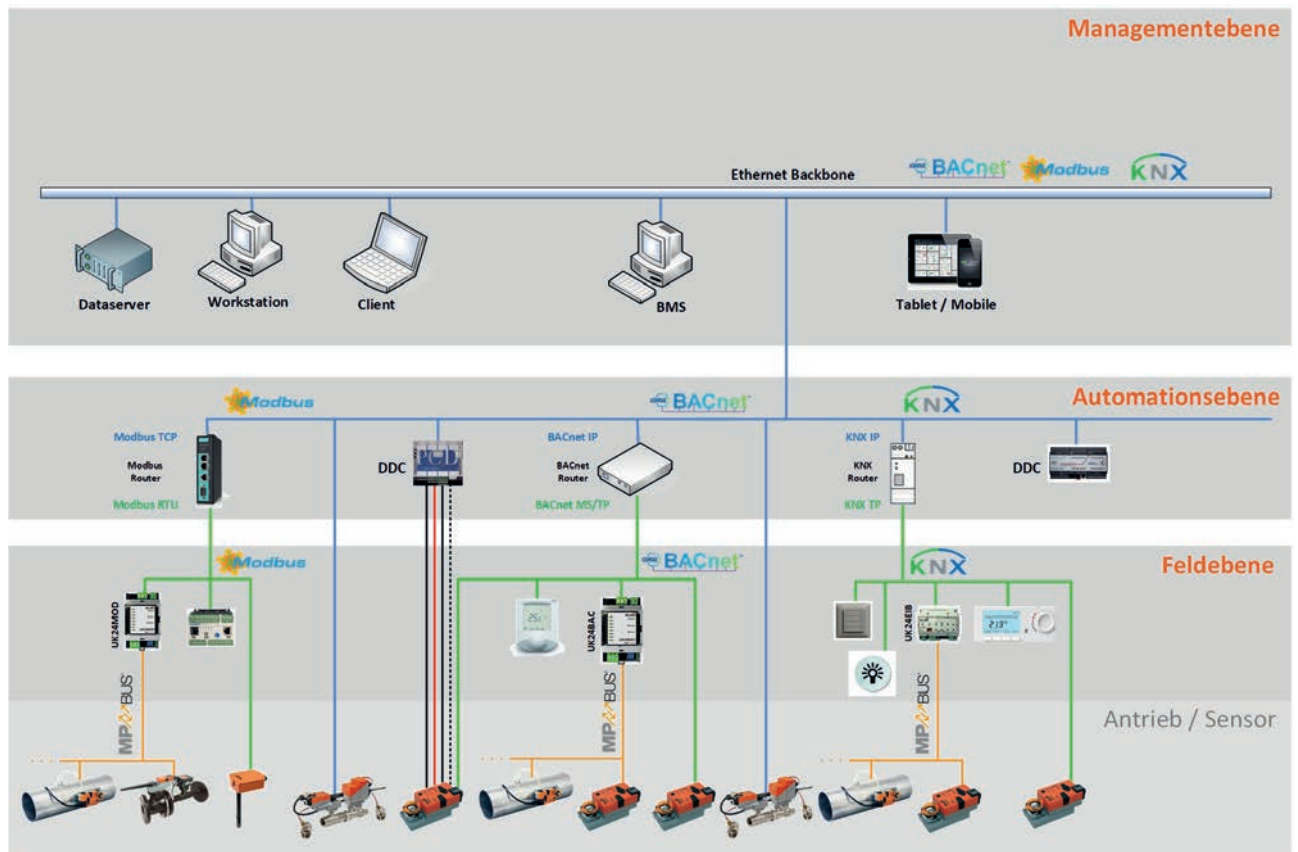


Bild 46: Ebenen der Gebäudeautomation

4.1.1 Managementebene

Als Managementebene werden die Einrichtungen, Software und Dienstleistungen bezeichnet, die der Bedienung, Überwachung und Visualisierung der gebäudetechnischen Anlagen dienen.

Die Informationen der Automationsstationen (Automationsebene) von verschiedenen Gewerken, auch die der RLT-Geräte, werden dabei harmonisiert und vereinfacht in die Managementebene übertragen. Die gebäudetechnischen Anlagen können sich dabei in verschiedenen Gebäuden oder Arealen befinden.

Funktionen	Komponenten
- Bedienen und Beobachten - Kommunizieren und Melden (Alarmierung) - Aufzeichnen und Analysieren (Trend, Logbuch etc.) - Fernzugriff/-wartungen	- Server (lokale Hardware oder virtuell in der Cloud) - Technisches Netzwerk - Gebäudeleitsystem (Visualisierung, Applikationen) - Netzwerkabhängige Vorortbedienung (Zeilendisplay, Touchpanel, Tablet etc.)

4.1.2 Automationsebene

Die Automationsebene dient der automatischen Steuerung und Regelung der unterschiedlichen Teilsysteme wie der RLT-Geräte. Die Automationsebene ist die «Logik-Ebene» und bildet die Schnittstelle zwischen der Managementebene und der Feldebene. Die anfallenden Daten der Sensoren und Antriebe aus der Feldebene werden von der Automationsstation verarbeitet und entsprechend an die beiden Ebenen weitergeleitet.

Funktionen	Komponenten
- Steuern und Regeln - Kommunikation zur Management- und Feldebene	- Automationsstation inkl. Kommunikationsschnittstellen - Schaltgerätekombination/Spannungsversorgung

4.1.2.1 Automationsstation

Die Automationsstation bildet das Herzstück eines Gebäudeautomationssystems und beinhaltet die Logik (Software) für die Steuerung und Regelung der einzelnen Systeme, insbesondere des RLT-Gerätes. Für die Automationsstation werden häufig auch die Bezeichnungen Steuerung, Regler, SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) und DDC (Direct Digital Control) verwendet. Diese sind in der Regel frei programmierbar.

Eine Automationsstation beinhaltet im Wesentlichen einen Prozessor für die Verarbeitung der Kontrolllogik und in der Regel mehrere Schnittstellen für Input/Output-Signale (I/O), Feldbussysteme und/oder die Einbindung in die Managementebene. Die Automationsstation gibt es sowohl in kompakter Ausführung mit definiertem I/O-Mix als auch in modularer Ausführung (Kopfstation mit Prozessor plus Erweiterungen mit unterschiedlichen Schnittstellen).

4.1.2.2 Beispiele Automationsstation

Es gibt unzählige Hersteller und Ausführungen von Automationsstationen für verschiedenste Systeme im Gebäude. Folgend sind einige verbreitete Ausführungen aufgeführt, die unter anderem für RLT-Geräte eingesetzt werden.

Hersteller	Carel	Beckhoff	Saia	Siemens
Typ	pCO	CX	PCD	Climatix
	 Bild 47: (Quelle: Carel Deutschland GmbH)	 Bild 48: (Quelle: Beckhoff Automation AG)	 Bild 49: (Quelle: Saia-Burgess Controls AG)	 Bild 50: (Quelle: Siemens Schweiz AG)

Tabelle 26: Beispiele von Automationsstationen für RLT-Geräte

4.1.3 Feldebene

In der Feldebene befinden sich die Feldgeräte mit den Sensoren und Antrieben von Belimo. Die Sensoren erfassen die für die Steuerung und Regelung relevanten Daten und kommunizieren diese an die Automationsebene. Die Antriebe wiederum erhalten die Befehle der Automationsebene und führen diese physikalisch aus.

Funktionen	Komponenten
- Steuern und Zählen - Schalten und Stellen	- Sensoren - Antriebe

Aufgrund der Digitalisierung sind die Grenzen zwischen den drei Ebenen nicht mehr immer klar definierbar. Auch zukünftig werden die drei Ebenen durch die Dezentralisierung der Intelligenz mehr und mehr miteinander verschmelzen. Beispielsweise übernimmt ein Belimo Energy Valve™ heute schon einzelne Funktionen der Automations- und der Managementebene.

4.2 Beispiele Gebäudeautomation mit Fokus auf RLT-Gerät

Nachfolgende Darstellungen zeigen beispielhaft zwei mögliche Topologie-Ausprägungen der Automation eines Gebäudes. Je nach Konzept des Gebäudeautomations-Fachplaners kann es jedoch unterschiedlichste Ausprägungen geben.

4.2.1 Beispiel 1: RLT-Gerät-unabhängige Automation

Die Automationsstation für die Steuerung und Regelung des RLT-Gerätes befindet sich in diesem Beispiel in einer vom RLT-Gerät unabhängigen Schaltgerätekomination. Das hat den Vorteil, dass diese Automationsstation und/oder Schaltgerätekomination auch für mehrere Anlagen sämtlicher Gewerke (zum Beispiel der Luftverteilung) verwendet werden kann.

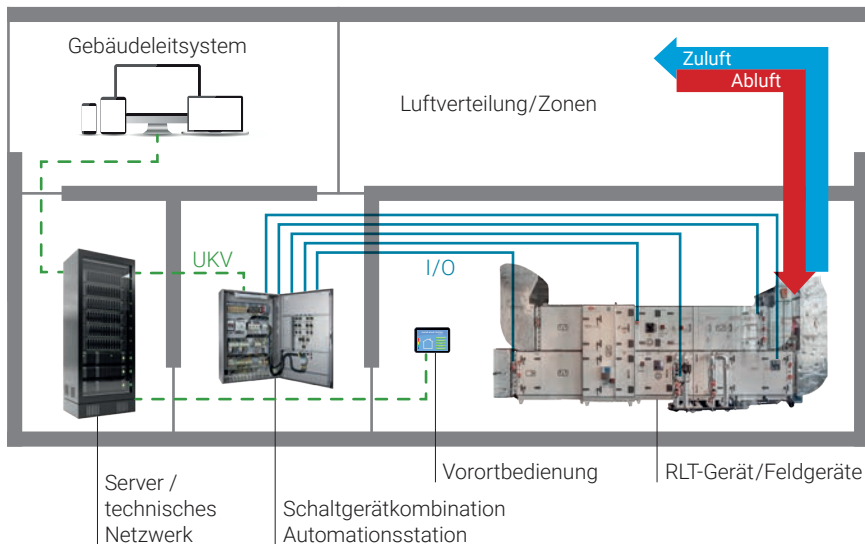


Bild 51: RLT-Gerät mit externer Automationsstation

Ab der Schaltgerätkombination bzw. der Automationsstation werden die Feldgeräte des RLT-Gerätes in diesem Beispiel mit I/O-Signalen in das Gebäudeautomations-system integriert.

Diese und gegebenenfalls weitere Automationsstationen sowie sämtliche Vorortbedienungen werden über eine universelle Kommunikationsverkabelung (UKV) mit der Managementebene resp. dem Gebäudeleitsystem verbunden und von diesen bedient respektive überwacht.

4.2.2 Beispiel 2: Automation auf RLT-Gerät

Die Automationsstation für die Steuerung und Regelung des RLT-Gerätes befindet sich in diesem Beispiel direkt auf dem RLT-Gerät, typischerweise in einer integrierten Schaltgerätkombination.

Zur Anwendung kommt diese Variante, wenn das RLT-Gerät komplett, das heisst inklusive Feldgeräte, Automationsstation und Vorortbedienung, geliefert werden soll. In der Regel übernimmt diese Automationsstation die Steuerung und Regelung ausschliesslich des RLT-Gerätes. Daher kann diese autonom betrieben werden.

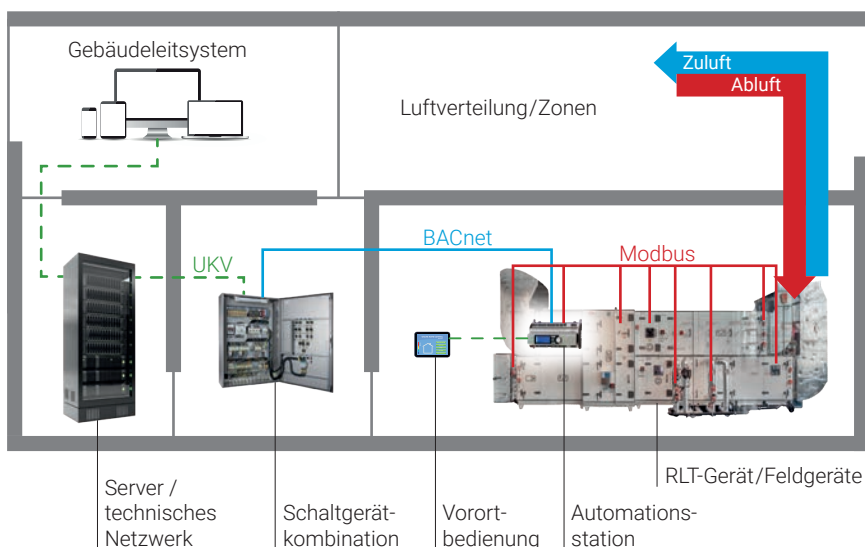


Bild 52: RLT-Gerät mit integrierter Automationsstation

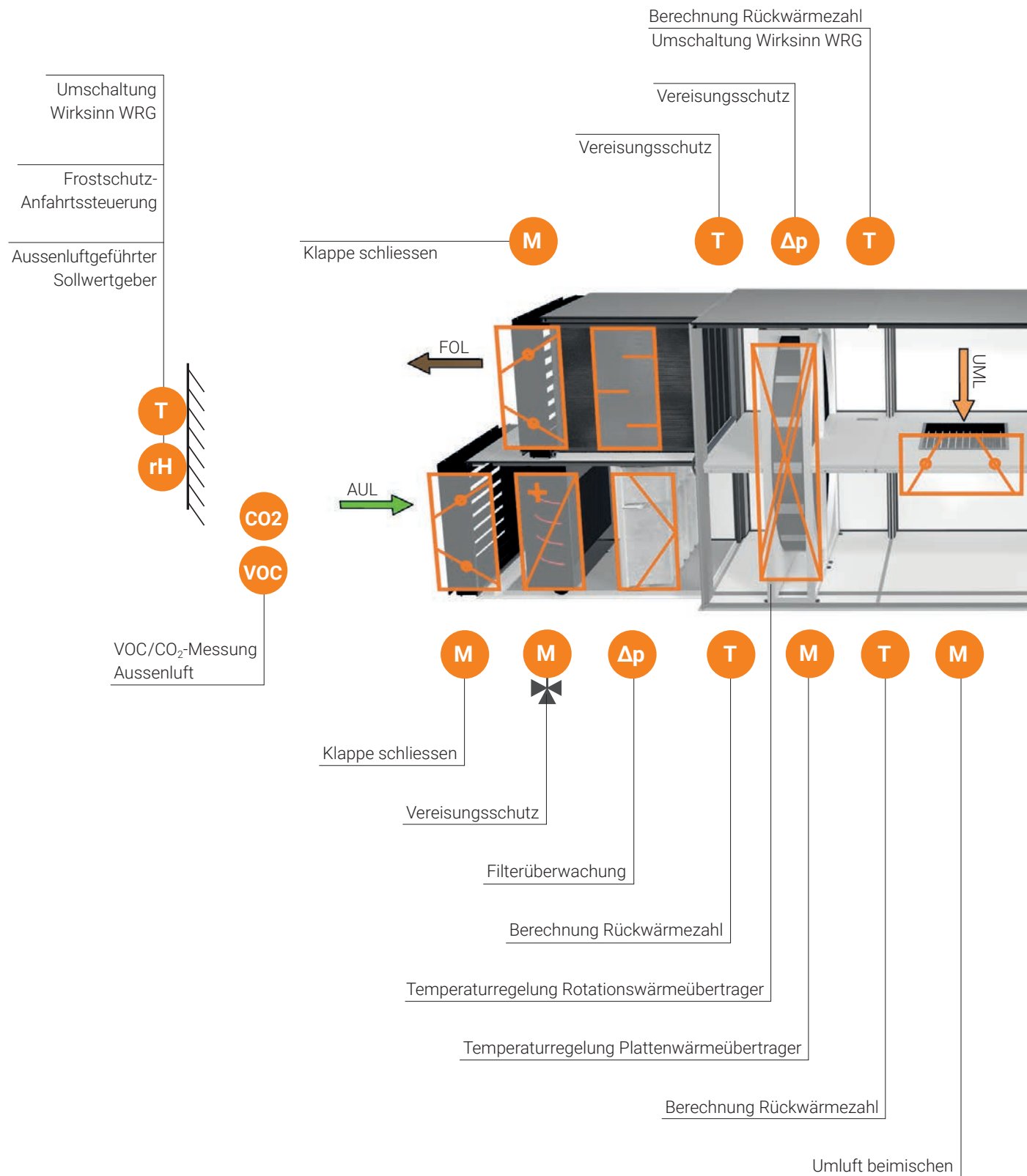
Die Steuerung und Regelung anderer Anlagen (z. B. der Luftverteilung) erfolgen durch eigene Automationsstationen in zusätzlichen Schaltgerätkombinationen. Diese Automationsstationen können jedoch über eine Netzwerkverkabelung, in diesem Beispiel mittels BACnet, miteinander verbunden sein und tauschen die nötigen Informationen miteinander aus.

In diesem Beispiel werden die Feldgeräte des RLT-Gerätes über ein Feldbussystem, in diesem Fall mit Modbus, angesteuert. Eine Ansteuerung über I/Os ist aber auch hier durchaus verbreitet.

Die Einbindung ins Gebäudeleitsystem erfolgt in diesem Fall gleich wie im ersten Beispiel.

5 Steuern und Regeln von RLT-Geräten

5.1 Übersicht Feldgeräte und Funktionalität





5.2 Feldgeräte

Für die verschiedenen Anwendungen in der HLK-Branche gibt es eine Vielzahl von Feldgeräten wie Sensoren, Antriebe und Ventile. Belimo hat dafür ein umfassendes Produktsortiment im Angebot.

Dieses Kapitel bietet einen kurzen Überblick über diejenigen Feldgeräte von Belimo, die für RLT-Geräte eingesetzt werden können. Im anschliessenden Kapitel wird dann ersichtlich, wo diese Feldgeräte innerhalb des RLT-Gerätes platziert werden und welche Funktion sie übernehmen.

5.2.1 Klappenantriebe

Belimo besitzt das weltweit umfassendste Angebot an elektrischen Antriebslösungen für Luftklappen von bis zu 8 m². Es umfasst Dreh- und Linearantriebe mit unterschiedlichsten Motorisierungsstärken, Stellzeiten und Ansteuerungsarten. Sie decken fast alle Anwendungen für die Regelung von Luftströmen in raumluftechnischen Anlagen ab – von der Aufbereitung über die Verteilung bis zur Rückführung und Wiederaufbereitung. Das Sortiment umfasst ausserdem Spezialantriebe für den Innen- und Ausseneinsatz bei extremen Bedingungen.

