Jens Knissel • Max Giesen • Tobias Klimmt

Planungsleitfaden
Semizentrale Lüftung
– dezentrale Ventilatoren in zentralen RLT-Anlagen

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

kassel
university
press

Planungsleitfaden Semizentrale Lüftung
– dezentrale Ventilatoren in zentralen RLT-Anlagen

Zum Forschungsprojekt
Einsatz dezentraler Ventilatoren zur Luftförderung in zentralen RLT-Anlagen insbesondere bei Nicht-Wohngebäuden – 03ET1200A

Projektteam
- Universität Kassel – Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung (Projektleitung)
- Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE
- ebm – papst Mulfingen GmbH & Co. KG
- innovaTec Energiesysteme GmbH

Autoren:
Jens Knissel; Max Giesen; Tobias Klimmt
Universität Kassel,
Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung

Die Verantwortung für die Inhalte dieser Veröffentlichung liegen bei den Autoren.

Layout:
Gerd Kleinert, Kassel

Version 1.1, Oktober 2018

ISBN: 978-3-7376-5070-0
DOI: http://dx.medra.org/10.19211/KUP9783737650700
URN: https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0002-450709

© 2018, kassel university press GmbH, Kassel
www.uni-kassel.de/upress

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

		Seite
	Haftungsausschluss	2
1	**Einleitung**	5
2	**Systembeschreibung und Energieeinsparung**	7
3	**Systemauswahl**	11
4	**Systemvarianten und ihre Einsatzbedingungen**	13
4.1	Vollständige Einzelraumregelung	14
4.2	Einzelraumregelung mit strangweisem Abluftventilator	15
4.3	Einzelraumregelung mit Überströmung	16
4.4	Raumgruppenversorgung mit Schlechtraumregelung	17
4.5	Systeme ohne Zentralventilator	18
5	**Besonderheiten des dVt-Systems**	19
5.1	Hinweise zur Ventilatorauswahl	19
5.1.1	Axialventilator	19
5.1.2	Radialventilator	20
5.1.3	Ventilatordimensionierung	20
5.2	Fehlströmung	20
5.3	Drucksituation/Leckagevolumenströme	22
5.4	Schall	22
5.5	Räume mit hohem Luftbedarf nahe der RLT-Anlage	22
5.6	Luftheizung bzw. Luftkühlung	24
5.7	Einsatz des dVt-Systems bei der Bestandsmodernisierung	24
5.8	Betriebserfahrungen	24
6	**Hinweise zu Investitions-, Betriebs und Wartungskosten**	26
6.1	Investitionskosten	26
6.2	Wartungs- und Instandhaltungskosten	26
6.3	Energiekosten	
7	**Weitere effiziente Systeme zur bedarfsabhängigen Lüftung**	27
7.1	Volumenstromregler mit variablem Vordruck	27
7.2	Dezentrale raumweise Lüftungssysteme	27
8	**Weiterentwicklungen beim dVt-System**	28
9	**Beispiele**	28
9.1	Endenergiebedarf	28
9.2	Strangschemata	30
10	**Literaturverzeichnis**	34
11	**Abkürzungsverzeichnis**	34

Haftungsausschluss

Die Inhalte dieses Leitfadens wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Einsatz dezentraler Ventilatoren zur Luftförderung in zentralen RLT-Anlagen insbesondere bei Nicht-Wohngebäuden – 03ET1200A“ erarbeitet und entsprechen dem aktuellen Wissensstand. Die Autoren und andere Projektteilnehmer haften nicht für eventuelle Schäden infolge der Anwendung des Leitfadens. Insbesondere ist jede Haftung für Schäden (z. B. durch entgangene Einsparung etc.) ausgeschlossen, die durch die Verwendung von Berechnungsergebnissen, von Daten oder von Informationen aus dem Leitfaden verursacht werden. Rechte Dritter wurden nicht geprüft. Die Patentschrift Klimaanlage, insbesondere für Schiffe DE 10 2007 049 333 B4 wird als bekannt angegeben.

1 | Einleitung

Mechanische Lüftungsanlagen sind ein zentrales Element energieeffizienter, nachhaltiger Gebäude. Sie sorgen für die Abfuhr von Luftverunreinigungen und Feuchte aus Gebäuden und sichern die erforderliche Luftqualität. In Verbindung mit einer Wärmerückgewinnung leisten sie zudem einen entscheidenden Beitrag zur Reduktion des Energieaufwands.

Von zentraler Bedeutung ist dabei ein möglichst geringer Ventilatorstromverbrauch. Erreicht werden kann dies u. a. durch eine bedarfsabhängige Volumenstromregelung etwa über CO_2-Sensoren. Die Anpassung des Luftvolumenstroms erfolgt heute üblicherweise durch variable Volumenstromregler. Die vom Ventilator in der Lüftungszentrale aufgebaute Druckdifferenz wird im Kanalnetz gezielt abgedrosselt, um den Volumenstrom auf die einzelnen Räume aufzuteilen und an den jeweiligen Bedarf anzupassen. Diese Drosselung sollte aus Energieeffizienzgründen jedoch möglichst weit reduziert oder sogar vermieden werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Einsatz dezentraler Ventilatoren zur Luftförderung in zentralen RLT-Anlagen insbesondere bei Nicht-Wohngebäuden – 03ET1200A“ wurde nun ein innovativer Ansatz untersucht: Dabei werden die Volumenstromregler im Kanalnetz durch Ventilatoren ersetzt, die die Druckerhöhung dezentral an den Stellen und in der Höhe aufbauen, wie es für die Luftförderung erforderlich ist. Die energieaufwändige Drosselung des Volumenstroms entfällt damit. Hierdurch kann der Ventilatorstrombedarf bei typischen Nutzungen um 10 bis 50 % reduziert werden.

