

# 6 Raumluftechnische Anlagen

U. BUSWEILER, K. MÜLLER, U. SCHNIEDER

## Formelzeichen

$A$	Grundfläche des Raumes	$\rho_f$	Dichte der feuchten Luft
$C$	Koeffizient für die Leistung einer Raumkühlfläche	$\Phi_{HA,Nenn}$	Maximalwert der Heizleistung der RLT-Anlage
$c_{pL}$	spezifische Wärmekapazität der trockenen Luft	$\Phi_{HD}$	dezentrale Heizleistung im Raum
$f_G$	Gleichzeitigkeitsfaktor	$\Phi_{HD,Nenn}$	Maximalwert der dezentralen Heizleistung im Raum
$h$	Enthalpie der feuchten Luft	$\Phi_{HE}$	Erhitzerleistung
$n$	Anzahl	$\Phi_{HR}$	Heizlast des Raumes
$P$	Ventilatorleistung	$\Phi_{HR,Nenn}$	Maximalwert der Heizlast des Raumes
$p$	Druck	$\Phi_{KA}$	trockene Kühlleistung der RLT-Anlage
$q_{mL,SUP}$	Massenstrom der trockenen Zuluft	$\Phi_{KA,Nenn}$	Maximalwert der trockenen Kühlleistung der RLT-Anlage
$q_V$	Volumenstrom	$\Phi_{KD}$	dezentrale trockene Kühlleistung im Raum
$q_{V LU}$	Volumenstrom der Luftdurchlässe	$\Phi_{KD,Nenn}$	Maximalwert der dezentralen trockenen Kühlleistung im Raum
$q_{V ODA}$	Außenluftvolumenstrom	$\Phi_{KR}, \Phi_{KR i}$	trockene Kühllast des Raumes (Raumes i)
$q_{V ODA,min}$	Mindestaußenluftvolumenstrom	$\Phi_{KR,Nenn}$	Maximalwert der trockenen Kühllast des Raumes
$q_{V SUP}$	Zuluftvolumenstrom	$\Phi_{spez,KR,Nenn}$	Maximalwert der spezifischen trockenen Kühllast des Raumes
$q'_{V SUP}$	Anlagenvolumenstrom	$\varphi$	relative Feuchte
$q_{V spez,SUP}$	spezifischer Zuluftvolumenstrom	$\varphi_{IDA}$	relative Feuchte der Raumluft
$x$	Wasserbeladung, absolute Feuchte, Feuchtegehalt	$\varphi_{ODA}$	relative Feuchte der Außenluft
$x_{GA}$	Feuchtegehalt der Grundaufbereitung	$\theta$	Temperatur
$x_{IDA}$	Feuchtegehalt der Raumluft	$\theta_{GA}$	Temperatur nach der Grundaufbereitung
$x_{ODA}$	Feuchtegehalt der Außenluft	$\theta_{IDA}$	Raumlufttemperatur
$x_{SUP}$	Feuchtegehalt der Zuluft	$\theta_{ODA}$	Außenlufttemperatur
$\Delta p_{ges}$	Gesamtdruckdifferenz		
$\Delta q_{m W}$	Wasserdampfabgabe im Raum		
$\Delta \theta_{SUP}$	Temperaturdifferenz Raumluft – Zuluft		
$\Phi$	Heiz- oder Kühlleistung		
$\Phi_{HA}$	Heizleistung der RLT-Anlage		
$\theta_{SUP}$	Zulufttemperatur		

<i>Häufig verwendete Indizes</i>		<i>Bezeichnungen in der Regelungstechnik</i>	
max	maximal, Maximal-	E	Meldung
min	minimal, Mindest-	W	Sollwert
So	Sommer	X	Messgröße
Wi	Winter	W	Sollwert
ODA	Außenluft	Y	Stellgröße
SUP	Zuluft		
IDA	Raumluft		
ETA	Abluft		
EHA	Fortluft		
GA	Grundaufbereitung		

### 6.1 Einleitung

Im Handbuch der Klimatechnik Band 1 [6-1] und in den vorausgehenden Kapiteln dieses Bandes wurden die Voraussetzungen zur Bemessung raumluftechnischer Anlagen geschaffen. Dieser Abschnitt führt die Fachinhalte zur Entwicklung klimatechnischer Gesamtsysteme zusammen.