5.2.1.1 Klappenantriebe mit und ohne Notstellfunktion

RLT-Anlagen haben einen hohen materiellen Wert, den es zu schützen gilt. Besonders im Falle eines Spannungsunterbruchs können Schäden durch Vereisung, Wasser- oder Dampfaustritt entstehen. Antriebe mit Notstellfunktion bringen speziell die Aussen- und Fortluftklappen in eine sichere Position, auch wenn die ganze Anlage spannungsfrei geschaltet ist.

Antriebe ohne Notstellfunktion hingegen bleiben bei einem Spannungsunterbruch in der letzten Position stehen, wodurch die Anlagensicherheit nicht mehr gewährt ist.

5.2.1.2 Belimo-Sortiment Klappenantriebe

Drehantriebe ohne Notstellfunktion

Sortiment	Typen	Spezifikationen	Anwendungen
	- CM (2 Nm) - LM (5 Nm) - NM (10 Nm) - SM (20 Nm) - GM (40 Nm)	- Mit integriertem Hilfsschalter oder Potentiometer - Identisches Zubehör für alle Typen	Motorisierung von Luftklappen ohne Notstellfunktion bis 8 m ²

Drehantriebe mit Notstellfunktion

Sortiment	Typen	Spezifikationen	Anwendungen
	- LF (4 Nm) - NF (10 Nm)* - SF (20 Nm)* - EF (30 Nm)*/** - GK (40 Nm)	- Automatische Schliessfunktion bei Spannungsunterbruch in < 20 s - Handaufzug * optional mit 2 integrierten Hilfsschaltern ** optional mit IP66 und UV-Schutz für Aussenanwendungen	Motorisierung von Luftklappen mit Notstellfunktion bis 8 m ²

RobustLine Drehantriebe mit und ohne Notstellfunktion für extreme Umweltbedingungen (IP66/67)

Sortiment	Typen	Spezifikationen	Anwendungen
	- NM..P (10 Nm) - SM..P (20 Nm)	- IP66/67, UV-Schutz, korrosions-beständig - Integrierter Hilfsschalter oder Potentiometer Optional für Umgebungstemperaturen bis -40 °C: - Heizung mit Hygrostat - Heizung mit Thermostat	Motorisierung von Luftklappen mit und ohne Notstellfunktion bis 4 m² in besonders exponierten Lagen: - Schutz gegen aggressive Gase, Nässe, Feuchtigkeit, hohe Staub- und Schmutzbelastungen - Allgemeine Aussenanwendungen

Drehantriebe mit und ohne Notstellfunktion für Aussenanwendungen (IP66/67, NEMA 4X)

Sortiment	Typen	Spezifikationen	Anwendungen
	- GM..G (40 Nm) - NF..G (10 Nm)* - SF..G (20 Nm)* - GK..G (40 Nm)* * mit Notstellfunktion	- IP66/67, NEMA 4X, UV-Schutz - integrierter Hilfsschalter oder Potentiometer Optional für Umgebungstemperaturen bis -40 °C: - Heizung mit Hygrostat - Heizung mit Thermostat	Motorisierung von Luftklappen mit und ohne Notstellfunktion bis 8 m²: - Schutz gegen Nässe, Feuchtigkeit, hohe Staub- und Schmutzbelastungen - Allgemeine Aussenanwendungen - Dachzentralen

Retrofit-Lüftungsanwendungen: Stellantriebe ohne Notstellfunktion

Sortiment	Typen	Spezifikationen	Anwendungen
	- LM24A-MP-TP (5 Nm) - NM24A-MP-TP (10 Nm) - SM24A-MP-TP (20 Nm) - GM24A-MP-TP (40 Nm) - SM24A-R9 (20 Nm, 0...135 Ω) - SM24A-PC (20 Nm, 0...20 V Phasenschnitt) - SM24A-MA (20 Nm, 4...20 mA)	- Frei parametrierbar und optimal an die Anwendung anpassbar - Identisches Zubehör wie Hilfsschalter und Potentiometer für alle Drehantriebe	- Austausch der Motorisierung von Luftklappen ohne Notstellfunktion bis 8 m²

5.2.2 Sensoren

Am 3. April 2017 brachte Belimo in einer ersten Phase ein breites Sortiment an Sensoren für Rohr- und Kanalanwendungen auf den Markt. Dieses Startangebot kam mit einem innovativen Belimo-Gehäuse auf den Markt, welches die Installation deutlich vereinfacht. Dabei wurde besonders darauf geachtet, dass die neuen Produkte den individuellen Anforderungen der drei Regionen (AM, EU, AP) entsprechen. Wo nötig, wurde das Produktdesign angepasst.

In der zweiten Phase wurden Raumsensoren und Raumbediengeräte eingeführt, die sich durch ein eigenständiges Belimo-Design auszeichnen und noch einfacher mit Belimo-Antrieben integrierbar sind.

5.2.2.1 Auslegungspunkte

Sensoren können anhand ihrer diversen Auslegungspunkte ausgewählt werden, die hier aufgelistet sind:

- Sondenlänge
- Ausgangssignal
- Messgrösse
- Applikation
- Montageart
- Messbereich
- Genauigkeit und Reaktionszeit
- Messprinzip/Sensorprinzip

Je nach Sensor gibt es verschiedene Regelbereiche, die sich je nach Applikation ändern können. Teils Sensoren messen nur in einem bestimmten Regelbereich, der bei der Sensorauswahl berücksichtigt werden muss. Der gemessene Wert kann mit einem Ausgangssignal an den Regler geleitet werden. Das Ausgangssignal ist hier abhängig vom Regler und der Kommunikationsart.

Sondenlängen und Montageart beziehen sich auf den Installationsort. Vor allem bei Kanalsensoren gibt es eine Vielzahl an Sondenlängen, die sicherstellen, dass das Medium am optimalen Ort gemessen wird.

5.2.2.1.1 Passive vs. aktive Sensoren

Passive Sensoren enthalten elektronische Bauteile, deren Parameter durch die Messgrösse verändert werden. Am Beispiel Temperaturmessung mit einem NTC (Negative Temperature Coefficient) verringert sich der Widerstand bei zunehmender Temperatur. Der Widerstandswert muss von einer externen Elektronik (z. B. vom Regler) aufbereitet werden. Passive Sensoren benötigen keine Versorgungsspannung.

Aktive Sensoren müssen mit einer Betriebsspannung versorgt werden und erzeugen aufgrund des Messprinzips ein elektrisches Signal. Der gemessene Wert (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, CO₂ usw.) wird von einer elektronischen Schaltung aufbereitet und als Ausgangssignal in Form von Spannung (z. B. 0–10 V) oder Strom (z. B. 4–20 mA) oder einem Bussignal (MP-Bus, Modbus usw.) abgegeben.

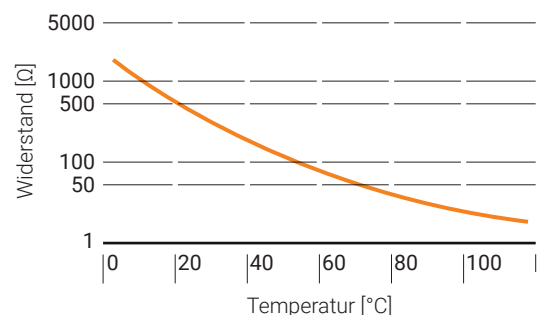


Bild 53: Charakteristik NTC-Widerstand

5.2.2.1.2 Sensor vs. Schalter

Sensoren können aktuelle Messwerte wiedergeben, Schalter hingegen können nur detektieren, ob der Einstellwert erreicht worden ist oder nicht. Durch Schliessen oder Öffnen eines Kontaktes kann der Regelung mitgeteilt werden, ob der Einstellwert erreicht worden ist.

5.2.2.1.3 Punktuelle Messung vs. Mittelwert

Da in Lüftungskanälen die Luft turbulent ist, kann der Messwert je nach Messpunkt variieren. Vor allem in RLT-Geräten kann die Luft im oberen Teil anders erwärmt worden sein wie im unteren Teil. In solchen Fällen macht es Sinn, anstelle von punktuellen Messungen einen Mittelwert über die ganze Kanalfläche zu messen.

5.2.2.2 Belimo-Sortiment Sensoren

Temperatursensoren

Familie	Typen	Schemasymbol	Beschreibung
 Kanal	01DT... 22DT...		Medium: Luft Applikation: Typische Temperatursensoren in Kanälen für homogene Strömungen.
 Eintauchsensor	01DT... 22DT...		Medium: Wasser Applikation: Wassertemperaturmessung mithilfe eines Kanal- oder Kabelsensors und einer Tauchhülse. Anstelle einer Tauchhülse kann auch eine Klemmverschraubung verwendet werden.
 Eintauchsensor	01PT...		Medium: Wasser Applikation: Wassertemperaturmessung mit Sonde, die direkt aufs Rohr geschraubt werden kann. Schnellere Reaktionszeit dank Einsparung der Tauchhülse.
 Mittelwert	01MT...		Medium: Luft Applikation: Einsatz in inhomogener Strömung. Bildet einen Mittelwert über den Kanalquerschnitt.
 Aussen	01UT... 22UT...		Medium: Luft Applikation: Misst die Umgebungstemperatur, um die Luftaufbereitung zu optimieren.
 Frostschutzwächter	01ATS...		Medium: Luft Applikation: Schützt die Klimaanlage vor Frostschäden an den Heizregistern. Schaltet bei eingestelltem Minimalwert.
 Sicherheitstemperaturbegrenzer	01HT-101...		Medium: Wasser/Luft Applikation: Stellt sicher, dass eine eingestellte Temperatur nicht überschritten wird. Z.B. bei Bodenheizungen können zu heisse Temperaturen das Parkett zerstören.
 Anlegesensor	01HT... 22HT...		Medium: Wasser Applikation: Wird an ein Rohr angelegt, um die Temperatur des Rohres zu messen und dadurch indirekt die Wassertemperatur.
 Kabelsensor	01CT... 22CT...		Medium: Luft/Wasser Applikation: Wird als Kanaltemperatursensor mit einem Montageflansch oder als Tauchtemperatursensor in Kombination mit einer Tauchhülse angewendet.

Feuchtesensoren

Familie		Typen	Schemasymbol	Beschreibung
	Kanal sensor	22DTH-...		Medium: Luft Applikation: Überwacht Befeuchtung und Entfeuchtung.
	Kanalhygrostat	01DH-...		Medium: Luft Applikation: Schaltet bei Überschreitung der Maximalfeuchte einen Luftbefeuchter ab.
	Aussenfeuchte	22UTH-...		Medium: Luft Applikation: Einsatz ausserhalb des Hauses zur Messung der Feuchte. Messwerte können für die Regelung der Befeuchtung und Entfeuchtung verwendet werden.
	Kondensations-schalter	22HH-...		Medium: Wasser Applikation: Detektiert das Kondensieren von Wasser auf Rohrleitungen. Dadurch kann das Gebäude vor Tropfschäden geschützt werden.

Luftqualitätssensoren

Familie		Typen	Schemasymbol	Beschreibung
	Kanal CO ₂	22DC-...		Medium: Luft Applikation: Misst den CO ₂ -Gehalt in Kanälen und ist ein guter Indikator, wie viele Personen sich in einem Raum befinden. Ist deshalb eine wichtige Komponente im bedarfsgerechten Lüften.
	Kanal VOC	22DCV-...		Medium: Luft Applikation: Detektiert Gerüche, die wir auch mit der Nase wahrnehmen können. Zusammen mit einem CO ₂ -Sensor eine mögliche Kombination, um auf ein «frisches Luftgefühl» zu regeln.

Kombisensoren

Familie		Typen	Schemasymbol	Beschreibung
	Kanal	22DTH-... 22DTC-... 22DTM-... 22DCV-... 22DCM-... 22DCK-...	 (Beispiele) 	Medium: Abhängig von der Kombination Applikation: Diverse Sensoren können in einem Gehäuse untergebracht werden. Dabei werden die Abkürzungen wie links ersichtlich in einer Box zusammengefasst. Als Beispiel ist ein Bild eines Kanal-Kombisensors aufgeführt.

Drucksensoren

Familie		Typen	Schemasymbol	Beschreibung
	Differenzdrucksensor (stetig)	22ADP-...		Medium: Luft Anwendung: zur Messung von Differenzdrücken bei Filtern und Anzeigen von Luftvolumenströmen bei Ventilatoren
	Differenzdruckschalter	01APS-...		Medium: Luft Anwendung: zur Überwachung von Ventilatoren und Filtern
	Wasser Differenzdruck	22WDP-...		Medium: Wasser Anwendung: Messen des Zuleitungs- und Ableitungsdrucks für die Pumpensteuerung
	Wasser Relativdruck	22WP-...		Medium: Wasser Anwendung: Systemdrucküberwachung, z.B. Wasserstandsmessung im System

Durchflusssensoren

Familie		Typen	Schemasymbol	Beschreibung
	Rohr	FM...		Medium: Wasser Anwendung: Volumenstrommessung im System

Raumgeräte

Familie		Typen	Schemasymbol	Beschreibung
	Raumsensor	01RT... 22RT...	 	Medium: Luft Anwendung: Temperaturmessung im Raum
	Raumbediengerät, passiv	P-01RT...		Medium: Luft Anwendung: Temperaturmessung im Raum mit Sollwerteingabe

5.2.3 Ventile/Ventilantriebe

Absperr-, Umschalt- und Regelventile übernehmen eine wichtige Aufgabe im hydraulischen Netz eines Heiz- oder Kühlkreislaufes. Durch den Wasserflusses wird die Heiz- oder Kühlenergie dem Verbraucher (bei RLT-Geräten sind das die Wärmeübertrager, siehe dazu auch Kapitel 3.4.4.3) zugeführt respektive bei Kälteanwendungen von diesem abgeführt.

Da der Heiz- oder Kühlbedarf in einem Gebäude in den seltensten Fällen konstant ist, muss die Leistungsabgabe geregelt werden. Die Ventile übernehmen diese Aufgabe durch die bedarfsgerechte Durchflussregelung.

5.2.3.1 Wahl des hydraulischen Netzes und der Ventilauslegung

Grundsätzlich kann die Leistungsabgabe über die Wassermenge oder die Vorlauftemperatur beeinflusst werden. Man spricht von einem mengenvariablen und mengenkonstanten Betrieb. Zusammen mit anderen Anforderungen in einem hydraulischen Netz (z. B. mengenkonstanter Durchfluss durch den Erzeuger, keine Temperaturschichtung am Lufterhitzer durch kleine Wassermengen, kontrollierte Entfeuchtung am Luftkühler etc.) ergeben sich daraus die folgenden hydraulischen Grundsaltungen für Wärmeübertrager, die in der Broschüre «Belimo – Applikationen Luftaufbereitungsanlagen» ausführlicher beschrieben sind (siehe auch Kapitel 3.4.4.3, Hydraulische Schaltungen für Wärmeübertrager). Diese sind:

Schaltungsart	Schaltungsart	Erzeugerkreis
Drosselschaltung	mengenvariabel	mengenvariabel
Umlenkschaltung	mengenkonstant	mengenvariabel
Beimischschaltung (3-Weg) Einspritzschaltung mit 2-Weg	mengenvariabel	mengenkonstant
Einspritzschaltung mit 2-Weg	mengenkonstant	mengenkonstant

Tabelle 27: Übersicht hydraulische Grundsaltungen

Um die hydraulischen Anforderungen der obigen Grundsaltungen umsetzen zu können, sind 2-Weg- und 3-Weg-Ventile notwendig.

Da der Differenzdruck, der über einem Ventil herrscht, einen direkten Einfluss auf die Wassermenge hat, muss diesem Wert bei der Auswahl des Ventils (Bestimmung des k_{vs} -Werts) grosse Beachtung geschenkt werden. Dies erschwert die Bestimmung des am besten geeigneten Ventils. Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass die Ventilauslegung immer für den Vollastfall vorgenommen wird. Im Teillastbetrieb in einer reellen Anlage ergeben sich Betriebszustände, die nicht vollständig kontrollierbar sind. Dies erschwert es, den optimalen Komfort mit kleinstmöglichem Energieaufwand über die ganze Lebensdauer eines Heiz- oder Kühlsystems sicherzustellen.

Hier bieten die sogenannten druckunabhängigen Ventile einen erheblichen Vorteil, da diese den Einfluss von Differenzdruckschwankungen selbsttätig kompensieren.

- Einfache Auslegung nach maximalem Volumenstrom (keine k_v -Wert-Berechnung)
- Einfacherer Einbau, da keine Abgleichventile notwendig
- Einfachere Inbetriebnahme dank dynamischem Abgleich (= permanenter und automatischer hydraulischer Abgleich)
- Sicherstellung der richtigen Wassermenge und somit der Heiz- oder Kühlleistung auch bei Teillastbetrieb und bei Differenzdruckschwankungen



Bild 54: Motorisierter 2-Weg-Regelkugelhahn



Bild 55: Motorisierter 3-Weg-Regelkugelhahn

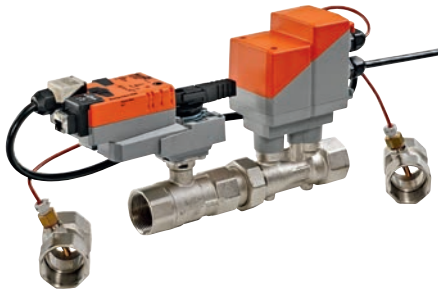


Bild 56: Elektronisch druckunabhängiges Belimo Energy Valve™ mit Durchflussmessung in Echtzeit und Energiemonitoringfunktion

5.2.3.2 Belimo-Sortiment Ventile/Ventilantriebe

Um die unterschiedlichen Anforderungen am Erzeuger, in der Verteilung und am Verbraucher abzudecken, hat Belimo ein breites Angebot von unterschiedlichen Ventilen und dazu passenden Motorisierungen. Zur Regelung eines Heiz- oder Kühlregisters in einem RLT-Gerät kommen vor allem die folgenden Produkte zum Einsatz.