Projektbeteiligte des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie auf Beschluss des deutschen Bundestages geförderten Forschungsprojektes sind:

- Universität Kassel – Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung (Projektleitung),
- Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE (bis zum 31.12.2016 zugehörig zum Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP),
- ebm – papst Mulfingen GmbH & Co. KG,
- innovaTec Energiesysteme GmbH.

Die Ergebnisse sind im Abschlussbericht des Forschungsprojektes [dVt 2018] sowie in zwei Dissertationen [Alsen 2017] sowie [Klimmt 2018] dokumentiert. In dem vorliegenden Planungsleitfaden werden die planungsrelevanten Aussagen und Informationen zusammenfassend dargestellt.

Die Ausführungen konzentrieren sich auf den Neubaufall von Nicht-Wohngebäuden. Sie sind aber bei Bestandsmodernisierungen nutzbar und ebenfalls auf Wohngebäude übertragbar.

In diesem Kapitel werden zunächst die Funktionsweisen des auf Volumenstromreglern und einem konstanten Vordruck basierenden Referenzsystems (im Weiteren als VSR-System bezeichnet) und des mit dezentralen Ventilatoren ausgerüsteten innovativen semizentralen Systems (im Weiteren als dVt-Systeme bezeichnet) beschrieben. Im Anschluss wird dargestellt, warum die Energieeffizienz beim dVt-System im Vergleich zum VSR-System verbessert ist und welchen Einfluss die Raumnutzung auf die Energieeinsparung hat.

In VSR-Systemen (Abbildung 2.1 links) erzeugen die Ventilatoren der Lüftungszentrale im Hauptkanal einen konstanten Vordruck. Der Sollwert des Vordrucks ergibt sich aus dem Druckverlust des strömungstechnisch am ungünstigsten gelegenen Strangs beim Auslegungsvolumenstrom. Die im Kanalnetz platzierten Variabel-Volumenstromregler drosseln den Vordruck für die anderen Stränge durch Veränderung des Klappenwinkels definiert ab, so dass nur der benötigte Volumenstrom in die jeweilige Zone strömt.

Der Aufbau des dVt-Systems (Abbildung 2.1 rechts) ist in großen Teilen deckungsgleich mit dem VSR-System. Es gibt jedoch zwei Unterschiede, die den Kern des Konzeptes ausmachen:

- Die Volumenstromregler werden durch dezentrale Ventilatoren ersetzt
- Der Vordruck wird auf 0 Pa gegenüber Umgebung geregelt.

In der Konsequenz gleichen die Ventilatoren der Lüftungszentrale nur noch die Druckverluste bis zum Drucksensor aus (v. a. Komponenten der Lüftungszentrale). Die neu hinzugekommenen dezentralen Ventilatoren erzeugen die erforderliche Druckerhöhung vom Drucksensor bis zur belüfteten Zone.

In Abgrenzung zu zentralen oder dezentralen Lüftungssystemen wird das dVt-System als semizentrales Lüftungssystem bezeichnet, da ein Teil der Druckerhöhung in der RLT-Zentrale und ein weiterer Teil dezentral im Kanalnetz erzeugt wird (siehe auch Abbildung 5.6).

Die energetische Vorteilhaftigkeit des semizentralen dVt-Systems im Vergleich zum VSR-System ergibt sich aus den hierdurch vermiedenen Drosselverlusten. Im VSR-System treten zwei Drosselvorgänge auf:

1. Drosselung zur Einstellung der gewünschten Volumenstromverteilung unter Nennbedingungen, d. h. zum Luftmengenabgleich (analog zum hydraulischen Abgleich bei Heizungsanlagen, in Abbildung 2.2 grün schraffiert).
2. Drosselung zur bedarfsabhängigen Luftmengenreduktion (analog zum Regeleingriff von Thermostatventilen bei Heizungsanlagen, in Abbildung 2.2 rot schraffiert).