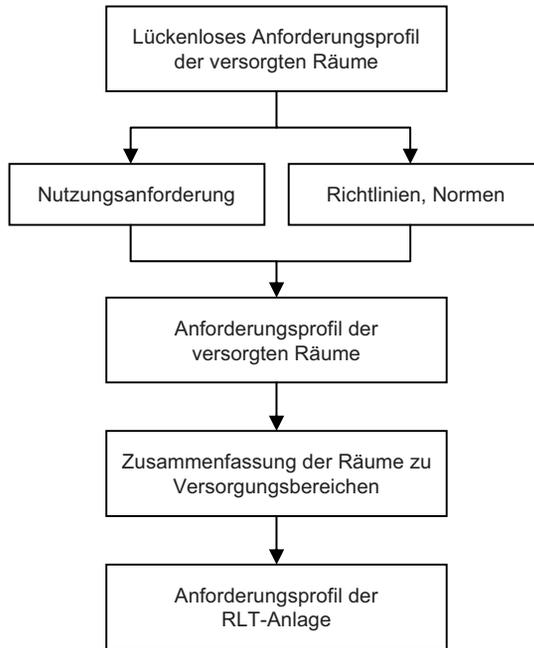
Ausgangspunkt der Bemessung raumluftechnischer Anlagen ist die Nutzung der zu versorgenden Räume oder Zonen. Auf der Basis des Raumbuchs der Architekten und mithilfe einer Nutzerbefragung wird deren lückenloses Jahresnutzungsprofil aufgestellt. Zusammen mit den Richtlinien und Normen entsteht daraus das Anforderungsprofil der Räume. Die geografische Anordnung und die Anforderungsprofile der Räume erlauben dann das Zusammenfassen zu Versorgungsbereichen und das Erarbeiten des Anforderungsprofils der zugehörigen RLT-Anlage als Entscheidungsgrundlage für die Systemauswahl und die Bemessung. Die schematische Darstellung dieser Abläufe enthält Bild 6.1-1.

Erst nach der Analyse unterschiedlicher Lösungsvarianten und unter Beachtung des Kostenrahmens und der architektonischen Randbedingungen fällt die Entscheidung für das Klimasystem. Die ausschreibungsreife Ausarbeitung der gewählten Lösung wird anschließend zusammen mit der detaillierten Bemessung der Anlage und der Anlagenkomponenten (Bild 6.1-2) durchgeführt.

Der beschriebene Arbeitsprozess ist iterativ, da Entscheidungen zu Rückkopplungen mit vorherigen Planungsschritten sowohl in der Technik als auch in der Architektur führen. So beeinflusst beispielsweise die Fassadenkonstruktion mit den integrierten Beschattungseinrichtungen wesentlich die zu deckende Kühllast des Gebäudes und damit die Anlagengröße.

In der Praxis wird der Planungsprozess daher auch in mehreren Schritten unterschiedlicher Tiefe durchgeführt. Die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) [6-2] trägt dieser Vorgehensweise durch ihre Gliederung in Leistungsphasen Rechnung (Tabelle 6.1-1).