Druckunabhängige Regelkugelhähnen

Sortiment	Ventile	Antriebe	Anwendungen
	Belimo Energy Valve™, Innengewinde, 2-Weg, DN 15...50: - EV..R+BAC(1) - EV..R+KBAC(1)	- Antrieb mit Monitoring- und Aufzeichnungsfunktion integriert - Elektronische Durchflussmessung - Permanenter hydraulischer Abgleich - Delta-T-Manager	Abgleichen, messen, regeln, absperren und Energiemonitoring mit einer Ventileinheit: - Durchfluss $V_{\max}$ 0.11...45 l/s - Nennweiten DN 15...150 - Zulässiger Druck 1600 kPa
	Belimo Energy Valve™, Flansch, 2-Weg, DN 65...150: - EV..F+BAC(1) - EV..F+KBAC(1)	- Leistungsregelung - Mit Notstelfunktion: KBAC - Mit Glykolüberwachung: BAC1 - Verbindung zu Belimo Cloud	
	Belimo Energy Valve™, Innengewinde, 3-Weg, DN 15...50: - EV..R3+BAC	- Antrieb mit Monitoring- und Aufzeichnungsfunktion integriert - Elektronische Durchfluss-messung - Permanenter hydraulischer Abgleich - Leistungsregelung - Verbindung zu Belimo Cloud	Schafft Anlagentransparenz in 3-Weg-Applikationen: - Durchfluss $V_{\max}$ (A-AB) 0.11...4.8 l/s - Nennweiten DN 15...50 - Zulässiger Druck 1600 kPa
	EPIV, Innengewinde, 2-Weg, DN 15...50: - EP..R+MP - EP..R+KMP - EP..R+MOD	- Antrieb integriert - Elektronische Durchflussmessung - Permanenter hydraulischer Abgleich - Mit Notstelfunktion: KMP	Abgleichen, messen, regeln und absperren mit einer Ventileinheit: - Durchfluss $V_{\max}$ 0.11...45 l/s - Nennweiten DN 15...150 - Zulässiger Druck 1600 kPa
	EPIV, Flansch, 2-Weg, DN 65...150: - EP..F+MP - EP..F+KMP - EP..F+MOD		

Regelkugelhähnen

Sortiment	Ventile	Antriebe	Anwendungen
	Innengewinde: - R2..-S.. (2-Weg) - R3..-S.. (3-Weg)	- Drehantriebe: TR-, LR-, NR-, SR-Serie - Mit Notstelfunktion: TRF-, LRF-, NRF(D)-, SRF-Serie	Kalt- und Warmwasser: - Nennweiten DN 15...50 - Zulässiger Druck 1600 kPa
	Aussengewinde: - R4.. (2-Weg) - R5.. (3-Weg)		
	Flansch: - R6..W..-S8 (2-Weg, PN16)	- Drehantriebe: SR-5-, GR-5-Serie - Mit Notstelfunktion: SRF-5-, GRK-5-Serie	Kalt- und Warmwasser, Anwendungen in IP66 / 67-Umgebung: - Nennweiten DN 15...50 - Zulässiger Druck 1600 kPa

Regel-, Absperr- und Umschaltventile für Aussenanwendungen

Sortiment	Ventile	Antriebe	Anwendungen
	Innengewinde: - R2.. (2-Weg) - R3.. (3-Weg)	- Drehantriebe: SR..P-Serie IP66/67	Kalt- und Warmwasser, Anwendungen in IP66/67-Umgebung: - Nennweiten DN 15...50 - Zulässiger Druck 1600 kPa
	Aussengewinde: - R4.. (2-Weg) - R5.. (3-Weg)		

Hubventile

Sortiment	Ventile	Antriebe	Anwendungen
	Aussengewinde: - H4..B (2-Weg) - H5..B (3-Weg)	- Standard Hubantriebe: LV..A (15 mm) NV..A, SV..A (20 mm) EV..A, RV..A (40 mm) - Hubantriebe mit Notstellfunktion: NVK..A, SVK..A (20 mm) AVK..A (32 mm)	Kalt- und Warmwasser: - Nennweiten DN 15...50 - Zulässiger Druck 1600 kPa
	Flansch: - H6..N/H7..N (2-/3-Weg, PN16) - H6..W../H7..W.. (2-/3-Weg, PN16), DN 200/250		

Eine ausführliche wasserseitige Beschreibung der verschiedenen Ventiltypen in den möglichen Anwendungsfällen für RLT-Anlagen ist der Broschüre «Belimo – Applikationen Luftaufbereitungsanlagen» zu entnehmen.

5.3 Steuern und Regeln eines RLT-Gerätes

Dieses Kapitel zeigt die verschiedenen Regelungskonzepte sowie Steuer- und Regelfunktionen eines RLT-Gerätes. Es werden jeweils einzelne Konzepte und Funktionen modulweise anhand der Regelsequenzen, der involvierten Komponenten und der benötigten Feldgeräte erklärt. Diese Funktionen und Elemente lassen sich teilweise kombinieren. Es wird jedoch nicht auf alle Kombinationsmöglichkeiten eingegangen. Unbeteiligte Komponenten und Feldgeräte werden jeweils zwecks Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Dieses Kapitel hat nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr geht es darum, zu zeigen, wie und wo unsere Feldgeräte innerhalb eines RLT-Gerätes eingebunden sind und welche Funktion sie dabei übernehmen.

5.3.1 Grundlagen über Regelsequenzen

Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, kann ein RLT-Gerät eine geforderte Luftmenge kühlen oder erhitzen, befeuchten oder entfeuchten und den entsprechenden Räumlichkeiten zur Verfügung stellen. Das verlangt ein abgestimmtes Verhalten resp. die Ansteuerung der einzelnen Elemente in der Anlage, was in der Regel die Automationsstation wahrnimmt.

Das prinzipielle Zusammenspiel der einzelnen Elemente kann in einem Sequenzdiagramm in sogenannten Regelsequenzen einfach dargestellt werden. Dabei wird die Stellgrösse der Elemente der jeweiligen Regelgrösse wie Temperatur oder Feuchte gegenübergestellt.

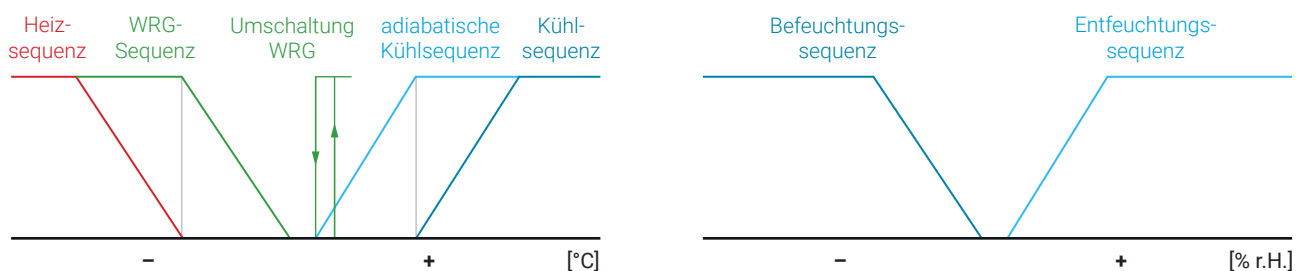


Bild 57: Sequenzdiagramm

In den folgenden Kapiteln werden nur die Regelsequenzen entsprechend der jeweils vorhandenen Funktionalität dargestellt. Für die Feuchtigkeitsregelung wird zudem zur Erklärung das Mollier-h,x-Diagramm beigezogen.

5.3.2 Regelungskonzepte

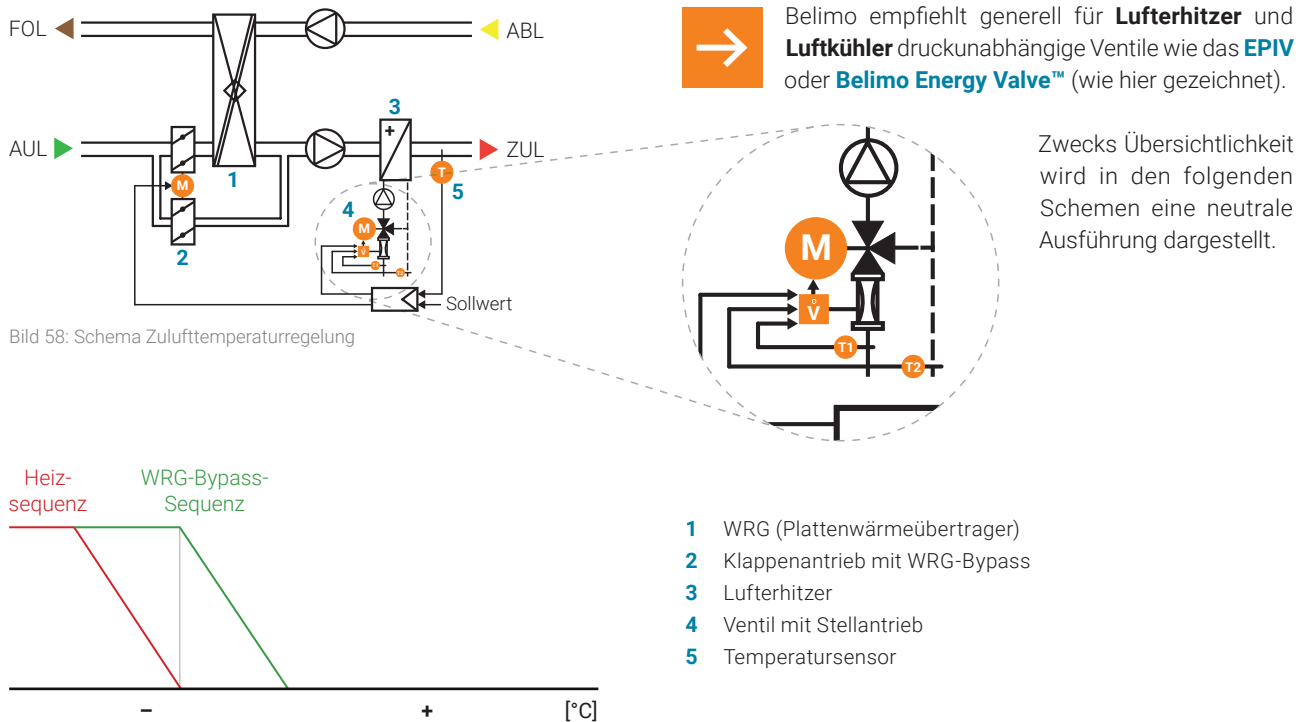
5.3.2.1 Temperaturregelung

Die Temperaturregelung kann je nach Anwendung und Anforderung als Zuluft-, Raum- oder Abluft- oder als entsprechende Kaskadenregelung ausgeführt werden, wie die folgenden drei Beispiele zeigen.

Die folgenden Beispiele werden anhand einer Lüftungsanlage mit Lufterwärmung erklärt. Im Prinzip funktioniert es gleich, wenn die Anlage ein Heiz- und/oder Kühlregister hat.

5.3.2.1.1 Zulufttemperaturregelung

Beispiel Lüftungsanlage mit Plattenwärmeübertrager und Lufterwärmung



In Europa regelt das RLT-Gerät normalerweise nur die Temperatur der zugeführten Luft (Zuluft), und die restliche Heizleistung wird in den Zonen eingebracht (z. B. mittels Radiatoren).

Die Zulufttemperaturregelung vergleicht den Istwert der Temperatur in der Zuluft (5) mit dem eingestellten Temperatur-Sollwert. Je nach Heizbedarf wird zuerst die Bypassklappe (2) des Plattenwärmeübertragers (1) und danach das Heizventil (4) des Lufterhitzers (3) angesteuert.

Die Bypassklappe des Plattenwärmeübertragers sorgt dafür, dass die Übertragungsleistung der Aussenluft kontrolliert an die Zuluft übertragen werden kann. Ist die Klappe geschlossen, wird die volle Leistung übertragen. Ist sie offen, wird die Aussenluft über den Bypass geleitet und kann somit keine Wärme von der Abluft übernehmen.

Eine Störung im Raum (z. B. zusätzliche Heizleistung) kann von dieser Regelung nicht erfasst werden und muss in der Zone gelöst werden.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
2	Klappenantrieb	- Drehmoment und Typ abhängig von Klappengröße und Platzverhältnissen - Ansteuerung stetig
4	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
5	Kanal-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge wird anhand des Kanalquerschnitts bestimmt

5.3.2.1.2 Raumtemperatur- oder Ablufttemperaturregelung

Beispiel Lüftungsanlage mit Rotationswärmeübertrager und Lufterwärmung

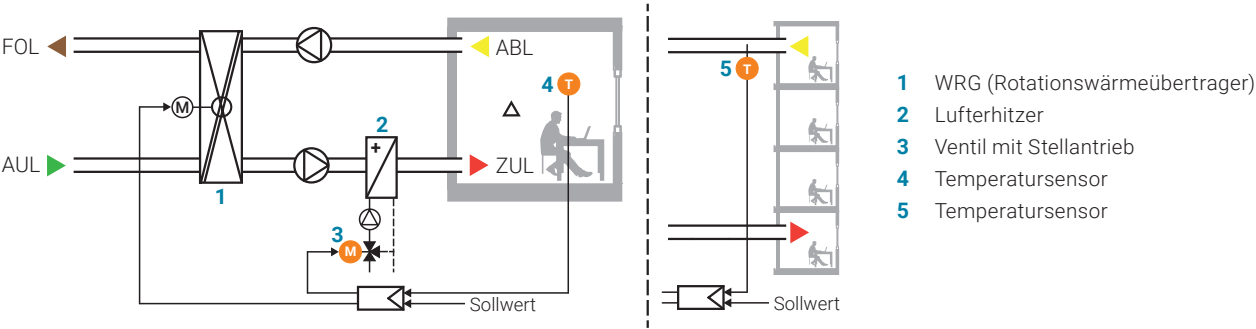
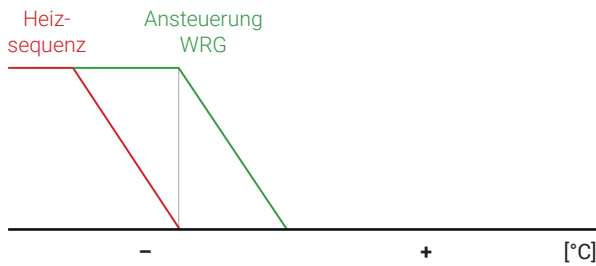


Bild 59: Schema Raumtemperatur- oder Ablufttemperaturregelung



Die Raumtemperaturregelung vergleicht die Temperatur im Raum (4) mit dem eingestellten Sollwert. Je nach Heizbedarf wird zuerst der Rotationswärmeübertrager (1) und danach das Heizventil (3) des Lufterhitzers (2) angesteuert. Bei dieser Regelung soll auch die Wärmeabgabe im Raum einbezogen werden. Andernfalls besteht ein Risiko von Schwingungen.

Die Regelung des Rotationswärmeübertragers erfolgt über die Änderung der Drehzahl des Rotors, welche typischerweise bei ca. 1...15 Umdrehungen pro Minute liegt. Die untere Drehzahl ist durch die Reinhaltung des Rotors begrenzt (damit nicht immer die gleiche Stelle des Rotors mit Luft beaufschlagt wird und ungleichmässig verschmutzt). Diese minimale Drehzahl kann zu einem Schwingverhalten in der Temperaturregelung führen und muss entsprechend berücksichtigt werden. Deshalb wird der Rotor auch manchmal intervallmässig angesteuert.

Die Ablufttemperaturregelung (Bild 59, rechte Seite) funktioniert im Prinzip gleich wie die Raumtemperaturregelung, jedoch wird anstelle der Raumtemperatur die Ablufttemperatur (5) im Kanal gemessen. Es wird eine gemittelte Temperatur (gemeinsame Abluft aus verschiedenen Räumen) gemessen. Daher sollte nur die Abluft von gleichartigen Räumen (Nutzung, Anordnung im Gebäude) gemessen werden.

Aufgrund der im Kanal auftretenden höheren Strömungsgeschwindigkeiten kann eine Temperaturänderung schneller erfasst werden. Dadurch erreicht man eine schnellere Ausgleichszeit.

Im Gegensatz zur reinen Zulufttemperaturregelung haben diese beiden Regelungen den Vorteil, dass stark schwankende Wärmelasten mitberücksichtigt werden. Der Nachteil ist, dass eine Störung in der Zuluft (z. B. schnelle Änderung der Aussentemperatur, Schwankung der Versorgungstemperatur der Wärmeübertrager, Ein- und Ausschalten eines Luftbefeuchters etc.) nur träge erfasst werden kann. Die Zulufttemperatur kann bei dieser Regelungsart stark schwanken und zu Zugserscheinungen führen. Daher wäre eine Minimal- und Maximalbegrenzung der Zulufttemperatur sinnvoll.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
3	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
4	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv
5	Kanal-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge wird anhand des Kanalquerschnitts bestimmt

5.3.2.1.3 Raum-Zulufttemperatur- oder Abluft-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung

Beispiel Lüftungsanlage mit Plattenwärmeübertrager und Lufterwärmung

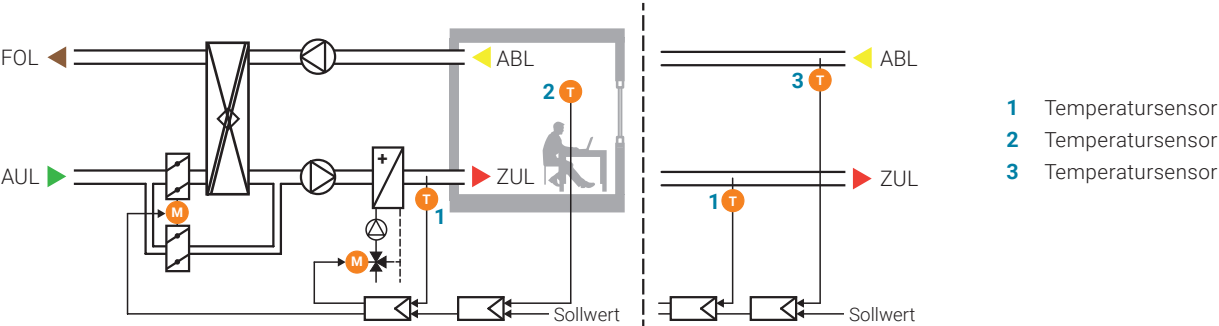


Bild 60: Schema Raum-Zulufttemperatur- oder Abluft-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung

Eine Kaskadenregelung wird heute in den meisten Fällen eingesetzt und hat gegenüber der reinen Zulufttemperatur- oder Raum- /Ablufttemperaturregelung den Vorteil, dass sie schnell eine Störung in der Zulufttemperatur (1) kompensieren, jedoch trotzdem die gewünschte Raum- oder Ablufttemperatur (2 oder 3) ausregeln kann. Dafür werden zwei Regler in Serie (Hilfs- und Folgeregelkreis) geschaltet. Um Zugserscheinungen zu verhindern, wird vielfach eine Minimal- und Maximalbegrenzung der Zulufttemperatur berücksichtigt.