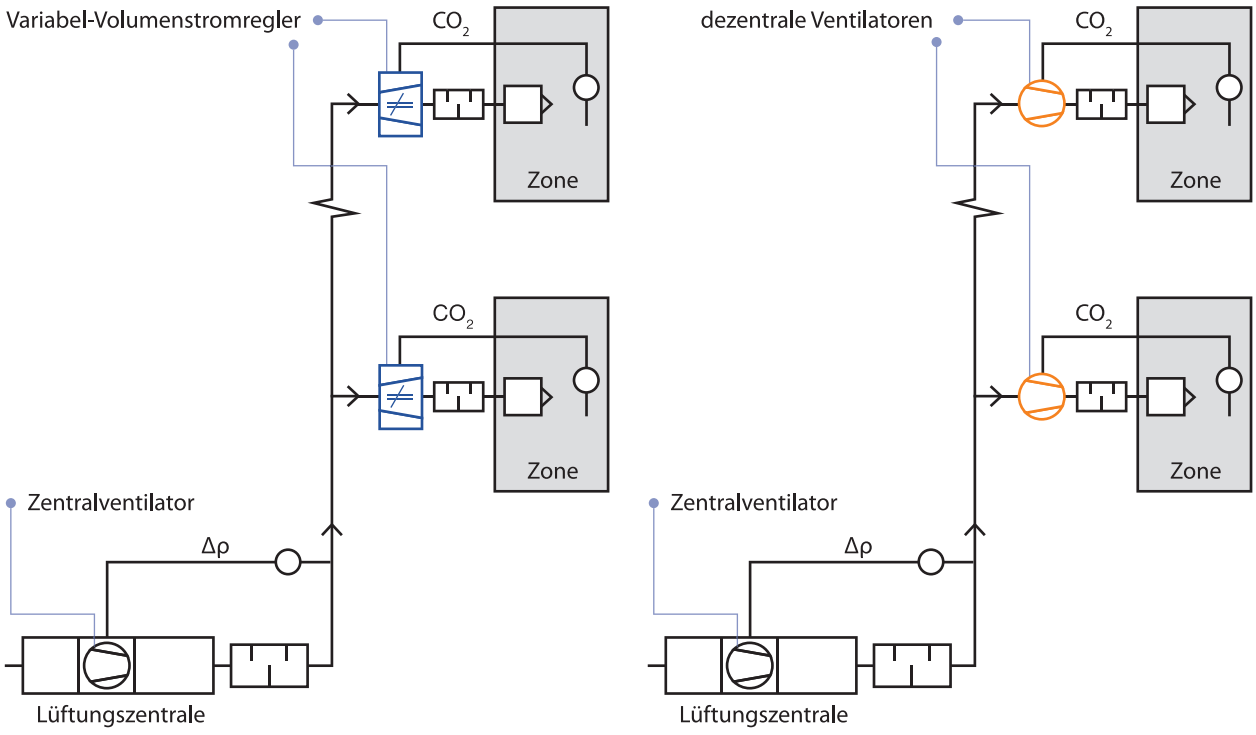

Abbildung 2.1: Schema eines VSR-Systems (links) und eines dVt-Systems (rechts)

Während die Drosselung zur Luftmengenverteilung immer auftritt (Drosselvorgang 1), wenn ein Strang Luft anfordert und dieser nicht am Schlechtpunkt liegt, fällt die Drosselung zur Luftmengenreduktion nur im Teillastfall an (Drosselvorgang 2). Abbildung 2.2 veranschaulicht diesen Zusammenhang am Beispiel eines Großraumbüros, dass von 8:00 Uhr bis 12:00 Uhr mit zehn Personen voll und anschließend nur noch mit sechs Personen belegt ist. Bei voller Belegung erreicht die CO_2-Konzentration nach kurzer Zeit ihren Grenzwert, sodass der zugehörige Volumenstromregler öffnet und der Volumenstrom bis zum Nennvolumenstrom ansteigt. Um 12 Uhr verlassen vier Personen den Raum, wodurch sich die CO_2-Emissionen reduzieren. Der Volumenstromregler erhöht den Strömungswiderstand und reduziert damit den zugeführten Volumenstrom soweit, dass der CO_2-Grenzwert gehalten wird.

Die grün und rot schraffierten Flächen visualisieren die beim VSR-System auftretenden Drosselverluste. Werden dezentrale Ventilatoren statt Volumenstromregler eingesetzt, können die Drosselverluste vermieden werden. Dies reduziert die von den Ventilatoren aufzubringende Druckerhöhung und damit die benötigte elektrische Ventilatorleistung. Den Verlauf der Ventilatorleistung bei Teillastbetrieb zeigt Abbildung 2.3. Dargestellt sind die berechneten Leistungen (gestrichelte Kurve) und die am Lüftungsversuchsstand des Fachgebiets TGA der Universität Kassel gemessenen Leistungswerte (Punkte). Die rote Linie bzw. die gelben Punkte beschreiben das VSR-System, die dunkelgrüne Kurve bzw. grünen Punkte das dVt-System. Betrachtet ist die Zuluftseite. Beim dVt-System ist die Summe aller Zuluftventilatoren (zentral + dezentral) dargestellt.

Es wird deutlich, dass die Energieeinsparungen beim dVt-System insbesondere durch den geringeren Leistungsbedarf im Teillastfall entstehen, da hier beide Drosselvorgänge vermieden werden können.

Vorteilhaft für die Energieeinsparung beim dVt-System wirken sich entsprechend aus:

- Häufige und ausgeprägte Teillastzustände,
- Hohe Auslegungsdruckverluste des Kanalnetzes,
- Hohe Unterschiede zwischen den Druckverlusten der einzelnen Stränge.

Die erzielbare Energieeinsparung reduziert sich bei geringen Nennvolumenströmen der dezentralen Ventilatoren (etwa unter 250 m^3/h), da kleine Ventilatoren geringere Wirkungsgrade haben.

Unter der Annahme der Teillastzustände und Druckverluste nach DIN V 18599 ist in Abbildung 2.4 der Ventilatorstrombedarf für das VSR-System und das dVt-System unter Berücksichtigung aller oben genannten Aspekte für unterschiedliche Nutzungen dargestellt. Es wird der Einfluss der versorgten Nutzungszone deutlich. Die Einsparungen durch das innovative dVt-System liegen zwischen 8 % und 54 %.