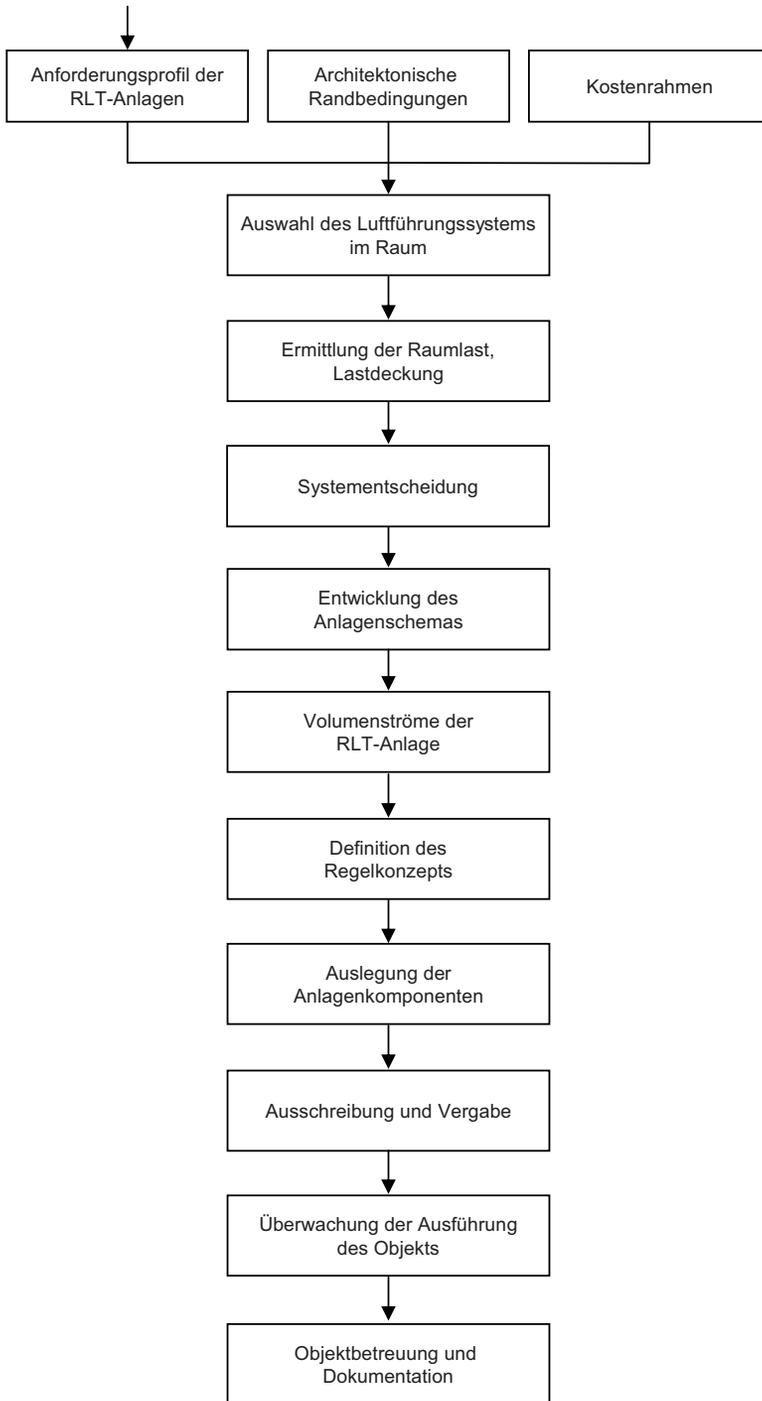
Zu beachten ist, dass die Honorarsätze der Leistungsphase 8, Objektüberwachung, in der Regel nicht ausreichen; es müssen finanzielle Reserven aus den vorherigen Leistungsphasen gebildet werden.