Abgesehen vom Regler funktioniert die Ansteuerung des Wärmeübertragers oder Heizregister gleich wie bei der Raumtemperatur- oder Ablufttemperaturregelung.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1, 3	Kanal-Temperatursensor / Mittelwert-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge wird anhand des Kanalquerschnitts bestimmt
2	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv
3	Kanal-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge wird anhand des Kanalquerschnitts bestimmt

5.3.2.1.4 Aussenluftgeführter Sollwertgeber

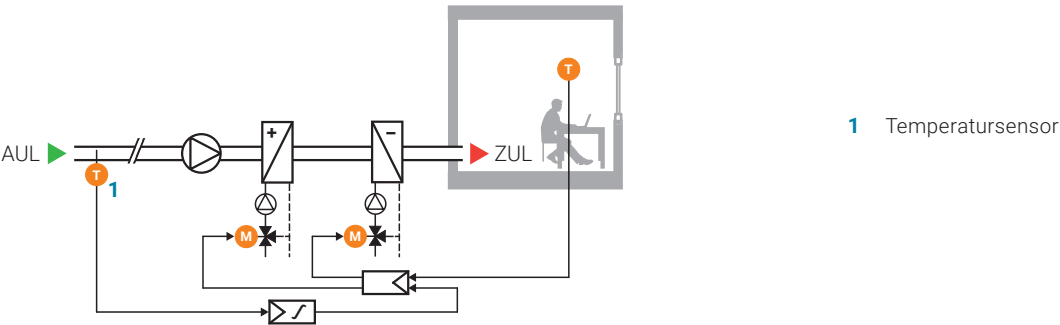


Bild 61: Schema aussengeführter Sollwertgeber

Um die zulässigen Temperaturen im Raum im Sommer und Winter einhalten zu können (siehe Kapitel 2.2.1.2), wird teilweise der Sollwert der Temperaturregelung nach der Aussenlufttemperatur geführt. Das funktioniert für die Raum-, Abluft-, Zuluft- oder Kaskadenregelung gleich.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Kanal-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge wird anhand des Leitungsquerschnitts bestimmt

5.3.2.1.5 Minimal- und Maximalbegrenzung der Zulufttemperatur

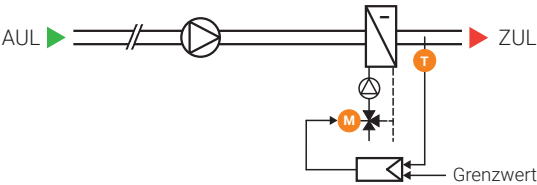


Bild 62: Schema Minimalbegrenzung der Zulufttemperatur

Mittels einer Begrenzungsschaltung kann die Zulufttemperatur auf ein Minimum resp. Maximum begrenzt werden, um Zuglufterscheinungen zu vermeiden.

5.3.2.2 Regelung der Wärmerückgewinnung (WRG)

Die Übertragungsleistung einer Wärmerückgewinnung muss geregelt werden können, da diese bei bestimmten Verhältnissen (z. B. grosser Fremdwärmeanfall) den tatsächlichen Bedarf übersteigt und mit zusätzlicher Energie wieder kompensiert werden müsste.

5.3.2.2.1 Regelung eines Platten- oder Rotationswärmeübertragers

Die Reglung eines Platten- und Rotationswärmeübertragers wurde anhand der Temperaturregelung im vorherigen Kapitel bereits erläutert.

Gewisse Ausführungen von Platten- und Rotationswärmeübertrager sind jedoch in der Lage, neben der Temperatur auch die Feuchtigkeit zu übertragen (sogenannte Enthalpieübertrager). In diesem Fall kann es Sinn machen, nach der Temperatur zu regeln, zudem jedoch die Feuchtigkeit zu überwachen. Sollte zum Beispiel die Feuchtigkeit im Raum oder in der Abluft einen gewissen Wert übersteigen, muss die Übertragungsleistung der WRG durch Öffnen des Bypasses oder Reduzierung der Rotor-drehzahl reduziert werden.

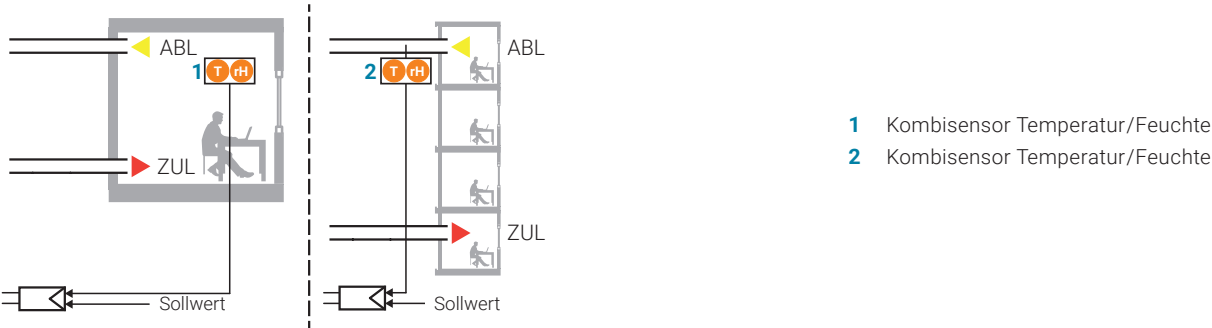


Bild 63: Schema Regelung eines Platten- oder Rotationswärmeübertragers

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung /Ausführung /Platzierung
1	Raumsensor Feuchte/Temperatur	
2	Raumsensor Feuchte/Temperatur	

5.3.2.2.2 Regelung eines Kreislaufverbundsystems

Es gibt sehr viele Ausführungsvarianten von Kreislaufverbundsystemen auf dem Markt. Folgend wird nur die einfachste Ausführung beschrieben.

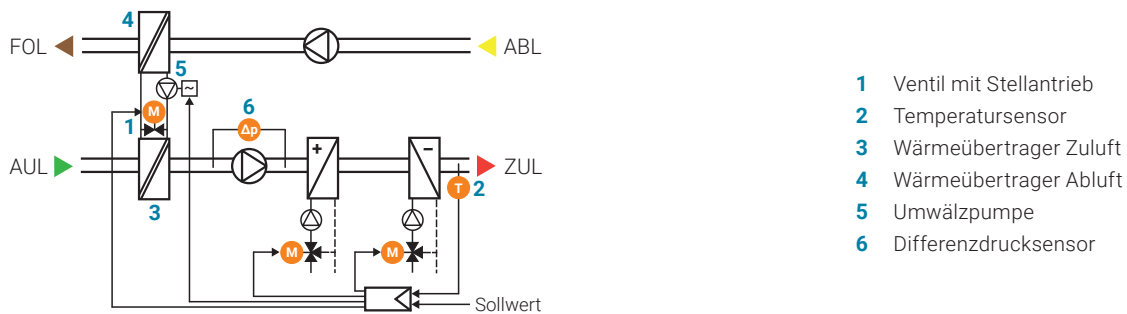


Bild 64: Schema Regelung eines KVS

Der Temperaturregler vergleicht die Temperatur, z. B. in der Zuluft (2), mit dem Sollwert. Abhängig von der Abweichung wird die Drehzahl der Umwälzpumpe (5) angesteuert.

Um den maximalen Temperaturänderungsgrad des KVS erreichen zu können, muss der umgewälzte Massenstrom des Zwischenmediums mit dem Massenstrom des Luftvolumenstroms übereinstimmen. Deshalb muss aus Energieeinsparungsgründen bei Anlagen mit stark variierendem Volumenstrom die maximale Drehzahl der Umwälzpumpe dem aktuellen Volumenstrom (berechnet aus dem Differenzdruck über dem Ventilator (6)) angepasst werden.

Kleine Regelabweichungen (Schwachlastbetrieb) können wegen der minimal notwendigen Drehzahl einer Pumpe nicht mehr ausgeglichen werden. Im unteren Bereich der Wärmeübertragung wird deshalb das Bypassventil (1) geöffnet.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Ventil mit Stellantrieb	- 2-Weg-Regelkugelhahn - Typ abhängig von der Dimensionierung - Ansteuerung stetig
2	Kanal-Temperatursensor / Mittelwert-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge wird anhand des Kanalquerschnitts bestimmt
6	Differenzdrucksensor	- Messbereich des Drucks abhängig vom Ventilatortyp - zur Berechnung des aktuellen Volumenstroms - mit/ohne Auto-Zero-Funktion und Display

5.3.2.2.3 Umschaltung des Wirksinns der Wärmerückgewinnung

Eine Klimaanlage ist in der Lage, die Zuluft entsprechend den Anforderungen zu erwärmen oder zu kühlen. Die Wärmerückgewinnung muss daher in der Lage sein, die «Wärme» oder «Kälte» rückzugewinnen. In der Regelung wird das berücksichtigt, indem der Wirksinn der WRG entsprechend umgeschaltet wird.

Das Prinzip ist für Platten- und Rotationswärmeübertrager sowie Kreislaufverbundsysteme das gleiche.

Beispiel Klimaanlage mit Plattenwärmeübertrager, Lufterwärmung und Luftkühlung

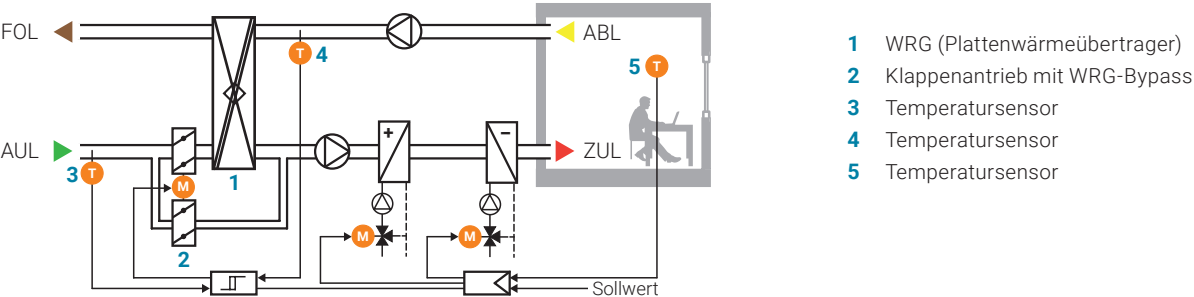
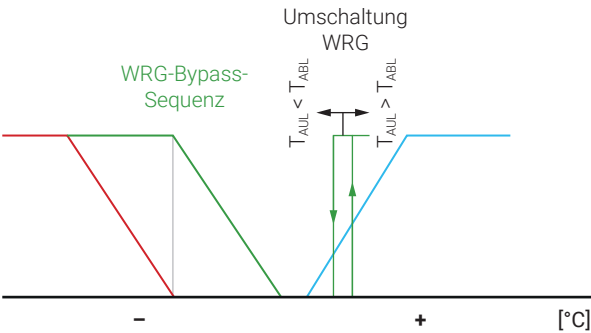


Bild 65: Schema Umschaltung Wirksinn WRG



Der Regler vergleicht die Temperatur im Raum (5) mit dem Sollwert. Je nach Bedarf wird als Stellgrösse ein Signal an Heizventil, Kühlventil oder in diesem Beispiel an den Stellantrieb des Bypasses (2) des Plattenwärmeübertragers (1) gesendet.

Befindet sich die Anlage in der Kühlsequenz, muss entschieden werden, ob die WRG auch Kühlleistung rückgewinnen soll oder nicht. Dabei vergleicht man die Temperatur der Aussenluft (3) mit der Temperatur der Abluft (4). Je nach Verhältnis schaltet ein Zweipunkt-Umschalter die WRG zu 100% zu oder nicht.

Die Umschaltung des Wirksinns funktioniert bei einem Enthalpieübertrager genau gleich wie bei einem normalen Wärmeübertrager. Für die Umschaltung wird neben der Aussen- und Ablufttemperatur auch die Feuchte mitberücksichtigt (siehe dazu das Beispiel in Kapitel 5.4.5).

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
2	Klappenantrieb	- Drehmoment und Typ abhängig von Klappengrösse und Platzverhältnissen - Ansteuerung stetig
3, 4	Kanal-Temperatursensor / Mittelwert-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge wird anhand des Kanalquerschnitts bestimmt
5	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv

5.3.2.3 Feuchteregelung

Im Wesentlichen unterscheidet man zwei Fälle: Feuchteregelung mit adiabatischer Befeuchtung und Feuchteregelung mit isothermer Befeuchtung. Sie unterscheiden sich neben der Art des Befeuchters vor allem darin, dass die Zuluft bei der adiabatischen Befeuchtung in der Regel noch nacherwärmt werden muss.

Der Prozess der Luftbefeuchtung ist im Mollier-h,x-Diagramm gut ersichtlich (siehe Kapitel 2.5.2). An dieser Stelle wird auf die Darstellung im h,x-Diagramm verzichtet.

5.3.2.3.1 Feuchteregelung (adiabat)

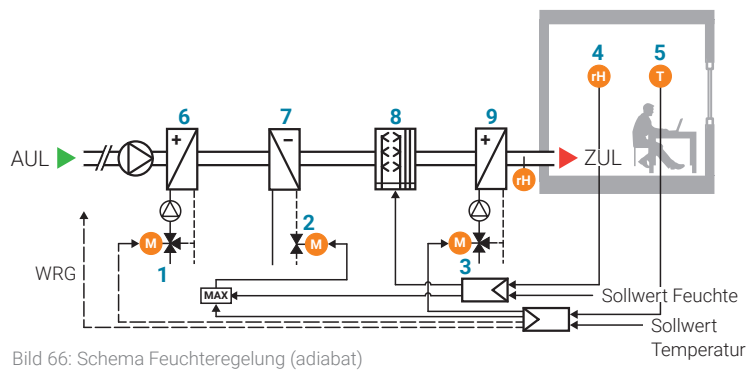
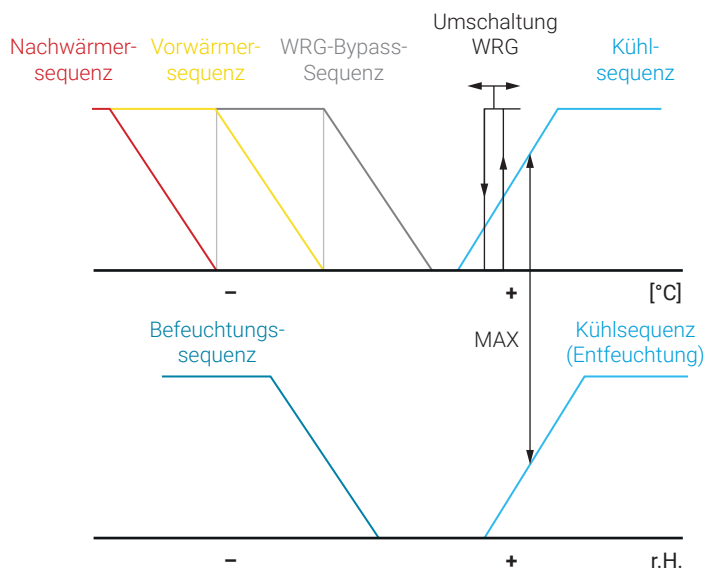


Bild 66: Schema Feuchteregelung (adiabat)

- 1 Ventil mit Stellantrieb
- 2 Ventil mit Stellantrieb
- 3 Ventil mit Stellantrieb
- 4 Feuchtesensor
- 5 Temperatursensor
- 6 Lufterhitzer/Vorwärmer
- 7 Luftkühler
- 8 Befeuchter (adiabat)
- 9 Lufterhitzer/Nachwärmer



Mit der Feuchterege lung kann sowohl befeuchtet als auch entfeuchtet werden. Dazu werden ein Feuchte- und ein Temperaturregelkreis benötigt.

Die Feuchtereglung vergleicht die relative Feuchtigkeit im Raum (5) (oder alternativ in der Abluft) mit dem Sollwert. Wenn der Ist-Wert zu tief ist, muss befeuchtet werden und der Befeuchter wird entsprechend angesteuert. Bei der adiabatischen Befeuchtung kühlt sich die Luft dabei ab. Die Temperaturregelung bemerkt das und kompensiert das in erster Sequenz mit der WRG (im Schema nicht gezeichnet), in zweiter Sequenz mit dem Vorwärmer (6) und in dritter Sequenz mit dem Nachwärmer (9).

Ist der Feuchtigkeits-Ist-Wert zu hoch, muss entfeuchtet werden. Entfeuchtet wird mit dem Kühlregister (7) durch Abkühlung und Kondensation der Zuluft. Um die Temperatur entsprechend halten zu können, muss die Zuluft nacherwärmt werden.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/ Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
2	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/ Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
3	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/ Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
4	Raum-Feuchtesensor	- aktiv oder passiv - kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Temperatursensor ausgeführt werden
5	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Temperatursensor ausgeführt werden

5.3.2.3.2 Feuchteregelung (isotherm)

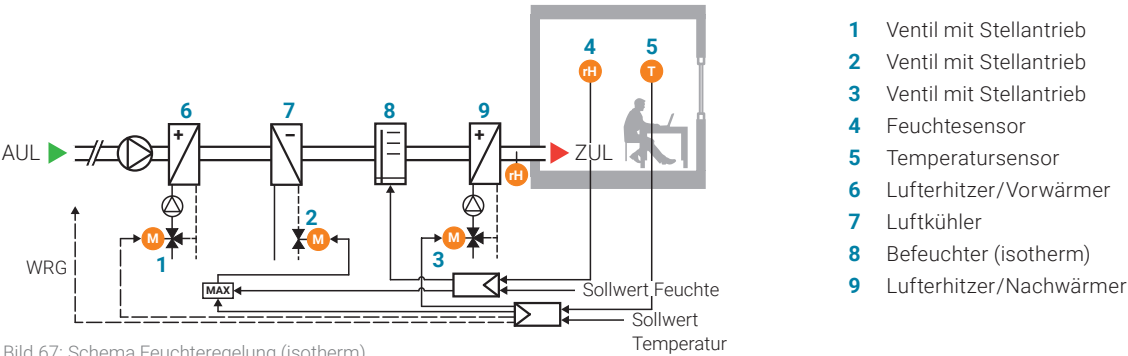


Bild 67: Schema Feuchteregelung (isotherm)

Im Wesentlichen funktioniert die isotherme gleich wie die adiabate Befeuchtungsregelung, wobei bei der Befeuchtung nicht nacherwärmt werden muss, da sich die Zuluft nicht abkühlt.