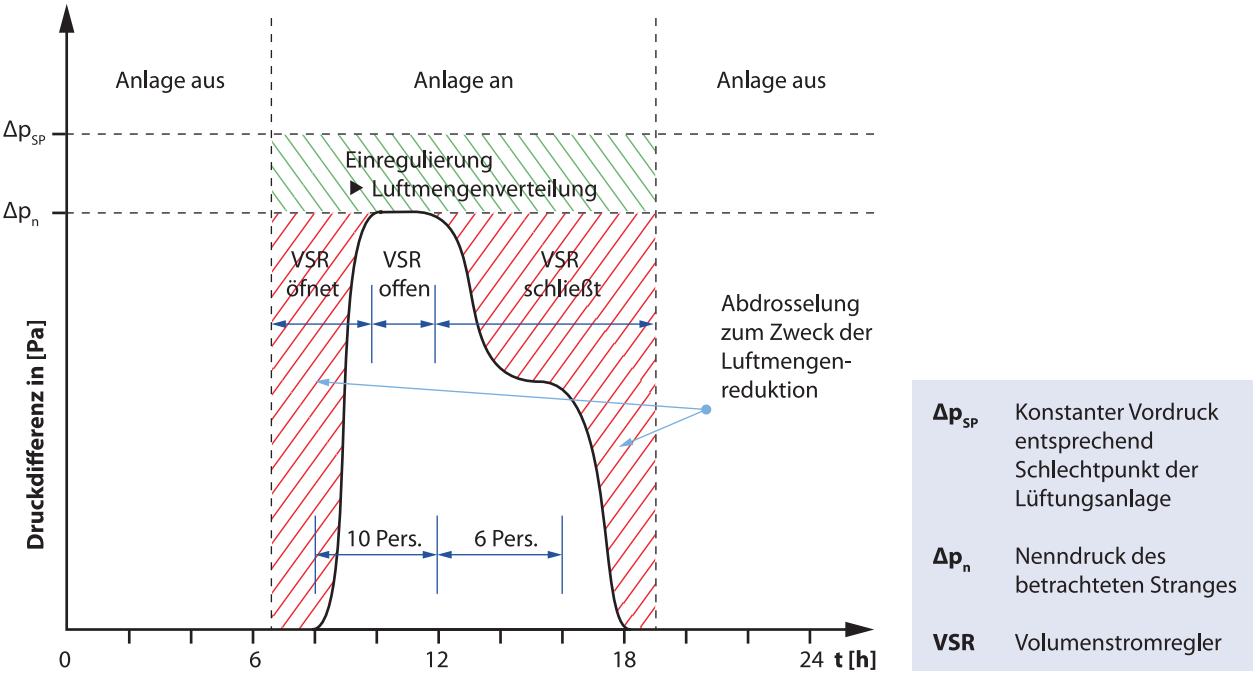

Abbildung 2.2: Drosselvorgänge bei bedarfsabhängiger Luftmengenreduktion mit Volumenstromreglern [Alsen, Knissel 2013]