**Bild 6.1-1:** Arbeitsschritte zur Definition des Anforderungsprofils der RLT-Anlagen

**Tabelle 6.1-1:** Planungsschritte nach HOAI [6-2]

Leistungsphase	Planungsschritt	Aufgabe
1	Grundlagenermittlung	Klärung der Aufgabenstellung
2	Vorplanung (Projekt- und Planungsvorbereitung)	Erarbeitung der wesentlichen Teile der Lösung der Planungsaufgabe, Kostenschätzung
3	Entwurfsplanung (System- und Integrationsplanung)	Erarbeitung der endgültigen Lösung der Planungsaufgabe, Kostenberechnung
4	Genehmigungsplanung	Erarbeiten der Vorlagen für die erforderlichen Genehmigungen
5	Ausführungsplanung	Erarbeitung und Darstellung der ausführungsfähigen Planungslösungen
6	Vorbereitung der Vergabe	Ermittlung der Mengen und Aufstellung von Leistungsverzeichnissen
7	Mitwirkung bei der Vergabe	Prüfen der Angebote und Mitwirkung bei der Vergabe
8	Objektüberwachung (Bauüberwachung) und Dokumentation	Überwachung der Ausführung des Objekts, Kostenfeststellung, Abnahme der Leistungen, Zusammenstellung der Dokumentation
9	Objektbetreuung	Bewertung der festgestellten Mängel, Objektbegehung zur Mängelfeststellung



**Bild 6.1-2:** Systemauswahl und Anlagenbemessung

**Tabelle 6.1-2:** Planungsschritte nach *RB-Bau* [6-3]

Planungsschritt		Aufgabe
<i>ES-Bau</i>	Entscheidungsunterlage Bau	Bedarfsbeschreibung, Möglichkeiten der Bedarfsdeckung, Kostenermittlung
<i>EW-Bau</i>	Entwurfsunterlage Bau	Vorplanung, Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung Kostenberechnung
	Ausführungsplanung	Ausführungsplanung, Vorbereitung der Vergabe Kostenkontrolle

Im Bereich öffentlicher Aufträge gelten die in den Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes (*RB-Bau*) [6-3] festgelegten Teilschritte nach Tabelle 6.1-2. Auf die Erstellung der Entscheidungsunterlage Bau (*ES-Bau*) wird häufig verzichtet. Im öffentlichen Bereich sind für jeden der Teilschritte die Genehmigungen in den vorausgegangenen Teilschritten verbindlich.

Der Planungsprozess setzt eine enge Zusammenarbeit zwischen allen Baubeteiligten voraus. Der Planer der RLT-Anlagen muss intensiv mit dem Auftraggeber, dem Architekten und dem Tragwerksplaner zusammenarbeiten. Weitere Schnittstellen ergeben sich zu den genehmigenden Behörden und den Planern anderer technischer Gewerke, z. B. bei der Wärme-, Kälte-, Wasser- und Elektroversorgung. Die technisch und wirtschaftlich erfolgreiche Abarbeitung eines Projekts hängt in hohem Maße von der Lösung dieser Schnittstellenproblematik ab. Es gilt, den gemeinsamen Planungsprozess nicht durch Zeitverzögerungen zu behindern. Aber auch zu frühe Detailtiefe führt zu Schwierigkeiten, da es danach nur schwer möglich ist, grundlegende Änderungen durchzusetzen.

## 6.2 Auswahl des Klimasystems

### 6.2.1 Anlagenvarianten

Die Einzelanlage je Raum stellt aus der Sicht der Nutzungsanforderungen, der Regelbarkeit und der energetischen Optimierung die beste Lösung zur raumlufttechnischen Versorgung eines Raumes dar. Aus Kostengründen und wegen des hohen Platzbedarfs ist diese Systemlösung nur selten realisierbar. Es müssen daher Kompromisse gefunden werden, die die gewünschten Nutzerforderungen noch ausreichend erfüllen. Dazu gehören die Zusammenfassung der Räume mit gleichen oder ähnlichen Anforderungen zu Versorgungsbereichen und der Verzicht auf eine individuelle Regelung der Raumlufftfeuchte oder sogar auf eine individuelle Regelung der Raumlufftemperatur. Da der Nutzer nur seine spezifischen Raumkonditionen bewertet, sind bei allen Kompromissen Schwierigkeiten mit ihm vorprogrammiert. Eine verbesserte Akzeptanz der Kompromisslösung ergibt sich, wenn der Nutzer über eine veranlassergerechte Verteilung mit seinen Jahresbetriebskosten direkt belastet wird.