Der Nachwärmer wird jedoch für die Entfeuchtung benötigt. Es könnte darauf verzichtet werden, wenn das Kühlregister (7) vor dem Heizregister (6) angeordnet würde (siehe auch Kapitel 5.4.2). Das Heizregister (6) müsste dann bei der Entfeuchtung die Luft entsprechend erwärmen. Das bedingt aber, dass das Heizregister mit höheren Vorlauf- und Rücklauftemperaturen betrieben werden müsste (da ggf. die gesamte Heizenergie mit einem Wärmeübertrager eingebracht werden müsste).

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
2	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
3	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
4	Raum-Feuchtesensor	- aktiv oder passiv - kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Temperatursensor ausgeführt werden
5	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Temperatursensor ausgeführt werden

5.3.2.3.3 Überwachung der maximalen Feuchte



Bild 68: Schema Überwachung maximale Feuchte

Wird ein Befeuchter eingesetzt, wird vielfach auch die maximale Feuchtigkeit in der Zuluft überwacht.

Wird ein definierter Wert überschritten, muss die Anlage abgeschaltet werden, da sonst Schäden im Raum resp. an den Gegenständen im Raum (Schimmel) entstehen können. Ursache kann z. B. ein defekter Befeuchter sein.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Kanalhygrostat	- Minimalabstand zum Luftbefeuchter beachten

5.3.2.4 Bedarfsgeführte Luftqualitätsregelung (Demand Control Ventilation)

Die bedarfsgeführte Luftqualitätsregelung hat zum Ziel, die Luftqualität im Raum mit minimalem Energieaufwand zu regeln.

Um möglichst viel Energie einsparen zu können oder im Winter zu trockene Raumluft zu vermeiden, ist es notwendig, den Anteil der Aussenluft bedarfsabhängig zu regeln, damit nur die wirklich benötigte Luft aufbereitet werden muss. Die Mess- und Regelgrößen sind diesbezüglich CO₂ oder VOC. Siehe auch Kapitel 2.2.

5.3.2.4.1 Regelung

Die folgende Regelung bezieht sich auf Einzelraumanlagen.

Bei Gebäuden mit mehreren Räumen resp. Zonen wird die bedarfsgeführte Luftqualitätsregelung in der Regel mit VAVs lokal umgesetzt.

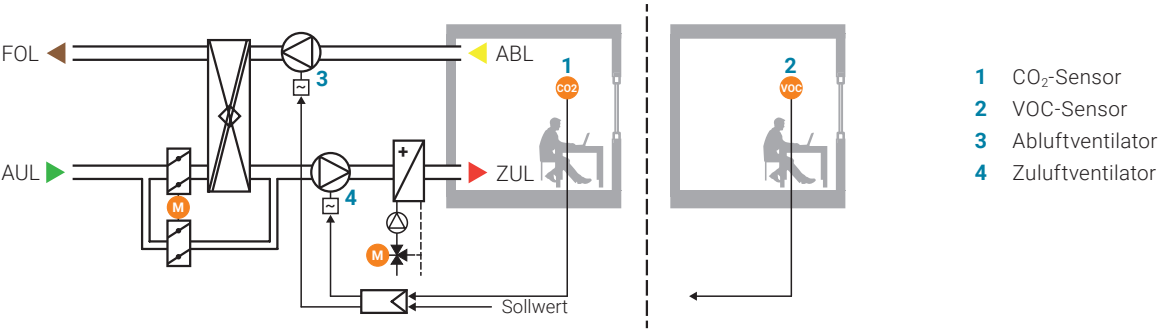
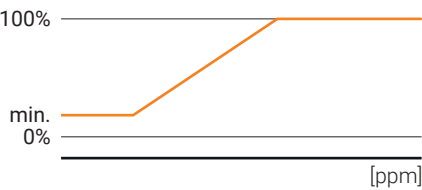


Bild 69: Schema bedarfsgeführte Luftqualitätsregelung

Normalerweise läuft die Anlage mit minimaler Drehzahl. Verschlechtert sich die Luftqualität respektive steigt das CO₂-Niveau an, wird die Drehzahl des Ventilators bis zum Maximum stetig erhöht, bis der Sollwert wieder erreicht ist.



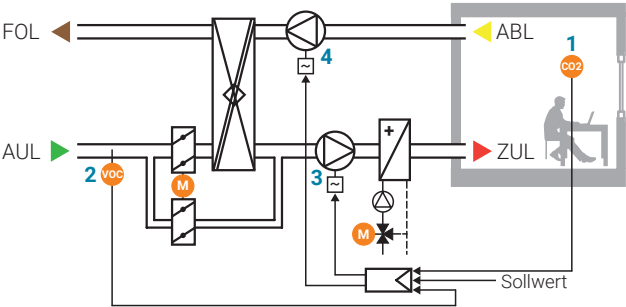
Alternativ kann der CO₂- oder der VOC-Sensor auch in der Abluft angeordnet werden.

Zur Anwendung kommt die Luftqualitätsregelung vor allem für Räume mit variabler Belegung wie Restaurants, Hörsäle, Messe- und Sporthallen, Konferenzräume und Theater etc. Belimo empfiehlt, bei Personendetektion auf VOC-Sensoren zu verzichten, da die Messwerte teilweise deutlich von der tatsächlichen Zahl anwesender Personen abweichen.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Raumsensor CO ₂	- kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - wie im vorhergehenden Beispiel beschrieben, könnte dies auch mit einem VOC-Sensor ausgeführt werden
2	Raumsensor VOC-Sensor	- kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - CO ₂ zum Detektieren von Personen besser geeignet

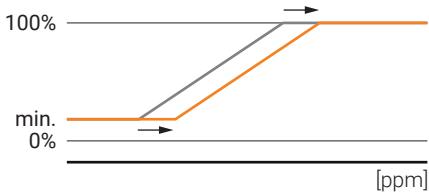
5.3.2.4.2 VOC-Messung in der Aussenluft



- 1 CO₂-Sensor
- 2 VOC-Sensor
- 3 Zuluftventilator
- 4 Abluftventilator

Bild 70: Schema VOC-Messung in der Aussenluft

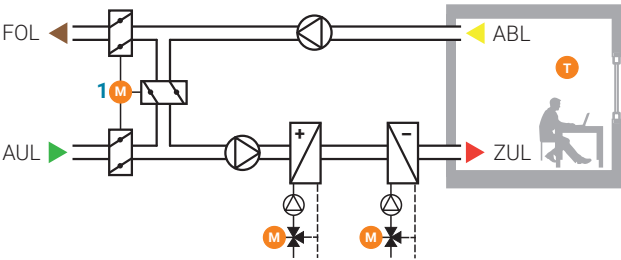
Als Ergänzung zur bedarfsgeführten Regelung (siehe vorhergehendes Kapitel) kann es bei starken Gerüchen in der Aussenluft (zum Beispiel aus der Landwirtschaft) Sinn machen, den Luftvolumenstrom zu reduzieren, damit die Raumluf nicht übermässig belastet wird. Dazu wird die VOC-Konzentration über einen entsprechenden Sensor in der Aussenluft (2) gemessen, und die Drehzahlen der Ventilatoren (3/4) werden entsprechend reduziert. Der Sollwert für den Raum wird dafür entsprechend angehoben.



Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Raumsensor CO ₂	- kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden
2	Kanalsensor VOC	

5.3.2.5 Umluftbeimischung



- 1 Klappenantrieb

Bild 71: Schema Umluftbeimischung

Zur Optimierung der Energiekosten bei Gebäuden, in denen die Lüftungs- und Klimaanlage den gesamten Heiz-/Kühlenergiebedarf abdecken muss, kann ein Teil der Abluft wieder der Aussenluft beigemischt werden. Zusätzlich kann beim Hochfahren der Anlage resp. zum Aufheizen oder Abkühlen des Gebäudes die Anlage zu 100% auf Umluftbetrieb gefahren werden. Damit spart man die zusätzliche Konditionierung der Aussenluft. Typischerweise wird das für grosse Räume oder Hallen wie Messe- und Sporthallen, Konferenzräume und Theater etc. eingesetzt.

Die Umluftbeimischung kann nach verschiedenen Kriterien gesteuert werden:

- Konstante Umluftbeimischung
- Manuelle Steuerung
- Aussentemperaturabhängige Steuerung
- Mischlufttemperatur- oder Enthalpie-abhängige Steuerung

Die Funktion einer aussentemperaturabhängigen Steuerung kann wie folgt beschrieben werden:

Im Kühlbetrieb bleiben die Umluftklappe geschlossen resp. die Aussen- und Fortluftklappen geöffnet, solange die Abluft wärmer ist als die Aussenluft. Ist diese kälter, wird sofort auf Umluftbetrieb umgeschaltet. Ein minimaler Frischluftanteil muss jedoch

gewährleistet bleiben. Sollte die Temperatur unter die Solltemperatur sinken, werden die Umluftklappe wieder stetig geschlossen resp. die Aussen- und Fortluftklappen entsprechend geöffnet.

Im Heizbetrieb verhält sich das System entsprechend umgekehrt.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Klappenantrieb(e)	- Drehmoment und Typ abhängig von Klappengrösse und Platzverhältnissen - Ansteuerung stetig - in der Regel im Verbund mit Klappenantrieben für Aussenluft- und Fortluftklappe ausgeführt

5.3.3 Steuer- und Regelfunktionen

5.3.3.1 Anfahrtschaltung

Beim «Anfahren» eines RLT-Gerätes durchläuft die Steuerung der Anlage verschiedene Sequenzen, die je nach Grösse und Art der Anlage sehr unterschiedlich abfolgen und teilweise auch einige Minuten dauern können.

Dabei werden die verschiedenen Zustände der Anlagenkomponenten überprüft und die Sensorwerte berücksichtigt. Wenn alles ok ist, keine Fehler anliegen und eine Freigabe vorhanden ist, werden die einzelnen Aggregate hochgefahren. Dabei werden die Aussenluft- und Fortluftklappen geöffnet, die Ventilatoren hochgefahren und danach je nach Temperatur- und Feuchteregelung die entsprechenden Aggregate angesteuert.

Je nach Aussentemperatur muss beispielsweise entschieden werden, ob eine Frostschutz-Anfahrtssteuerung gefahren werden muss oder nicht (siehe auch Kapitel 5.3.3.4). Im Winterbetrieb bei tiefen Aussentemperaturen würde beim Einschalten der Anlage der luftseitige Frostschutz ansprechen und die Anlage sofort wieder abstellen, was natürlich nicht gewünscht ist.

5.3.3.2 Filterüberwachung

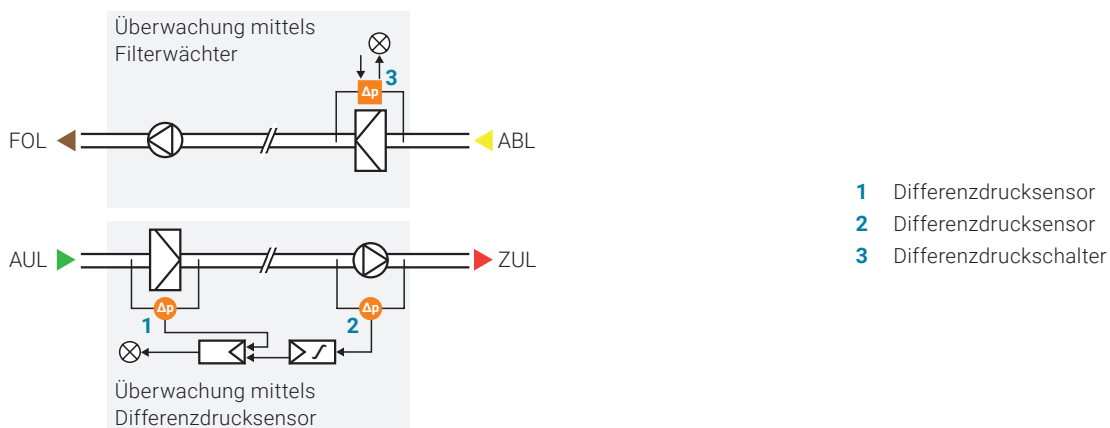


Bild 72: Schema Filterüberwachung

Filter halten staubförmige Verunreinigungen aus der Aussenluft und ggf. der Abluft zurück und ermöglichen damit:

- eine verbesserte Raumlufthqualität,
- eine geringere Verschmutzung des Raumes und
- eine geringere Verschmutzung der Anlageelemente und Luftkanäle.

Mit zunehmender Verschmutzung steigt der Differenzdruck über dem Filter laufend an. Bei konstanter Ventilatorendrehzahl nimmt dadurch der Volumenstrom entsprechend ab. Bei konstantem Volumenstrom hingegen muss die Ventilatorendrehzahl entsprechend erhöht werden.

Aus energetischen und hygienischen Gründen muss die Verschmutzung überwacht werden, um den Filter rechtzeitig austauschen zu können.

Die Filterüberwachung kann entweder mit einem Differenzdrucksensor oder einem Filterwächter erfolgen, wie oben in der Zuluft oder in der Abluft beispielhaft dargestellt. In der Praxis wird in einem RLT-Gerät nur ein System verwendet.

5.3.3.2.1 Überwachung mittels Filterwchter

Die Überwachung durch einen Filterwchter ist eine kostengünstige Variante. Der Filterwchter ist auf einen bestimmten Differenzdruck, abhängig vom Filtertyp (siehe Kapitel 3.4.1) und Betriebsvolumenstrom, ausgelegt.

Wird die Anlage nur im Teillastbetrieb verwendet, muss sie mindestens einmal am Tag mit maximalem Volumenstrom betrieben werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass der Wächter viel zu spät auslöst. Ist das nicht möglich, soll ein Differenzdrucksensor eingesetzt werden.

5.3.3.2.2 Überwachung mittels Differenzdrucksensor

In Anlagen mit variablem Volumenstrom wird empfohlen, die Filterüberwachung mit einem Differenzdrucksensor vorzunehmen. Dabei muss der Grenzsollwert der Filterverschmutzung in Abhängigkeit vom aktuellen Luftvolumenstrom, der sich aus dem Differenzdruck über dem Ventilator und dem Ventilator-spezifischen k-Faktor berechnen lässt, berücksichtigt werden.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Differenzdrucksensor	Druckbereich anhand der empfohlenen Enddruckdifferenz des Filters auswählen
2	Differenzdrucksensor	für die Bestimmung des aktuellen Volumenstroms den Druckbereich anhand der Ventilator Kenndaten bestimmen
3	Differenzdruckschalter	Druckbereich anhand der empfohlenen Enddruckdifferenz des Filters auswählen

5.3.3.3 Frostschutz

Herrschen sehr tiefe Aussentemperaturen, kann es passieren, dass das Wasser im Heizregister gefriert und dieses beschädigt, was hohe Folgekosten haben kann. Das passiert in der Regel, wenn die Anlage eine Fehlfunktion hat, sie falsch ausgelegt wurde oder eine Komponente defekt ist.

Die Funktion «Frostschutz» hat die Aufgabe, das Heizregister vor dieser Art von Beschädigungen zu schtzen. Die Funktion Frostschutz bedeutet:

- Öffnen des Lufterhitzerventils auf 100%
- Einschalten der Umwlpumpe (sofern diese noch nicht angeschaltet ist)
- Die Zuluft- und Abluftventilatoren werden ausgeschaltet
- Aussen- und Fortluftklappen sowie die Brandschutzklappen mit Motorantrieb werden geschlossen
- Störungsmeldung wird abgesetzt

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie möglicher Frost detektiert werden kann.

5.3.3.3.1 Einstufige Frostschutzfunktion

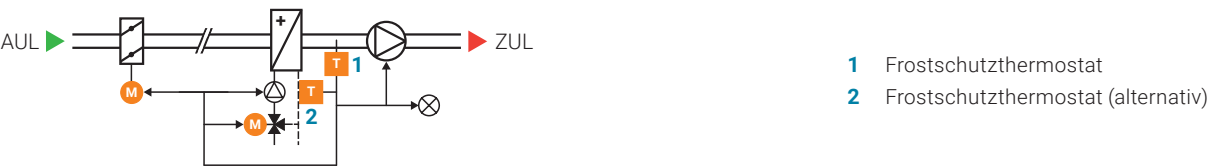


Bild 73: Schema einstufige Frostschutzfunktion

Der Frostschutz wird entweder luftseitig (1) oder wasserseitig (2) berwacht. Entweder wird ein Thermostat unmittelbar hinter dem Heizregister oder auf dem Lufterhitzer-Austritt montiert. Sobald die eingestellte Grenztemperatur unterschritten wird, schaltet der Thermostat auf Frostgefahr.

Ist mit dem Einfrieren des Lufterhitzers ein grosser Folgeschaden zu erwarten, können zur Erhöhung der Sicherheit beide Thermostaten eingesetzt werden.

5.3.3.3.2 Präventiver Frostschutz

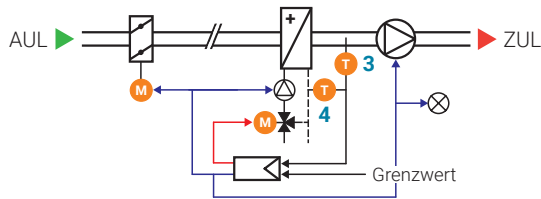
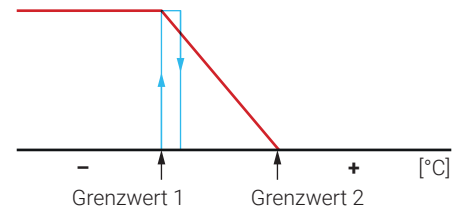


Bild 74: Schema präventiver Frostschutz

Der präventive Frostschutz verhindert das unnötige Aktivieren der Funktion «Frostschutz», indem vorsorglich die vorhandenen «Wärmelieferanten» berücksichtigt werden. Bei Unterschreitung der Grenztemperatur 2 (siehe Diagramm) wird das Heizventil stetig aufgeföhren. Sofern vorhanden, wird die Leistung der WRG oder der Umluftanteil erhöht. Gleichzeitig wird ein geöffnetes Kühlventil geschlossen, um unnötigen Energieverbrauch zu vermeiden (weil dieses die Temperatur wieder ausgleichen möchte). Wird die Grenztemperatur 1 trotzdem unterschritten, wird die Aussenluftklappe geschlossen und der Ventilator abgestellt.



Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Frostschutzthermostat	- Frostschutzschalter - Montage am Ausgang des Lufterhitzers
2	Frostschutzthermostat	- Frostwächter stetig oder Schalter
3	Stetiger Frostschutzwächter	- Sondenlänge anhand des Leitungsquerschnitts bestimmen
4	Temperatursensor	- Temperatursensor mit Tauchhülse oder Tauchsensord - Länge der Tauchhülse anhand des Leitungsquerschnitts und des Eintauchwinkels bestimmen

5.3.3.4 Frostschutz-Anfahrtssteuerung

Die Frostschutz-Anfahrtssteuerung wird dann verwendet, wenn die Anlage bei sehr tiefen Aussentemperaturen gestartet werden möchte. Ohne spezielle Vorkehrungen kann es passieren, dass die Anlage sofort in die Funktion «Frostschutz» fällt und sofort wieder abgestellt wird.

- Die Frostschutz-Anfahrtssteuerung kennt folgendes Vorgehen:
- Öffnen des Lufterwärmerventils auf 100%
- Einschalten der Umwälzpumpe
- Abwarten der Aufheizphase des Heizregisters (Zeit abhängig von Aussentemperatur)
- Aussen- und Fortluftklappen werden geöffnet
- Die Zuluft- und Abluftventilatoren werden eingeschaltet
- Das Lufterwärmerventil wird gemäss aktuellem Heizbedarf eingestellt

5.3.3.5 Vereisungsschutz der WRG

Der Vereisungsschutz wird benötigt, wenn bei sehr tiefen Aussentemperaturen der Taupunkt der Abluft unterschritten wird und das anfallende Kondensat in der WRG gefriert. Dadurch verkleinert sich der freie Querschnitt, der Druckverlust vergrößert sich, und der Wirkungsgrad nimmt dadurch ab. Die Vereisungsgefahr ist abhängig von der Aussentemperatur, der Abluftfeuchte und -temperatur und vom Temperaturänderungsgrad des WRG-Systems.

Der Vereisungsschutz wird für die drei verschiedenen WRGs unterschiedlich gelöst:

5.3.3.5.1 Vereisungsschutz für Plattenwärmeübertrager

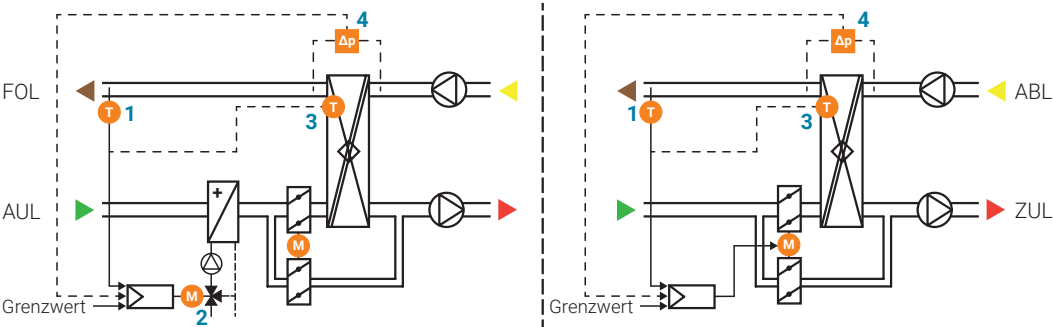


Bild 75: Schema Vereisungsschutz Plattenwärmeübertrager

- 1 Temperatursensor
- 2 Ventil mit Stellantrieb
- 3 Temperatursensor (alternativ)
- 4 Differenzdrucksensor (alternativ)

Es gibt zwei Möglichkeiten, wie die Vereisung des Plattenwärmeübertragers verhindert werden kann. Entweder man setzt einen **Luftvorwärmer** ein, oder man regelt die Leistung des Wärmeübertragers mit dem **Bypasskanal**.

Gesteuert werden diese beiden Elemente durch Messung und Einhaltung einer minimal zulässigen Temperatur entweder der Fortluft (1) oder alternativ direkt an der kritischen Stelle innerhalb der WRG (3).

Bei der ersten Möglichkeit wird mit dem **Luftvorwärmer** die Aussenluft erwärmt. Auch bei voller Übertragungsleistung der WRG kühlt sich die WRG auf der Abluft-/Fortluftseite entsprechend weniger ab, und die Eisbildung wird verhindert.

Bei der zweiten Möglichkeit wird der Anteil Aussenluft, der über die WRG geführt wird, reduziert. Damit wird die Übertragungsleistung der WRG gesenkt. Somit senkt sich die Temperatur auf der Abluft- /Fortluftseite nicht weiter ab, und eine Eisbildung wird damit verhindert. Dafür muss die fehlende Energie entsprechend mittels Nachwärmer eingebracht werden.

Anstelle der Temperatur (1 oder 3) kann auch der Differenzdruck (4) im Abluftkanal über der WRG gemessen werden. Das sich bildende Eis in der WRG erzeugt einen Luftwiderstand, und der Differenzdruck nimmt zu. Mit den oben aufgeführten Massnahmen kann entsprechend reagiert werden. Bei dieser Variante ist jedoch zu beachten, dass eine teilweise Vereisung zugelassen werden darf. Diese Variante ist energieeffizienter, da erst bei tieferen Temperaturen der Vereisungsschutz aktiviert wird.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Temperatursensor	- Kanaltemperatursensor aktiv oder passiv - Sondenlänge anhand des Leitungsquerschnitts bestimmen
2	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
3	Temperatursensor	
4	Differenzdrucksensor oder Differenzdruckschalter	- Druckbereich anhand der zulässigen Enddruckdifferenz über WRG auswählen

5.3.3.5.2 Vereisungsschutz für Rotationswärmeübertrager

Die Vereisung eines Rotationswärmeübertragers kann erst bei sehr tiefen Aussentemperaturen auftreten, da sich der Rotor dreht und eine sich ggf. bildende Eisschicht wieder schmelzen kann. Die Grenztemperatur, bei welcher eine Vereisung eintritt, wird vom Hersteller angegeben. Wenn die klimatischen Bedingungen dies zulassen könnten, muss die Grenztemperatur durch einen Lufterwärmer oder, wenn dies zulässig ist, durch Umluftbeimischung gehalten werden. In diesem Fall ist die Regelung ähnlich wie beim Plattenwärmeübertrager.

5.3.3.5.3 Vereisungsschutz für Kreislaufverbundsysteme (KVS)



Bild 76: Schema Vereisungsschutz KVS

Wie beim Plattenwärmeübertrager wird auch hier die Leistung der WRG heruntergefahren, wenn die Temperatur des WRG-Mediums einen bestimmten Grenzwert (z. B. unter 2 °C) unterschreitet. Dabei wird das Bypassventil des KVS stetig geöffnet, und das warme WRG-Medium wird umgelenkt resp. die Abluft wird weniger stark gekühlt und vereist so nicht mehr.

Die fehlende Leistungsübertragung über die WRG muss durch den Lufterhitzer wieder kompensiert werden.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Temperatursensor	- Temperatursensor mit Tauchhülse oder Tauchsensord - Länge der Tauchhülse anhand des Leitungsquerschnitts und Eintauchwinkels bestimmen

5.3.3.6 Druck- und Volumenstromregelung

Die durch das RLT-Gerät geführte Luft kann im Wesentlichen auf drei Arten geregelt werden: Regelung des Zu- resp. Abluftdrucks, Regelung des Volumenstroms oder Ventilatorregelung mit Fan Optimiser.

Die Änderung des Drucks oder Volumenstroms wird in den meisten Fällen mit dem Ventilator durch Anpassung der Ventilator-drehzahl sichergestellt.

5.3.3.6.1 Regelung des Zu-/Abluftdrucks

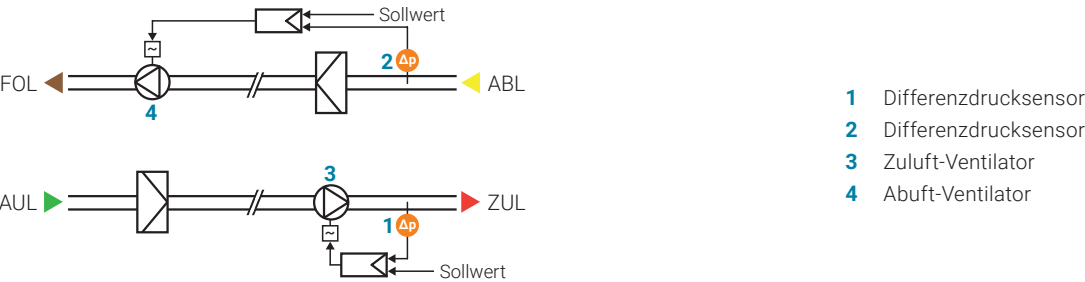


Bild 77: Schema Regelung Zu-/Abluftdruck

Auf einen bestimmten Zu- und Abluftdruck mit variierendem Volumenstrom wird geregelt, wenn einzelne Teilbereiche/Zonen/ Räume im Gebäude zu- oder abgeschaltet werden können und sich die Bedingungen wie Zug- oder Geräuscheinungen für die anderen Bereiche nicht ändern dürfen. Diese Regelung wird auch gemacht, wenn in den Zonen VAVs verwendet werden.

Die Sollwerte für Zu- und Abluft können unterschiedlich sein.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Differenzdrucksensor	- «+»-Seite an Lüftungsleitung angeschlossen, «-»-Seite gegen Atmosphäre - Platzierung des Sensors auf dem RLT-Gerät oder Zuluftkanal (in der Nähe der ersten Abzweigung)
2	Differenzdrucksensor	- «-»-Seite an Lüftungsleitung angeschlossen, «+»-Seite gegen Atmosphäre. - Platzierung des Sensors auf dem RLT-Gerät oder Abluftkanal (in der Nähe der letzten Abzweigung)

5.3.3.6.2 Luftvolumenstromregelung

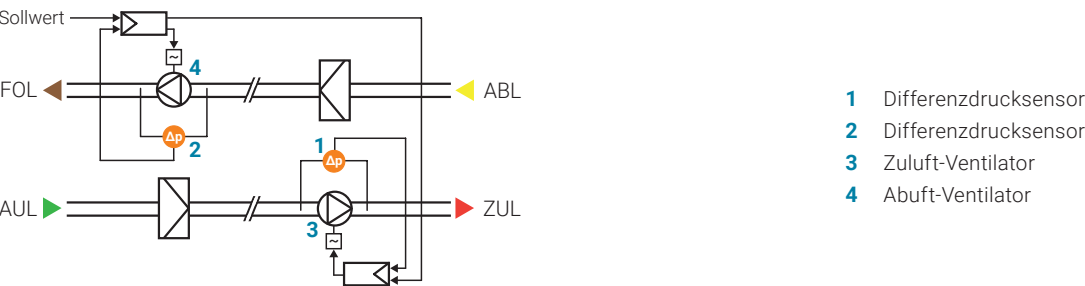


Bild 78: Schema Regelung Zuluftvolumenstrom in Abhängigkeit des Abluftvolumenstroms

Die Ermittlung des Volumenstroms in der Zu- und/oder Abluft wird anhand des Differenzdrucks, der über der Einlaufdüse des Ventilators gemessen wird, und des Ventilator-spezifischen k-Faktors (Herstellerangaben) ermittelt (siehe auch Kapitel 3.4.2.3). Dadurch können die einzelnen Volumenströme entsprechend geregelt werden.

In bestimmten Fällen macht es Sinn, wenn die Reglung des Zuluftvolumenstroms in Abhängigkeit des Abluftvolumenstroms erfolgt, wie im obigen Schema abgebildet. Das wird mittels einer Kaskadenregelung realisiert.

Diese Art von Regelung wird angewendet, wenn sich der Zuluftvolumenstrom zum Abluftvolumenstrom proportional verhalten soll. Diese Regelung kann beispielsweise in Fabriken eingesetzt werden, wo der Abluftvolumenstrom wegen verschiedener Absaugeinrichtungen oft verändert wird und die Zuluft entsprechend nachgeführt werden muss.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Differenzdrucksensor	- Druckbereich anhand der Ventilatorckenndaten bestimmen
2	Differenzdrucksensor	- Druckbereich anhand der Ventilatorckenndaten bestimmen

5.3.3.6.3 Fan Optimiser



Bild 79: Schema Fan Optimiser

Bei einem druckrückgeführten Volumenstrom-Regelsystem kann der Fan Optimiser einen energieeffizienten Betrieb der Ventilatoren sicherstellen.

Dafür werden über einen Feldbus (zum Beispiel MP-Bus oder Modbus) die Klappenpositionen aller VAVs erfasst und durch den Fan Optimiser ausgewertet. Zeigt das ausgewertete Klappenstellungsabbild ein mehrheitlich geschlossenes Klappenstellungsabbild (siehe Bild 80, links), dann wird die Ventilator-drehzahl reduziert. Damit reduziert sich der Vordruck für die VAVs, und diese öffnen ihre Klappen entsprechend (Funktion eines VAVs). Die Ventilator-drehzahl und somit der Vordruck können soweit reduziert werden, bis die erste VAV-Klappe fast geöffnet ist (~ 85%).

Sollte nun diese Klappe ganz geöffnet werden (weil der Vordruck sinkt oder der Luftbedarf im Raum ansteigt), muss die Ventilator-drehzahl erhöht werden, damit diese Klappe wieder auf die 85% kommt.

Durch die bedarfsgerechte Anpassung der Ventilator-drehzahl werden die Strömungsgeräusche und der Druckverlust im Kanal-netz reduziert. Infolgedessen wird der Energieverbrauch der Ventilatoren deutlich gesenkt.

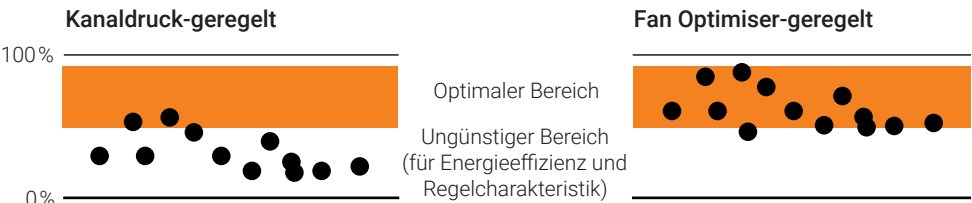


Bild 80: Funktionsweise Fan Optimiser

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Volumenstromregler	- Drehmoment und Typ abhängig von Klappengrösse - Ansteuerung über Bus

5.3.3.7 Elektro-Lufterwärmer-Sicherheitsschaltung

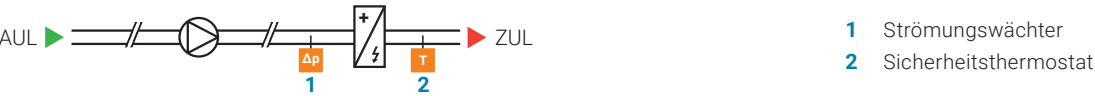


Bild 81: Schema Elektro-Lufterwärmer-Sicherheitsschaltung

Die Regelung einer Anlage mit einem Elektro-Lufterwärmer geschieht grundsätzlich gleich wie mit einem Warmwasser-Lufterwärmer. Bezüglich Sicherheit muss aber mehr beachtet werden, da die Heizstäbe sehr hohe Temperaturen annehmen können und bei Ausfall der Luftströmung Brandgefahr entstehen kann.

Die Sicherheitskette ist wie folgt aufgebaut:

- Der Strömungswächter (1) sperrt das Einschalten des Lufterwärmers, bevor eine Luftströmung gemeldet wird.
- Der Strömungswächter schaltet den Lufterwärmer aus, sollte infolge eines Defekts oder Abschaltens der Ventilator ausfallen.
- Der Sicherheitsthermostat überwacht die Temperatur und schaltet den Lufterwärmer aus, sollte eine Übertemperatur festgestellt werden.
- Beim Ein- oder Ausschalten des Lufterwärmers muss sichergestellt werden, dass der Ventilator eine entsprechende Vor- oder Nachlaufzeit berücksichtigt.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Strömungswächter	
2	Sicherheitsthermostat	- Sicherheitsthermostat in Elektro-Lufterwärmer integriert oder zusätzlich

5.4 Beispiele für verschiedene Anlagentypen

Die folgenden Anlagenkonzepte zeigen das Zusammenspiel der einzelnen Regelungskonzepte und Steuer- und Regelfunktionen. Im Wesentlichen setzen sie sich aus diesen zusammen. Daher werden nicht alle Details nochmals erklärt, sondern es wird auf eventuelle Besonderheiten hingewiesen. Punktuell kann die Funktionsweise in den vorherigen Kapiteln nachgeschlagen werden.

Die folgenden Anlagen sind als typische Beispiele zu betrachten.