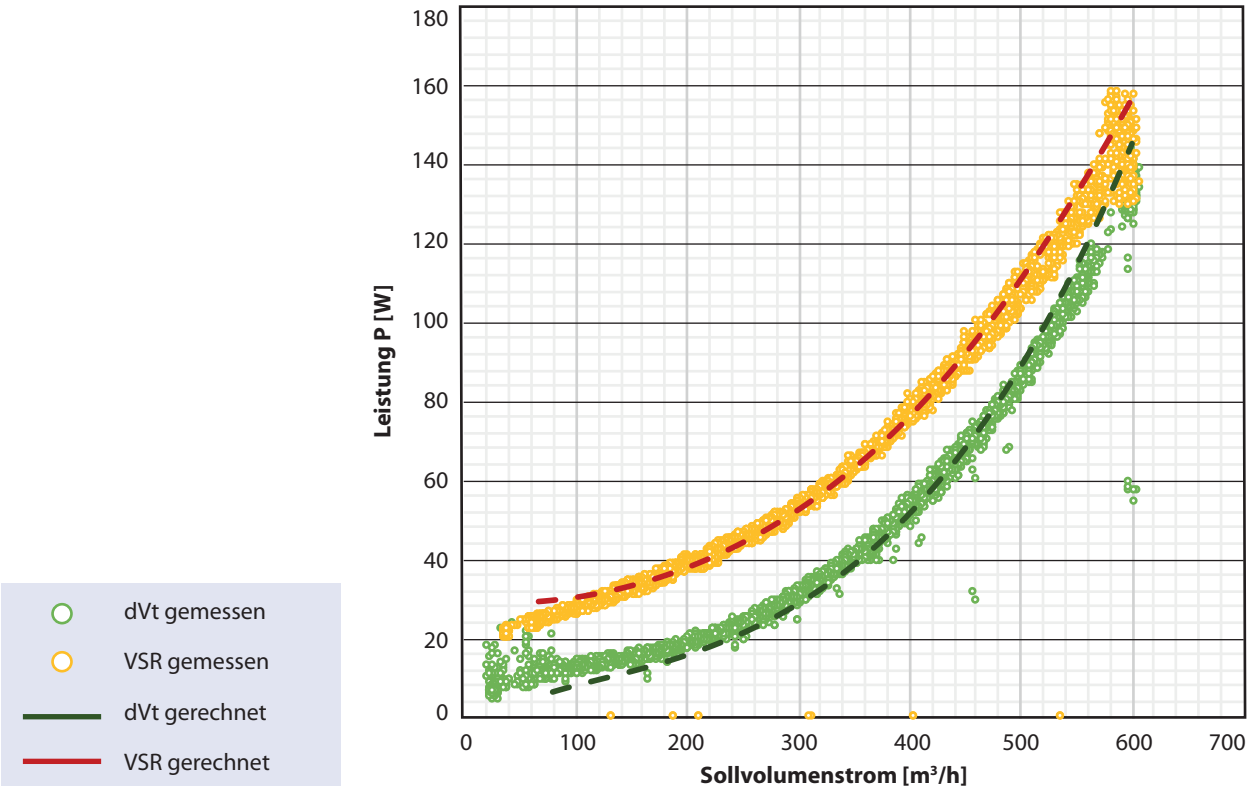

Abbildung 2.3: Vergleich von gemessener und berechneter Ventilatorleistung (Zuluft) für VSR und dVt-System [Alsen, Klimmt, Knissel 2015]

VSR – Volumen**S**trom**R**egler-System
dVt – dezentrale-**V**en**t**ilatoren-System

Randbedingungen

- Berechnung: DIN V 18599 erweitert
- Zuluft Δp = 960 Pa
- Abluft Δp = 750 Pa
- Druckverhältniszahl $f_p = 0{,}4$
- Netzfaktor $f_N = 0{,}7$
- Ventilatorenwirkungsgrad: je nach Teillastzustand
- Nutzung: DIN V 185991-10

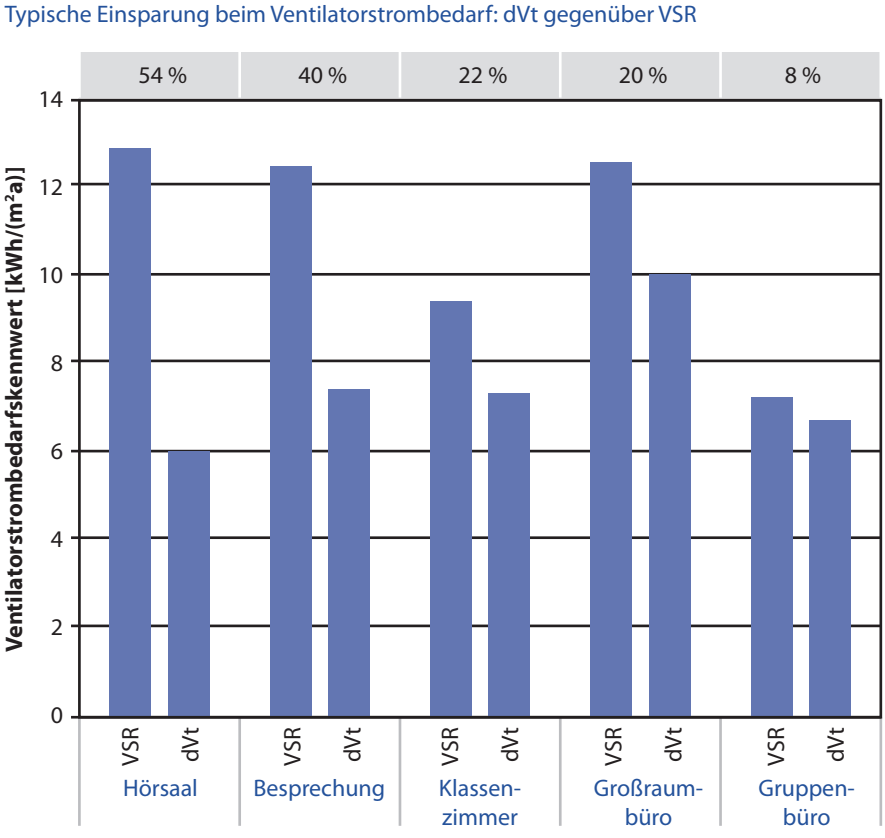

Abbildung 2.4: Vergleich des Ventilatorstrombedarfs zur Luftförderung von dVt-System und VSR-System

3 | Systemauswahl

In diesem Kapitel werden Hinweise gegeben, wann der Einsatz eines dVt-Systems empfohlen werden kann, oder wann das VSR-System oder gar ein Konstantvolumenstromsystem – im Weiteren als KVS-System bezeichnet – geeigneter ist. Als Bewertungskriterium wird die Wirtschaftlichkeit herangezogen, die neben der Energieeinsparung auch die Investitions- und Wartungskosten mit einbezieht. Details zur Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in [Alsen 2017] zu finden. Da das innovative dVt-System noch nicht auf dem Markt verfügbar ist, können noch keine verlässlichen Aussagen zu den Investitionskosten gemacht werden. Entsprechend sind die im Weiteren genannten Grenzen und Zahlenwerte als grobe Anhaltswerte zu verstehen.