Zu beachten ist auch, dass der erforderliche Erfüllungsgrad der Nutzerforderungen von der unternehmerischen Position des Nutzers abhängt. Kompromisse bei der Versorgung von Büros der Chefetage sind daher besonders abzusichern.

Als Anlagenvarianten werden heute ausgeführt:

- Einzelanlagen ohne nachgeschaltete Behandlung,
- Mehrzonenanlagen,
- volumenvARIABLE Einzelraumregelungssysteme mit Grundaufbereitung,
- Zweikanalanlagen,
- RLT-Anlagen mit Induktionsgeräten,
- Einzelgeräte.

Die besonderen Eigenschaften einiger dieser Varianten werden in den folgenden Abschnitten behandelt.

### 6.2.2 Grundlagen der Systemauswahl

#### 6.2.2.1 Das Anforderungsprofil raumluftechnischer Anlagen

Unter dem Anforderungsprofil einer raumluftechnische Anlage wird die Zusammenstellung aller Anforderungen verstanden, die von der RLT-Anlage erfüllt werden müssen, um die bestimmungsgerechte Nutzung der versorgten Räume zu gewährleisten. Das Anforderungsprofil wird vom lückenlosen Nutzungsprofil der versorgten Räume festgelegt; es soll künftige Nutzungsänderungen berücksichtigen und muss den wirtschaftlichen Betrieb der Anlage sicherstellen.

Das Anforderungsprofil der RLT-Anlage enthält mindestens:

- Allgemeine Anforderungen,
- Betriebsvarianten,
- Raumlufkonditionen.

#### *Allgemeine Anforderungen*

Die Ausführungsqualität der RLT-Anlage bestimmt wesentlich die Investitionskosten und die Jahresbetriebskosten. Dazu ist eine Reihe von Bedingungen vor Planungsbeginn zu klären.

- Komfortstufe
- Anlagenqualität
- Anlagenverfügbarkeit
- Einbindung in die Bewirtschaftung (Facility Management)
- Reinraumklasse
- hygienische Bedingungen
- Standards des Kunden
- Kostenrahmen

### Betriebsvarianten

Die Nutzung der von der RLT-Anlage versorgten Räume ist im Tages-, Monats- und Jahresverlauf meist sehr unterschiedlich. Bei einem Hörsaal ist beispielsweise zwischen den Nutzungsvarianten Vorlesungsbetrieb, Hörsaalbereitschaft und ungenutzter Hörsaal zu unterscheiden. Jede dieser Varianten hat ihre eigenen Raumluftkonditionen:

<i>Vorlesungszeit:</i>	1 600 h/a Raumlufttemperatur (22 bis 26) °C Mindestaußenluftfrate nach der Personenzahl
<i>Hörsaalbereitschaft:</i>	800 h/a Raumlufttemperatur (22 bis 26) °C keine Mindestaußenluftfrate
<i>Hörsaal ungenutzt:</i>	6 360 h/a Raumlufttemperatur > 18 °C keine Mindestaußenluftfrate

Die RLT-Anlage muss so ausgelegt werden, dass für die Nutzungsvarianten die jeweils geforderten Raumluftkonditionen erfüllt sind. Wird die Anlage allein in der Variante Vorlesungszeit betrieben, sind die Bedingungen der anderen Nutzungsvarianten zwar gesichert, die daraus resultierenden Jahresverbrauchskosten werden aber unverantwortlich hoch. Es ist daher erforderlich, unterschiedliche Betriebsvarianten der RLT-Anlage zur Verfügung zu stellen, damit eine wirtschaftliche Anpassung an die Nutzungsvarianten möglich ist. Dazu werden Module definiert, die als Programmbausteine in den Gebäudeautomationssystemen abgelegt sind und bedarfsabhängig aktiviert werden können.