5.4.1 Einfache Klimaanlage mit WRG, Heizen und Kühlen

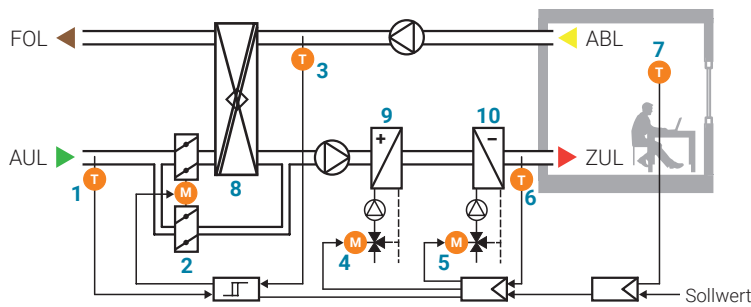
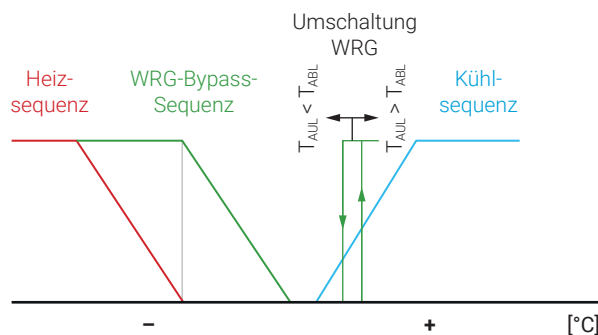


Bild 82: Schema einfache Klimaanlage

- 1 Temperatursensor
- 2 Klappenantrieb mit WRG-Bypass
- 3 Temperatursensor
- 4 Ventil mit Stellantrieb
- 5 Ventil mit Stellantrieb
- 6 Temperatursensor
- 7 Temperatursensor
- 8 Plattenwärmeübertrager
- 9 Lufterhitzer
- 10 Luftkühler



Dieses Anlagenkonzept setzt sich aus den folgenden Regelungskonzepten und -funktionen zusammen:

- Temperaturregelung mittels Bypasses (2) über Platten-WRG (8), Heiz- und Kühlregister (9, 10).
- Ausgeführt als Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung.
- Je nach Verhältnis der Aussentemperatur zur Ablufttemperatur wird der Wirksinn der Wärmeübertragung des Plattenwärmeübertragers resp. des WRG-Bypasses gekehrt.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1, 3	Kanal-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge wird anhand des Kanalquerschnitts bestimmt
2	Klappenantrieb	- Drehmoment und Typ abhängig von Klappengröße und Platzverhältnissen - Ansteuerung stetig
4	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
5	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
6	Mittelwert-Temperatur-sensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge wird anhand des Kanalquerschnitts bestimmt
7	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden

5.4.2 Klimaanlage mit rekuperativer Wärmerückgewinnung, Heizen, Kühlen und Befeuchten

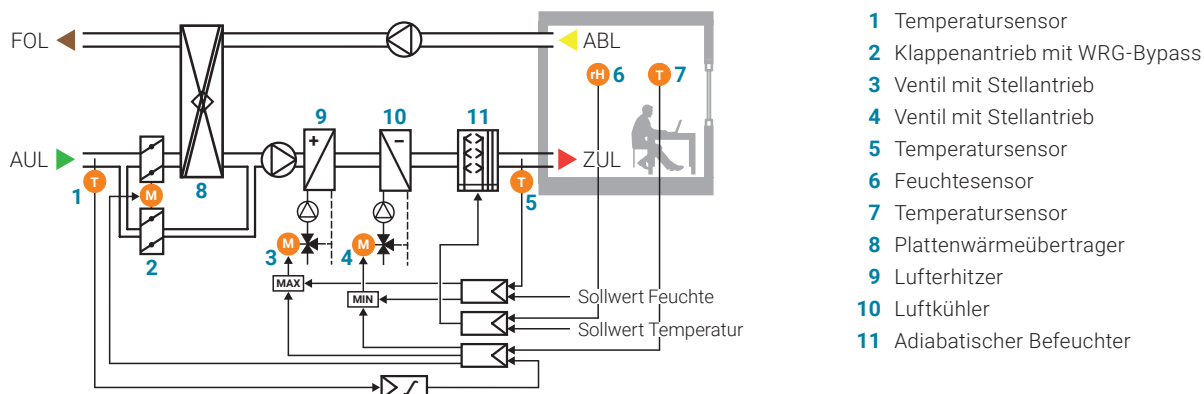


Bild 83: Schema Klimaanlage mit rekuperativer Wärmerückgewinnung, Heizen, Kühlen und Befeuchten

Dieses Anlagenkonzept setzt sich aus den folgenden Regelungskonzepten und -funktionen zusammen:

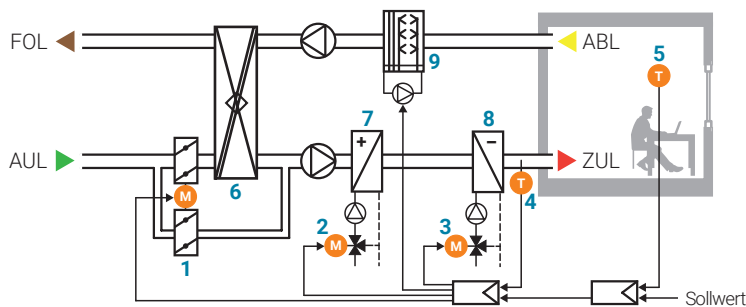
- Unabhängige Feuchteregelung mit adiabatischem Befeuchter (11). Ist-Wert wird über einen Raum-Feuchtesensor (6) ermittelt.
- Temperaturregelung mit Plattenwärmeübertrager (8), Kühl- und Heizregister (9, 10).
- Minimalbegrenzung der Zulufttemperatur (5). Tiefer als der eingestellte Minimalwert kann die Zuluft nicht abgekühlt werden. Sollte durch einen adiabatischen Luftbefeuchter die Temperatur darunterfallen, kann das Heizregister (9) entsprechend kompensieren.
- Aussentemperatur-geführter Sollwertgeber für die Temperaturregelung.

Hinweis: Je nach Gegebenheiten (entsprechend der geforderten Zuluftfeuchte, Zulufttemperatur und/oder gegebener Vorlauftemperatur der Heizung) muss die Anlage mit einem Nacherwärmer ausgerüstet werden.

Einsatz der Feldgeräte

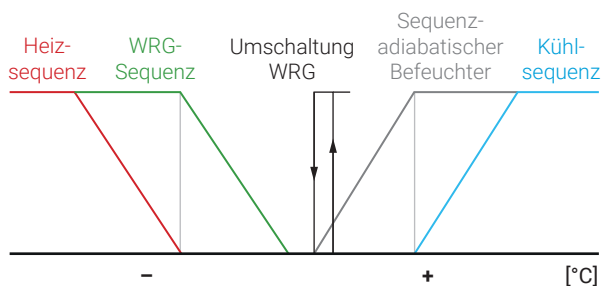
Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Kanal-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge anhand des Leitungsquerschnitts bestimmen
2	Klappenantrieb	- Drehmoment und Typ abhängig von Klappengrösse und Platzverhältnissen - Ansteuerung stetig
3	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
4	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
5	Mittelwert-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge anhand des Leitungsquerschnitts bestimmen
6	Raum-Feuchtesensor	- kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Temperatursensor ausgeführt werden
7	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Feuchtesensor ausgeführt werden

5.4.3 Einfache Klimaanlage mit adiabatischer Abluftkühlung



- 1 Klappenantrieb mit WRG-Bypass
- 2 Ventil mit Stellantrieb
- 3 Ventil mit Stellantrieb
- 4 Temperatursensor
- 5 Temperatursensor
- 6 Plattenwärmeübertrager
- 7 Lufterhitzer
- 8 Luftkühler
- 9 Adiabatischer Befeuchter

Bild 84: Schema Klimaanlage mit adiabatischer Abluftkühlung



Dieses Anlagenkonzept setzt sich aus den folgenden Regelungskonzepten und -funktionen zusammen:

- Temperaturregelung mit Plattenwärmeübertrager (6), Kühl- und Heizregister (7, 8). Ausgeführt als Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung.
- Zusätzlich zum Kühlregister wird durch einen adiabatischen Befeuchter (9) die Abluft gekühlt (indirekte adiabatische Kühlung). Die Kühlenergie wird durch den Plattenwärmeübertrager auf die Zuluft übertragen, ohne die Feuchtigkeit zu übertragen. Hierfür muss der Bypass (1) des Wärmeübertragers vollständig geschlossen werden.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1	Klappenantrieb	- Drehmoment und Typ abhängig von Klappengröße und Platzverhältnissen - Ansteuerung stetig
2	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
3	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
4	Mittelwert-Temperatur-sensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge anhand des Leitungsquerschnitts bestimmen
5	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden

5.4.4 Klimaanlage mit rekuperativer Wärmerückgewinnung, Kühlen, Heizen, Befeuchten und Entfeuchten

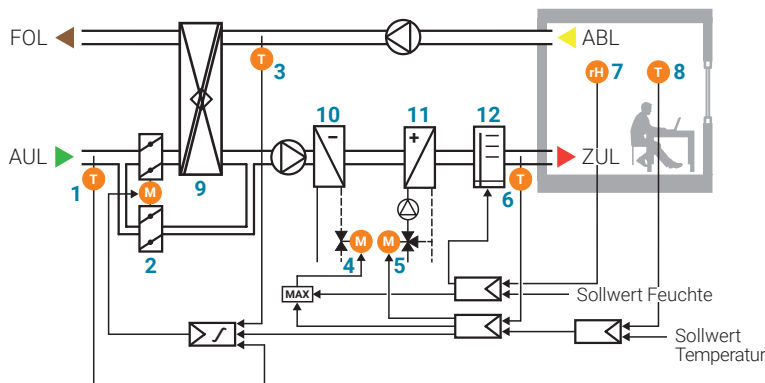
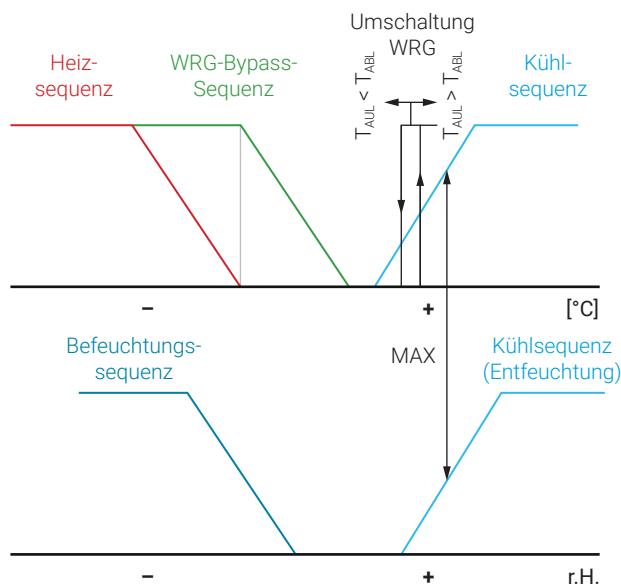


Bild 85: Schema Klimaanlage mit rekuperativer Wärmerückgewinnung, Kühlen, Heizen, Befeuchten und Entfeuchten

- 1 Temperatursensor
- 2 Klappenantrieb mit WRG-Bypass
- 3 Temperatursensor
- 4 Ventil mit Stellantrieb
- 5 Ventil mit Stellantrieb
- 6 Temperatursensor
- 7 Feuchtesensor
- 8 Temperatursensor
- 9 Plattenwärmeübertrager
- 10 Luftkühler
- 11 Lufterhitzer
- 12 Isothermer Befeuchter



Dieses Anlagenkonzept setzt sich aus den folgenden Regelungskonzepten und -funktionen zusammen:

Temperaturregelung mit Plattenwärmeübertrager (9), Kühl- und Heizregister (10, 11). Ausgeführt als Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung.

Feuchteregler mit isothermem Befeuchter (12) und Entfeuchtung über Kühlregister (10). Ist-Wert wird über einen Raum-Feuchtesensor (7) ermittelt.

Je nach Verhältnis der Aussentemperatur (1) zur Ablufttemperatur (3) wird der Wirksinn der Wärmeübertragung des Plattenwärmeübertragers resp. des WRG-Bypasses (2) gekehrt.

Die Kühlung der Temperatur und die Entfeuchtung werden mit dem gleichen Kühl-

register (10) gemacht. Der grössere der beiden Stellwerte wird berücksichtigt. Das bedeutet, dass gleichzeitig das Heizregister (11) angesteuert werden muss, sobald die Entfeuchtung mehr Kühlenergie braucht, als zur Kühlung der Temperatur benötigt wird.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1, 3	Kanal-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge anhand des Leitungsquerschnitts bestimmen
2	Klappenantrieb	- Drehmoment und Typ abhängig von Klappengrösse und Platzverhältnissen - Ansteuerung stetig
4	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/ Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
5	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/ Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
6	Mittelwert-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge anhand des Leitungsquerschnitts bestimmen
7	Raum-Feuchtesensor	- kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Temperatursensor ausgeführt werden
8	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Feuchtesensor ausgeführt werden

5.4.5 Klimaanlage mit regenerativer Wärmerückgewinnung, Kühlen, Heizen, Befeuchten und Entfeuchten

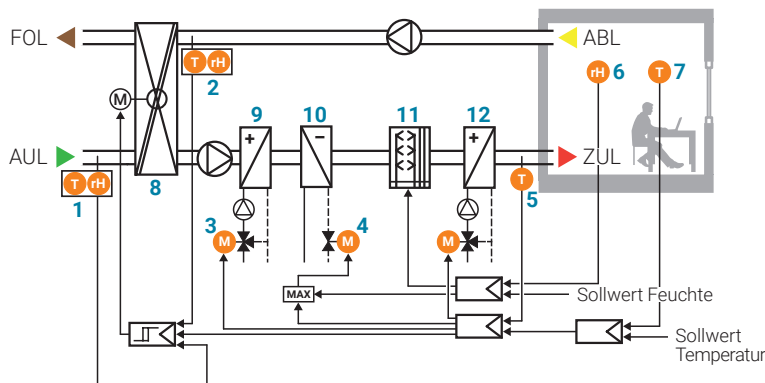
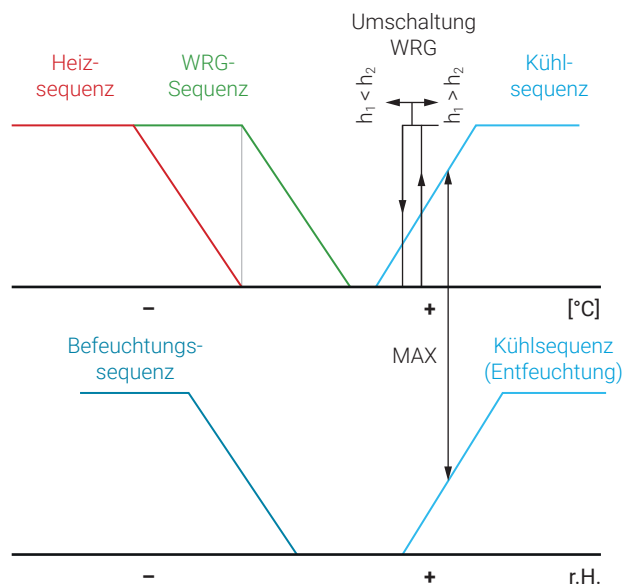


Bild 86: Schema Klimaanlage mit regenerativer Wärmerückgewinnung, Kühlen, Heizen, Befeuchten und Entfeuchten

- 1 Temperatur-/Feuchtesensor
- 2 Temperatur-/Feuchtesensor
- 3 Ventil mit Stellantrieb
- 4 Ventil mit Stellantrieb
- 5 Temperatursensor
- 6 Feuchtesensor
- 7 Temperatursensor
- 8 Rotationswärmeübertrager
- 9 Lufterhitzer/Vorwärmer
- 10 Luftkühler
- 11 Adiabatischer Befeuchter
- 12 Lufterhitzer/Nachwärmer



Dieses Anlagenkonzept setzt sich aus den folgenden Regelungskonzepten und -funktionen zusammen:

Temperaturregelung mit Rotationswärmeübertrager (8), Kühl- und Heizregister (9, 10). Ausgeführt als Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung.

Feuchteregler mit adiabatischem Befeuchter (11) und Entfeuchtung über Kühlregister (10). Ist-Wert wird über einen Raum-Feuchtesensor (6) ermittelt. Mit dem Rotationswärmeübertrager kann auch Feuchtigkeit übertragen werden (hygroskopisch beschichteter Wärmeübertrager).

Umkehr des Wirksinns der Wärme- und Feuchtigkeitsübertragung des Rotationswärmeübertragers aufgrund des Verhältnisses der Aussenluftenthalpie (1) zur Abluftenthalpie (2).

Die Kühlung der Temperatur und die Entfeuchtung werden mit dem gleichen Kühlregister (10) gemacht. Der grössere der beiden Stellwerte wird berücksichtigt. Das bedeutet, dass gleichzeitig das Heizregister (12) angesteuert werden muss, sobald die Entfeuchtung mehr Kühlenergie braucht, als zur Kühlung der Temperatur benötigt wird.

Einsatz der Feldgeräte

Referenz	Feldgeräte	Beschreibung / Ausführung / Platzierung
1, 2	Kombisensor Temperatur/Feuchte	- Feuchtesensor, welcher den Wert für Enthalpie ausgeben kann
3	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
4	Ventil mit Stellantrieb	- Typ abhängig von hydraulischer Schaltung, Art der Anwendung (druckabhängig / druckunabhängig (EPIV/Energy Valve)) und Dimensionierung - Ansteuerung stetig
5	Mittelwert-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - Sondenlänge anhand des Leitungsquerschnitts bestimmen
6	Raum-Feuchtesensor	- kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Temperatursensor ausgeführt werden
7	Raum-Temperatursensor	- aktiv oder passiv - kann auch als Kanalsensor in der Abluft ausgeführt werden - kann auch als Kombisensor mit Feuchtesensor ausgeführt werden

6 Anhang

6.1 Umfeld

6.1.1 Lüftungsanlage im Brandfall

Lüftungs- und Brandschutzkonzept müssen aufeinander abgestimmt sein, damit sich im Brandfall Feuer und Rauch nicht über die Lüftungsleitungen ausbreiten können.

RLT-Geräte müssen in der Regel beim Ansprechen von Brandmelde- oder Löschanlagen, Kanalrauchmeldern sowie der thermischen Auslösevorrichtung von Brandschutzklappen ausgeschaltet werden.

Abweichende Konzepte sind länderspezifisch und nach Absprache mit den jeweiligen Behördenvertretern möglich.

Das gewählte Konzept muss im Brandschutzkonzept des jeweiligen Gebäudes dokumentiert und durch die zuständigen Behörden genehmigt werden.

6.1.1.1 Brandabschaltung

Bei der Brandabschaltung werden die Ventilatoren des RLT-Geräts ausgeschaltet. Des Weiteren erfolgt eine Schliessung der Aussenluft- und Fortluftklappen mit Motorantrieb oder Federrücklauf. Bei Umluftanlagen sind bei der Brandabschaltung auch die entsprechenden Umluftklappen zu schliessen.

6.1.1.2 Kanalrauchmelder auf dem RLT-Gerät

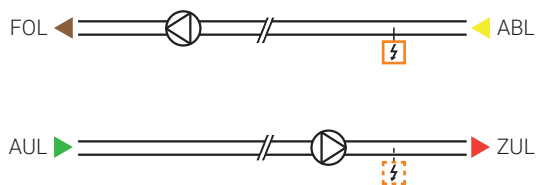


Bild 87: Schema Kanalrauchmelder

Um im Brandfall eine Einbringung bzw. Verteilung von toxischen Rauchgasen im Gebäude zu verhindern, ist die Verwendung von Kanalrauchmeldern in RLT-Geräten vorgeschrieben. Diese können in der Abluft oder in der Zuluft der Anlage gefordert sein. Die Anordnung der Rauchauslöseeinrichtungen darf deren Wirksamkeit durch Verdünnungseffekte nicht beeinträchtigen (gilt vor allem für Umluftanlagen). Bei Rauchdetektion wird das RLT-Gerät in der Regel sofort abgeschaltet. Eine Statusmeldung wird entsprechend an die Steuerung abgesetzt. Regionale Vorschriften und Anforderungen sind auch hier zu beachten.