Für die weiteren Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass bei der Entwicklung des Lüftungskonzeptes die Entscheidung für eine zentrale RLT-Anlage und ein Variable-Volumenstrom-System (VVS-System) bereits getroffen wurde. Es ist jetzt also die Frage zu klären, ob ein dVt-System oder ein VSR-System realisiert werden sollte.

Zwei Hinweise:
1. Eine Kombination beider Systeme ist zwar prinzipiell denkbar, wird aber hier nicht weiter betrachtet.
2. Beide Systeme können neben der bedarfsabhängigen Belüftung einzelne Räume auch mit einem konstanten Volumenstrom versorgen.

Die Entscheidung zwischen dVt- oder VSR-System hängt von folgenden Faktoren ab:
- Nennvolumenstrom $\dot{V}^*$ des Raumes:
  beeinflusst den Wirkungsgrad der dezentralen Ventilatoren, sowie die volumenstrombezogenen Investitionskosten.
- Teillastbetrieb $\dot{V}_m / \dot{V}^*$ des Raumes:
  Das Verhältnis des unter Berücksichtigung der Teillastzustände über die Nutzungszeit gemittelten Volumenstroms $\dot{V}_m$ (DIN V 18599-7 $\dot{V}_{dc}$) zum Nennvolumenstrom quantifiziert den Teillastbetrieb. Je häufiger und ausgeprägter Teillastzustände auftreten, umso kleiner ist dieser Quotient. Dieser Faktor quantifiziert u. a. die Drosselverluste 2 aus Abbildung 1.2.
- Netzfaktor $f_N = \Delta p_m / \Delta p^*$ der gesamten RLT-Anlage: Der Netzfaktor wird in [Alsen 2017] definiert. Er ist das bei Auslegungsbedingungen ermittelte Verhältnis der über alle Stränge einer RLT-Anlage gemittelten Druckverluste Δp_m bezogen auf die Druckverluste des Schlechtstrangs Δp^*. Dieser Faktor quantifiziert die Drosselverluste 1 aus Abbildung 1.2.
- Auslegungsdruckverlust des Kanalnetzes: Je geringer der Auslegungsdruckverlust des Kanalnetzes, desto geringer sind die Auswirkungen des Netzfaktors f_N.

Mithilfe von Abbildung 3.1 kann abgeschätzt werden, ob für einen Raum ein KVS-System, ein VSR-System oder ein dVt-System am sinnvollsten (wirtschaftlichsten) ist.

Konstante Volumenströme (KVS-System) bieten sich für Räume mit geringem Nennvolumenstrom $\dot{V}^*$ und geringem Teillastbetrieb $\dot{V}_m / \dot{V}^*$ an, wie beispielsweise Einzel- oder Gruppenbüros. Sofern möglich, können hier mehrere Räume zu einer Raumgruppe zusammengefasst werden. Die konstante Belüftung hat den Vorteil, dass Investitionskosten und Wartungsaufwand für Sensoren und Regler entfallen. Ob eine Schlechtraumregelung für die Raumgruppe empfehlenswert ist, wird in Kapitel 4.4 untersucht.

Aufgrund der etwas höheren Investitionskosten des dVt-Systems entscheidet sich die Wirtschaftlichkeit und damit die Vorteilhaftigkeit des dVt-Systems an dessen Energieeinsparung. Anwendungsfälle mit entsprechenden Nenn-Raumvolumenströmen $\dot{V}_i^* \geq 250$ m³/h sind dann klar dem dVt-System zuzuordnen, wenn
1. häufig Teillastvolumenströme angefordert werden, z. B. $\dot{V}_m / \dot{V}^* \leq 70$ % und
2. die Druckverluste im Verteilnetz in üblicher Höhe liegen (z. B. Druckverhältniszahl $f_p \geq 0{,}4$ bzw. absolut ab ca. 300 Pa).

In denjenigen Anwendungsfällen, in denen seltener Teillastvolumenströme angefordert werden als unter Punkt 1 angegeben, sollte für den wirtschaftlichen Einsatz des dVt-Systems die Drosselung zur Luftmengenverteilung im üblichen Bereich liegen ($f_N \leq 0{,}75$). Fallen die Druckverluste des Verteilnetzes geringer aus als unter Punkt 2 angegeben, sollten die Investitions-(mehr)kosten des dVt-Systems gering sein.