Mögliche Betriebsvarianten einer Hörsaalanlage:

<i>Starklastbetrieb:</i>	Betriebsweise der Anlage bei voller Belegung
<i>Schwachlastbetrieb:</i>	Betriebsweise der Anlage bei Teilbelegung
<i>Stützbetrieb:</i>	RLT-Anlage als Warmluftheizung zur Sicherung der Mindestlufttemperatur 18 °C im ungenutzten Hörsaal
<i>Start-Stop-Optimierung:</i>	Optimierung des Ein- und Ausschaltzeitpunkts der Anlage in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur, Außenlufttemperatur und Speicherhalten des Gebäudes
<i>Nachtkühlung:</i>	Nachtkühlung des Hörsaals mit kalter Außenluft im Sommer

Diese Betriebsvarianten werden von den Zeitschaltprogrammen der Gebäudeautomation nutzungsabhängig über Wochenprogramm, Jahresprogramm, Sondertageprogramm oder Handanwahl aufgerufen.

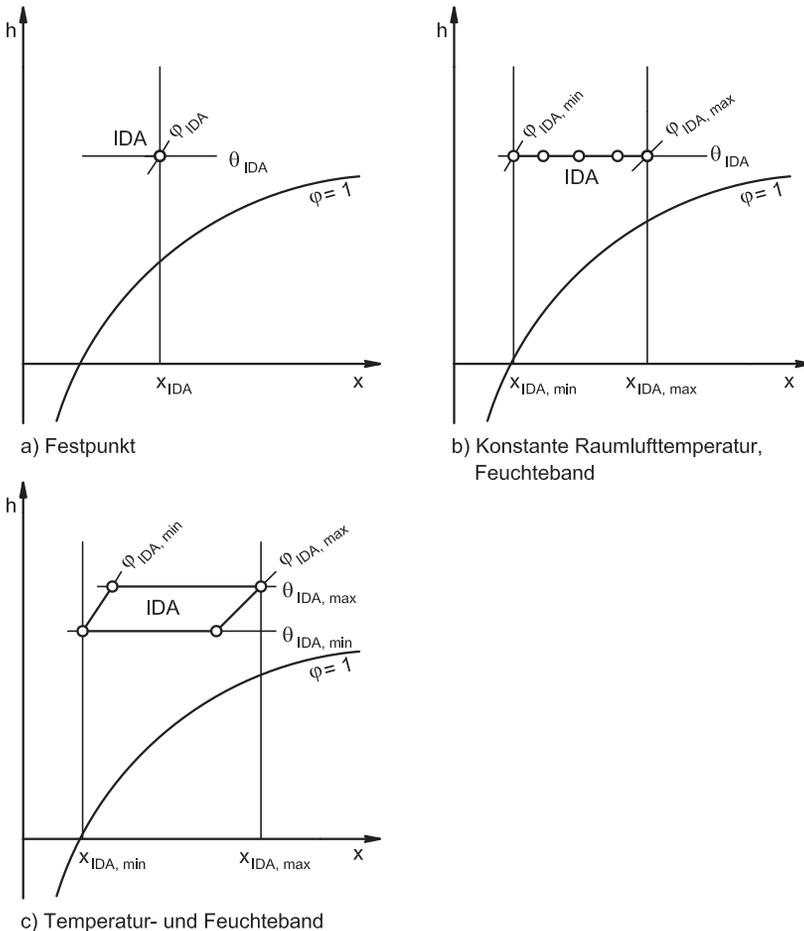
### Raumluftkonditionen der RLT-Anlage

Für jede dieser Betriebsvarianten werden die von der RLT-Anlage zu erfüllenden Raumluftkonditionen definiert. Sie umfassen beispielsweise:

## 6 Raumluftechnische Anlagen

- Raumlufthtemperatur mit Zulässigkeitsbereich und Genauigkeit,
- Raumlufthfeuchte mit Zulässigkeitsbereich und Genauigkeit,
- Raumdruck,
- Mindestaußenluftrate,
- Schalldruckpegel,
- Luftwechsel,
- zulässiger Schadstoffgehalt.