6.1.1.3 Vorbeugender Brandschutz in RLT-Geräten

RLT-Geräte (Apparate, Ventilatoren und Leitungen) sind so zu reinigen und instand zu halten, dass die Betriebsbereitschaft stets gewährleistet ist und keine Brandgefahr entsteht

6.1.1.4 Wirkprinzipprüfungen/Integrale Tests

Eine Wirkprinzipprüfung / ein integraler Test ist eine system- und anlagenübergreifende Funktionskontrolle aller Einrichtungen des technischen und abwehrenden Brandschutzes und stellt die Funktionstüchtigkeit des Gesamtsystems im Normal- sowie im Ereignisfall sicher. Die korrekte Funktion der RLT-Anlage sollte ein Bestandteil dieser Prüfung sein. Wirkprinzipprüfungen / integrale Tests sind Bestandteil der Erstabnahme eines Gebäudes und müssen danach in regelmässigen Abständen wiederholt werden (z. B. alle drei Jahre). Diese Prüfungen sind durch einen Sachverständigen durchzuführen.

6.1.2 Luftverteilung

Das Kanalnetz wird gebraucht, um die Luft von draussen zum RLT-Gerät und von diesem in die Räume zu transportieren. Die Luft sollte in gleicher Qualität im Raum ankommen, wie sie im Lüftungsgerät aufbereitet worden ist. Hierfür sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

6.1.2.1 Maximale Luftgeschwindigkeiten

Um den Druckverlust möglichst klein zu halten, gibt die SIA-Norm 382/1 maximale Luftgeschwindigkeiten in den Kanälen vor:

Grösse	maximale Luftgeschwindigkeiten
bis 1000 m³/h	3 m/s
bis 2000 m³/h	4 m/s
bis 4000 m³/h	5 m/s
bis 10'000 m³/h	6 m/s
über 10'000 m³/h	7 m/s

Tabelle 28: Vorgeschriebene Luftgeschwindigkeiten

6.1.2.2 Wärmeverluste

Die Luft darf sich im Kanalnetz nicht abkühlen/erwärmen. Bei Temperaturunterschieden zwischen Luft im Kanal/Rohrnetz und der Umgebungstemperatur müssen die Leitungen gemäss folgender Tabelle aus der SIA-Norm 382/1 isoliert werden.

Art der Luftleitung	Dämmdicke je nach Lage der Luftleitung		
	Innerhalb der thermischen Gebäudehülle	In allseitig geschlossenem Raum ausserhalb der thermischen Gebäudehülle	In nicht allseitig geschlossenem Raum oder im Freien
AUL/FOL	100 mm (60 mm)*	30 mm	0
ZUL/ABL	Je nach Temperaturdifferenz zwischen Medium und Umgebung im Auslegefall: < 5 K 0 mm 5 bis < 10 K 30 mm 10 bis < 15 K 60 mm ≥ 15 K 100 mm	60 mm	100 mm

* Der Wert von 60 mm gilt für Anlagen mit Erdschicht-Wärmeübertrager oder anderer Lufterwärmung vor der WRG

Tabelle 29: Dämmung von Luftleitungen

6.1.2.3 Sensoren für Luftkanäle

Sensoren können für folgende Anwendungsfälle eingesetzt werden:

Was/Wo	Beschreibung	Einstellwert
Duct & Pipe	Mithilfe den Montageplatten können alle Luftsensoren Duct & Pipe an Rohren oder Kanälen befestigt werden. Bei isolierten Kanälen ist die jeweilige Isolationsstärke zu berücksichtigen.	

6.1.3 Hygiene

Heutige Normen und Richtlinien stellen hohe Anforderungen an die hygienische Qualität von RLT-Anlagen. In der EN 13053:2017 «Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumluftechnische Geräte – Leistungskennndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten» wird die Konstruktion von RLT-Geräten behandelt. Neben Anforderungen finden sich auch Empfehlungen.

Die SIA-Norm 382/1 stellt weitergehende Anforderungen, die spezifisch in der Schweiz gelten. Diese Norm verweist aber bei diversen Themen auf die SWKI VA104-01 «Raumluftechnik – Luftqualität – Teil 1: Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte». SWKI VA104-01 ist textgleich mit der deutschen VDI 6022 Blatt 1:2018-01 «Raumluftechnik, Raumlufqualität – Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln)».

Ein Grundsatz ist, dass alle Komponenten und Anlageteile für Kontrollen resp. Inspektionen und für die Wartung und Reinigung zugänglich sein müssen.

Als hygienisch sensible Komponenten gelten Aussenluftfassung, Filter, Befeuchter und Kühler. Weiter sind Leckagen und Luftübertragungen zwischen Abluft und Zuluft heikel. In diesem Zusammenhang sind bei einer WRG mit rotierendem Wärmeübertrager die Ventilatoranordnung resp. die Druckverhältnisse zu beachten.

6.1.4 Akustik

In RLT-Anlagen entsteht Luftschall dort, wo Verwirbelungen und Turbulenzen auftreten. Die wesentlichen Schallquellen sind Ventilatoren, Drosselemente, Regelarmaturen (auch VAV), Luftdurchlässe und ungünstige Formteile.

Grundsätzlich sollen unvermeidliche Emissionen am Entstehungsort bekämpft werden. Daher werden Schalldämpfer möglichst nahe vor und nach den Ventilatoren platziert. Bei grösseren RLT-Geräten werden Schalldämpfer im Gerät eingebaut. Bei kleinen Geräten werden sie teilweise ausserhalb, d. h. an den Anschlussstutzen, angebaut. Ventilatorgeräusche werden auch durch die Gerätegehäuse an die Umgebung abgestrahlt. Speziell bei Gerätestandorten ausserhalb von Technikräumen sind daher Massnahmen zu prüfen, wie z. B. speziell schalldämmende Gehäuse oder bauseitige Einkleidungen.

Bevor Schall gedämmt werden muss, soll aber zuerst die Entstehung reduziert werden. In der Regel sinken die Schallemissionen von Ventilatoren bei grösseren Laufraddurchmessern und den daraus resultierenden tieferen Drehzahlen. Weiter soll bei einem gegebenen Luftstrom der Druckverlust minimiert werden. Neben der strömungstechnischen Auslegung (grosszügige Querschnitte) spielen auch der Betrieb und das Regelungs-/Steuerungskonzept mit.

Ideal ist, wenn der Ventilator (bei gegebenem Luftstrom) auf der tiefst möglichen Drehzahl betrieben wird. Die Konzepte, die energetisch optimal sind, führen daher auch akustisch zu guten Lösungen. Konkret führt der Fan Optimiser (siehe auch Kapitel 5.3.3.6.3) sowohl zu den tiefst möglichen Ventilatorgeräuschen als auch zu den tiefsten Strömungsgeräuschen der VAV.

Die Norm SIA 181 «Schallschutz im Hochbau» legt den maximal zulässigen Schallpegel fest, die RLT-Anlagen in Räumen verursachen dürfen. Die Lärmschutzverordnung (LSV) regelt die maximal zulässigen Schallimmissionen im Aussenbereich.

6.2 Normen/Richtlinien und Vorschriften

Die folgenden Tabellen zeigen die wichtigsten nationalen und europäischen Normen/Richtlinien und Vorschriften hinsichtlich RLT-Geräte und deren Komponenten (nicht abschliessend):

6.2.1 Normen/Richtlinien

Bezeichnung	Gültigkeit in	Inhalt
SWKI VA101-01	CH	Klassifizierung, Testmethoden und Anwendung von Luftfiltern
SWKI VA104-01	CH	Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte
VDI 6022 Blatt 1:2018-01	DE	Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte
EN 13053:2017	EU	Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumluftechnische Geräte – Leistungskennndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten
SIA 181:2006	CH	Schallschutz im Hochbau
SIA 382-1:2014	CH	Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
EN 13779:2007	EU	Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme
EN 15239:2007	EU	Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen
EN 16798-3:2017	EU	Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme
EN 1886:2007	EU	Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumluftechnische Geräte – Mechanische Eigenschaften und Messverfahren
EN 308:1997	EU	Wärmeübertrager – Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen
EN 1822-1:2019	EU	Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung
EN ISO 16890-1:2016	EU	Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem, basierend auf dem Feinstaubabscheidegrad (ePM)

Tabelle 30: Normen und Richtlinien

6.2.2 Vorschriften

Bezeichnung	Gültigkeit in	Inhalt
Energieeffizienzverordnung (EnEV)	CH	Verordnung über die Anforderungen an die Energieeffizienz serienmässig hergestellter Anlagen, Fahrzeuge und Geräte
SWKI VA104-01	CH	Raumluftechnik – Luftqualität – Teil 1: Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte
Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG	EU	Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte
VO EO 1253/2014	EU	Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung im Hinblick auf Wohnraum- und Nichtwohnraum-Lüftungsanlagen. Wichtigster Parameter ist der Energieverbrauch während der Nutzung mit Fokus auf Effizienz WRG, Ventilatoren und Filterüberwachung.

Tabelle 31: Vorschriften

6.3 Energieeffizienzklassen

Unabhängige Institute bieten eine Zertifizierung der Leistungsdaten und Klassifizierung von Gerätebaureihen an. Die Klassifizierung von Lüftungs- und Klimaanlage macht Sinn, damit eindeutige, vergleichbare und nachvollziehbare Aussagen über deren Energieeffizienz gemacht werden kann.

Im europäischen Raum sind die folgenden beiden Möglichkeiten verbreitet, jedoch nicht vorgeschrieben:

6.3.1 Energieeffizienzklassen nach RLT Raumluftechnische Geräte Herstellerverband e.V.

Die RLT-Richtlinie Zertifizierung ist eine Prüfrichtlinie und ein Zertifizierungsprogramm zur Bewertung der Energieeffizienz von raumluftechnischen Geräten (RLT-Geräten) durch den Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V. (RLT-Herstellersverband) in Kooperation mit der TÜV SÜD Industrie Service GmbH (TÜV SÜD).

Diese Richtlinie gilt für Nichtwohnraum-Lüftungsgeräte gemäss EU-Verordnung 1253/2014, deren Volumenstrom im Auslegungspunkt mehr als 1000 m³/h beträgt.

Es wird zwischen den Energieeffizienzklassen A+, A oder B unterschieden. Dafür werden Faktoren wie Luftgeschwindigkeit innerhalb des Gerätes, elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators sowie Qualität der Wärmerückgewinnung beurteilt.

Unter folgenden Voraussetzungen ist der Hersteller berechtigt, mit einem Logo auf die Einhaltung der entsprechenden Energieeffizienzklassen hinzuweisen:

- Das RLT-Gerät erfüllt sämtliche relevanten Kriterien dieser Richtlinie.
- Eine Energieeffizienzklasse A+, A oder B wird erreicht.
- Die RLT-Geräte-Auslegungssoftware wurde durch den TÜV SÜD überprüft.
- Es besteht ein gültiger Zertifizierungsvertrag mit dem TÜV SÜD.



Bild 88: Energieeffizienzlogo nach Herstellerverband RLT-Geräte
(Quelle: Herstellerverband RLT-Geräte e.V.)

6.3.2 Energieeffizienzklassen nach Eurovent Certification

Eurovent ist der europäische Industrieverband für Raumklima-technik, Prozesskühlung und Lebensmittelkühlkettentechnologie. Die Mitglieder vertreten mehr als 1000 Unternehmen aus Europa, dem Nahen und Mittleren Osten und Afrika, die meisten davon kleinere und mittlere Unternehmen.

Mit Eurovent Certification bietet dieser Branchenverband auch eine Klassifizierungsmöglichkeit resp. Zertifizierung an.

Bei Eurovent Certification wird zwischen den Energieeffizienzklassen A+, A bis E unterschieden. Es wird jeweils zusätzlich noch unterschieden, ob es sich um ein Gerät mit Aussenluftbetrieb, nur mit Umluftbetrieb oder um ein Abluftgerät ohne WRG handelt.

Dafür werden ähnliche Faktoren wie beim Herstellerverband RLT-Geräte berücksichtigt. Das betrifft die Luftgeschwindigkeit im Geräte-Querschnitt, die Effizienz der Luftförderung und die Effizienz und den Druckverlust der Wärmerückgewinnung. Zusätzlich wird aber noch die Klimazone berücksichtigt.

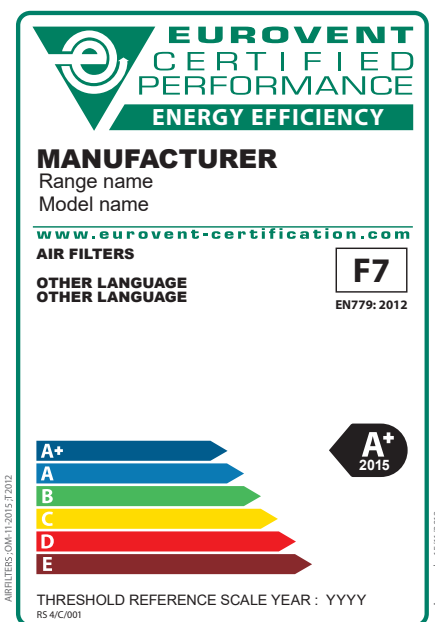
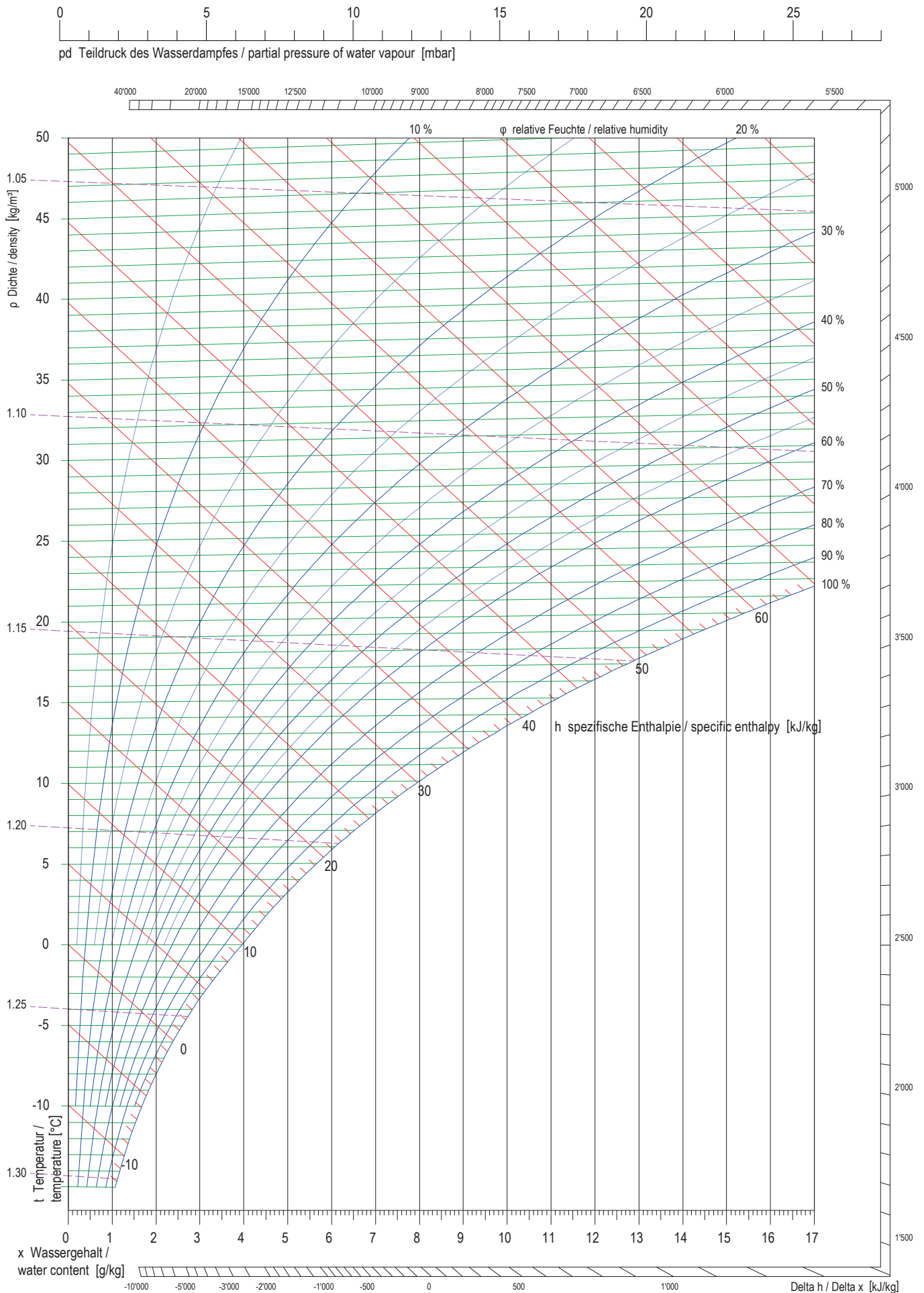


Bild 89: Energieeffizienzlogo nach Eurovent Certification (Quelle: Eurovent)

6.4 Vorlage h,x-Diagramm

400 m.ü.M / MAMSL – 966 mbar



Alles inklusive.

Belimo entwickelt als Weltmarktführer innovative Lösungen für die Regelung und Steuerung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage. Dabei bilden Antriebe, Ventile und Sensoren unser Kerngeschäft.

Stets den Kundenvorteil im Fokus liefern wir mehr als nur Produkte. Bei uns erhalten Sie das komplette Sortiment von Antriebs- und Sensorlösungen zur Regelung und Steuerung von HLK-Systemen aus einer Hand. Dabei setzen wir auf geprüfte Schweizer Qualität mit fünf Jahren Garantie. Unsere Vertretungen in weltweit über 80 Ländern gewährleisten zudem kurze Lieferzeiten und einen umfassenden Support über die gesamte Produktlebensdauer. Bei Belimo ist in der Tat alles inklusive.

Die «kleinen» Belimo-Produkte üben einen grossen Einfluss auf Komfort, Energieeffizienz, Sicherheit, Installation und Instandhaltung aus. Kurzum: Small devices, big impact.



5 Jahre Garantie



Weltweit vor Ort



Komplettes Sortiment



Geprüfte Qualität



Kurze Lieferzeit



Umfassender Support



BELIMO Automation AG

Brunnenbachstrasse 1, 8340 Hinwil, Schweiz

Tel. +41 43 843 62 63, info@belimo.ch, www.belimo.ch

BELIMO[®]