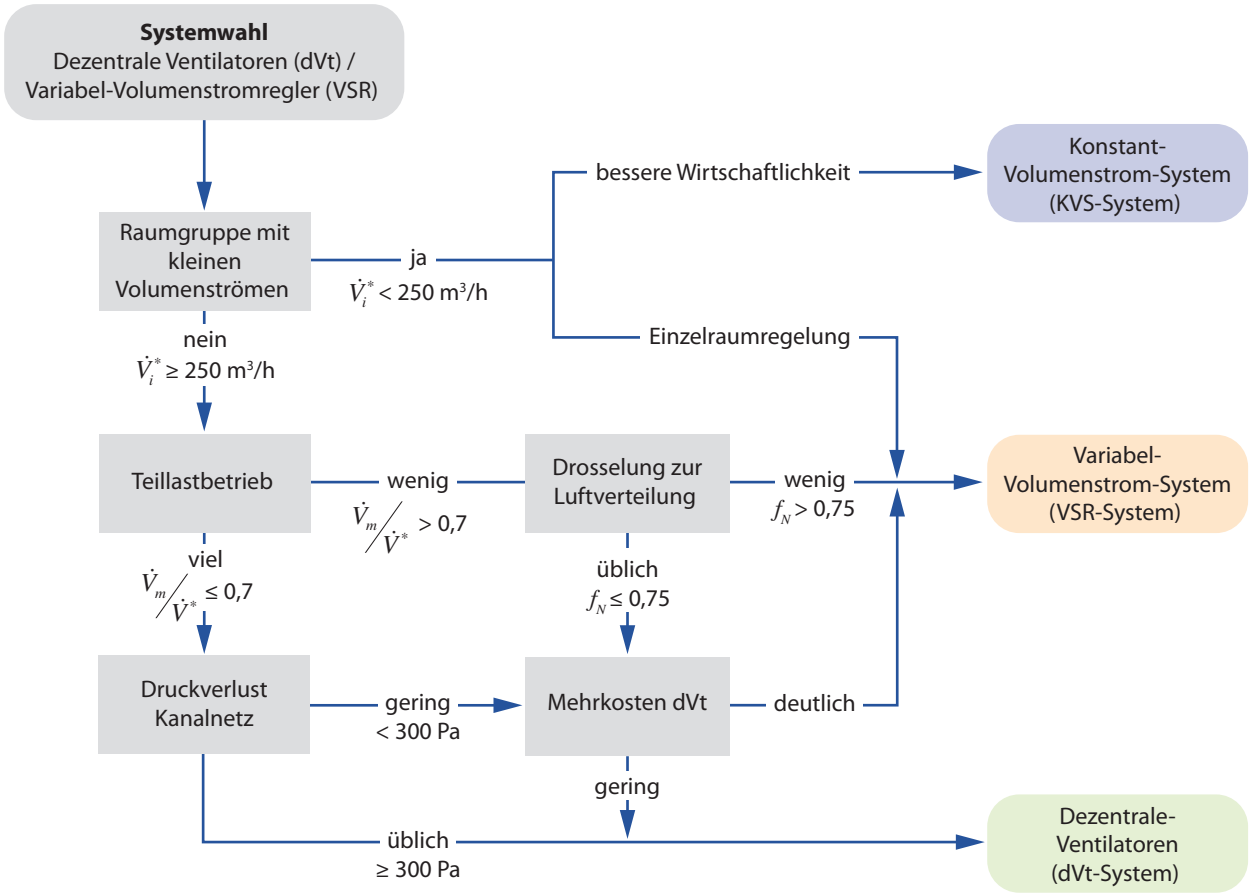

Abbildung 3.1: Flussdiagram zur überschlägigen Identifikation des geeignetsten Systems zur Belüftung von Räumen [Alsen, 2017]. Hinweis: Die angegebenen Zahlenwerte sind nicht als scharfe Grenzwerte zu verstehen, sondern dienen der Orientierung. Im Zweifelsfall empfiehlt sich eine rechnerische Bewertung des Einzelfalls (Stand 2017).

4 | Systemvarianten und ihre Einsatzbedingungen

In diesem Kapitel werden beispielhaft fünf mögliche Umsetzungsvarianten für dVt-Systeme vorgestellt. Die gezeigten Varianten der Zu- und Abluftführung sind Bausteine, die je nach Anforderungen miteinander kombiniert und aus denen die gesamte RLT-Anlage zusammengesetzt werden kann.

Grundsätzlich kann zwischen Einzelraum- und Raumgruppenversorgung unterschieden werden. Bei der Einzelraumversorgung hat jeder Raum einen dezentralen Zuluftventilator, wohingegen bei der Raumgruppenversorgung mehrere Räume zu einer Gruppe zusammengefasst und von einem gemeinsamen dezentralen Zuluftventilator versorgt werden.

Die Tabelle 4.1 enthält Kriterien, die als Entscheidungshilfe für Einzelraum- und Raumgruppenversorgung dienen sollen.

Die Wahl von Einzelraum- oder Raumgruppenversorgung sollte getroffen werden bevor die entsprechende Systemvariante gewählt wird. Die Entscheidung gilt nicht für das gesamte Gebäude, sondern das eingesetzte System kann zwischen Räumen oder Raumbereichen variieren.

Im Nachfolgenden werden die einzelnen Varianten beschrieben, Vor- bzw. Nachteile aufgeführt sowie Einschränkungen und Empfehlungen für den Einsatzbereich gegeben. Die Abbildungen zeigen die Varianten für jeweils drei Zulufträume. Dabei werden aus Übersichtlichkeitsgründen nicht alle notwendigen Komponenten, wie z. B. Schalldämpfer oder Klappen (siehe Kapitel 5) dargestellt.

Desweiteren wird auf die Darstellung der RLT-Zentrale verzichtet. Alle hier aufgeführten Systemvarianten verwenden Volumenstrommessungen auf der Zu- und Abluftseite als Grundlage der Ventilatorregelung. Im Forschungsprojekt wurde alternativ eine Lösung entwickelt, bei der die Ventilatoren ohne Volumenstrommessungen direkt über die CO_2-Messungen geregelt werden [Klimmt 2018]. Hier sind spezielle Lösungen für den Abgleich von Zu- und Abluftvolumenstrom sowie zur Fehlströmungsvermeidung erforderlich. Da diese noch nicht auf dem Markt verfügbar sind, wird diese Variante hier nicht aufgeführt.