Der geforderte Raumlufthzustand hat großen Einfluss auf die Jahresenergiekosten der RLT-Anlage. Fordert man zusätzlich zur Raumlufthtemperatur auch die Raumlufthfeuchte, so sind damit erheblich höhere Investitions- und Betriebskosten verbunden. Kleine Zulässigkeitsbereiche und enge Toleranzen wirken sich ebenfalls kostensteigernd aus. Die Möglichkeiten für die Festlegung des Raumlufthzustands bei einer Klimaanlage zeigt Bild 6.2-1.



**Bild 6.2-1:** Varianten des Raumlufthzustandes einer Klimaanlage

Der Festpunkt wird manchmal bei empfindlichen Fertigungsprozessen gefordert; er verursacht die höchsten Kosten. Das Feuchteband bei konstanter Raumlufttemperatur ist beispielsweise in Büroräumen im Bereich  $\varphi = 40\%$  bis  $60\%$  zulässig. Dadurch werden die Be- und Entfeuchtungskosten erheblich reduziert, ohne dass vom Nutzer Komforteinbußen bemerkt werden. Die kostengünstigste Variante mit Temperatur- und Feuchteband führt wegen der veränderlichen Raumlufttemperatur in Büros manchmal zu Beanstandungen.

Hinweise zu den erforderlichen Konditionen in Normen und Richtlinien sind sehr umfangreich.

### 6.2.2.2 Raumlust und Raumlustdeckung

Der Verlauf der Heizlast  $\Phi_{HR}$  und der Kühllast  $\Phi_{KR}$  der versorgten Räume sind wichtige Basisgrößen für die Bemessung der RLT-Anlagen. Sie bestimmen die Anlagengröße in vielen Fällen ganz wesentlich. Es muss daher jede Möglichkeit genutzt werden, diese Lasten zu reduzieren. Dazu bieten sich beispielsweise an:

- Beschattungseinrichtungen an den Fenstern,
- Abluftleuchten,
- Einhausung von Wärmequellen mit Abluftabsaugung.

Weitere Reduzierungen ergeben sich, wenn ein Teil der Lasten schon im Raum gedeckt wird durch

- Heizkörper,
- Kühldecken, Kühlwände,
- Umluftkühlgeräte,
- sekundäre Wärmeübertrager der Induktionsgeräte

oder wenn nur ein Teil der Kühllast in der Aufenthaltszone frei wird, wie zum Beispiel bei

- Quelldurchlässen

Soll die Raumlufttemperatur ganzjährig eingehalten werden, so müssen die Raumlusten zu jedem Zeitpunkt von der RLT-Anlage oder den dezentralen Einrichtungen gedeckt werden (Bild 6.2-2, Fall 1). Daraus ergibt sich unter Berücksichtigung der maximalen dezentralen Heizleistung  $\Phi_{HD,Nenn}$  oder der dezentralen Kühlleistung  $\Phi_{KD,Nenn}$  die Heizleistung  $\Phi_{HA,Nenn}$  der RLT-Anlage im Winterbemessungsfall:

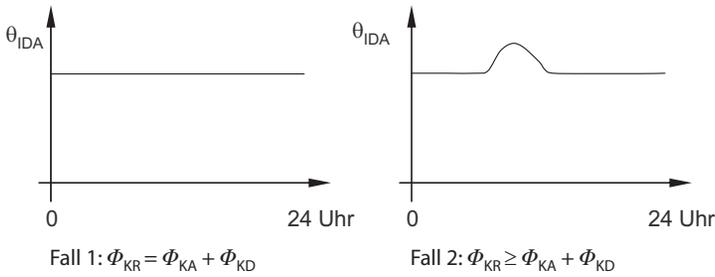
$$\Phi_{HA,Nenn} = \Phi_{HR,Nenn} - \Phi_{HD,Nenn} \quad (6.2-1)$$

bzw. die Kühlleistung der RLT-Anlage im Sommerbemessungsfall:

$$\Phi_{KA,Nenn} = \Phi_{KR,Nenn} - \Phi_{KD,Nenn} \quad (6.2-2)$$

Aus Kostengründen wird heute manchmal auf die vollständige Deckung der Kühllast verzichtet; es werden dann bei Spitzenlasten leicht erhöhte Raumlufttemperaturen in Kauf genommen (Bild 6.2-2, Fall 2).

Es ist empfehlenswert, die Verläufe der Raumlufttemperatur in Fall 2 durch Simulationsprogramme zu überprüfen.



**Bild 6.2-2:** Der Tagesgang der Raumlufftemperatur, abhängig von der Raumlasterdeckung

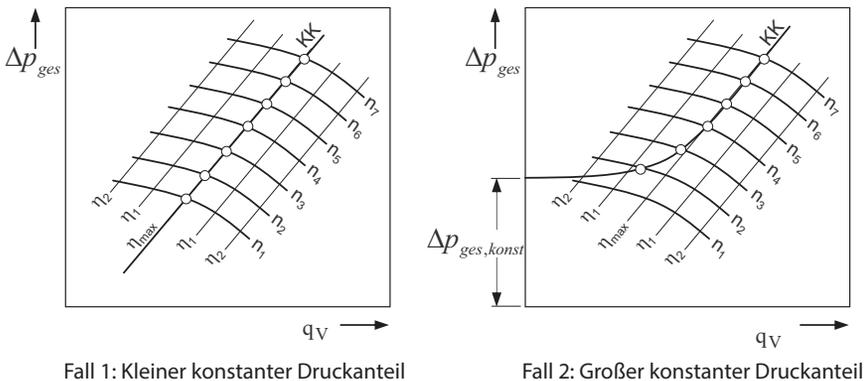
**6.2.2.3 VolumenvARIABLE Systeme**

Der Zuluftvolumenstrom einer RLT-Anlage ist neben dem Anlagentyp der wichtigste Parameter für die zu erwartenden Jahresenergiekosten. Über die Förderkosten der Zu- und Abluft wird ein entscheidender Anteil der elektrischen Energie bestimmt. Da der Bemessungsvolumenstrom in der Regel nur im „Katastrophenfall“ auftritt, ist es heute Stand der Technik, den Zuluftvolumenstrom möglichst variabel an die Lastverhältnisse anzupassen. Die dabei erzielbaren Einsparungen hängen vom Verlauf der Kennlinie des Kanalnetzes und der Ventilator Kennlinie ab. Bei einer Kanalnetzkenlinie mit kleinem konstanten Druckanteil (Bild 6.2-3, Fall 1) gilt für die Förderleistung bei veränderlichem Volumenstrom:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{q_{V1}}{q_{V2}} \right)^3 \tag{6.2-3}$$

Bei Kanalnetzen mit Misch- oder VVS-Geräten ist je nach Ausführung der Regelung ein hoher konstanter Druckanteil  $\Delta p_{ges, konst}$  zu erwarten (Bild 6.2-3, Fall 2). Hier kann die Förderleistung bei Teilvervolumenstrom nur mithilfe des Ventilator kennfelds und der Kanalnetzkenlinie (KK) punktweise bestimmt werden.

Die volumenvARIABLE Systeme entsprechen heute, auch wegen der stark gesunkenen Kosten der Frequenzumformer, dem Stand der Technik. Sie sind bei allen modernen Systemlösungen unverzichtbar.



Fall 1: Kleiner konstanter Druckanteil

Fall 2: Großer konstanter Druckanteil

**Bild 6.2-3:** Lage der Betriebspunkte bei variablem Volumenstrom