Tabelle 4.1: Entscheidungshilfe Einzelraumversorgung oder Raumgruppenversorgung

Einzelraumversorgung
• Unterschiedliche Raumgrößen, Nutzungsarten und Auslegungsvolumenströme • tendenziell große Raumvolumenströme ($\dot{V}^* \geq 250$ m³/h) • hoher Teillastanteil
Raumgruppenversorgung
• Ähnliche Raumgrößen, Nutzungsarten und Auslegungsvolumenströme • tendenziell kleine Raumvolumenströme ($\dot{V}^* < 250$ m³/h) • geringer Teillastanteil

4.1 | Vollständige Einzelraumregelung

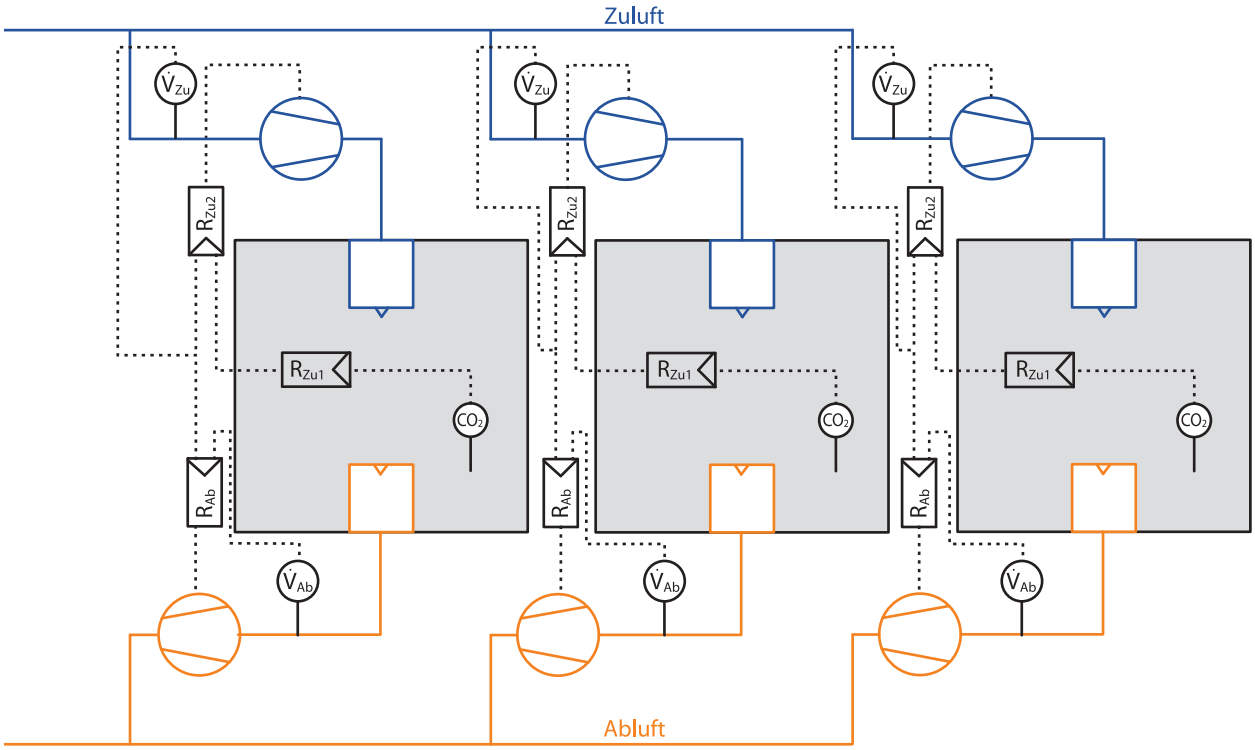

Abbildung 4.1: Vollständige Einzelraumregelung

Die vollständige Einzelraumregelung stellt die grundlegende Basisvariante dar. Mit dieser Anlagentechnik ist es möglich, jeden Raum mit einem bedarfsgerechten Luftvolumenstrom zu versorgen, da sowohl zu- als auch abluftseitig raumweise dezentrale Ventilatoren vorhanden sind. Aus dem CO_2-Raumsignal wird über einen Regler der Sollvolumenstrom für den Zuluftventilator bestimmt. Auf der Zuluftseite sind Volumenstrommessungen angeordnet, welche zum einen zum Sollwert-Istwert-Abgleich des Zuluftventilators und zum anderen zur Regelung des zugehörigen Abluftventilators verwendet werden. Der Abluftventilator wird auf den Volumenstrom des Zuluftventilators geregelt, indem die Regelung den Zuluftvolumenstrom als Sollwert für die Abluft ansetzt.

Vorteile	Robustes Betriebsverhalten
Nachteile	Variante mit höchstem Komponentenaufwand und damit höchsten Investitions- und Wartungskosten
Einschränkungen	keine
Empfohlene Nutzung	Räume mit hohen Nennvolumenströmen und deutlichen Teillastzuständen, die sich zeitlich von den umgebenden Räumen unterscheiden

4.2 | Einzelraumregelung mit strangweisem Abluftventilator

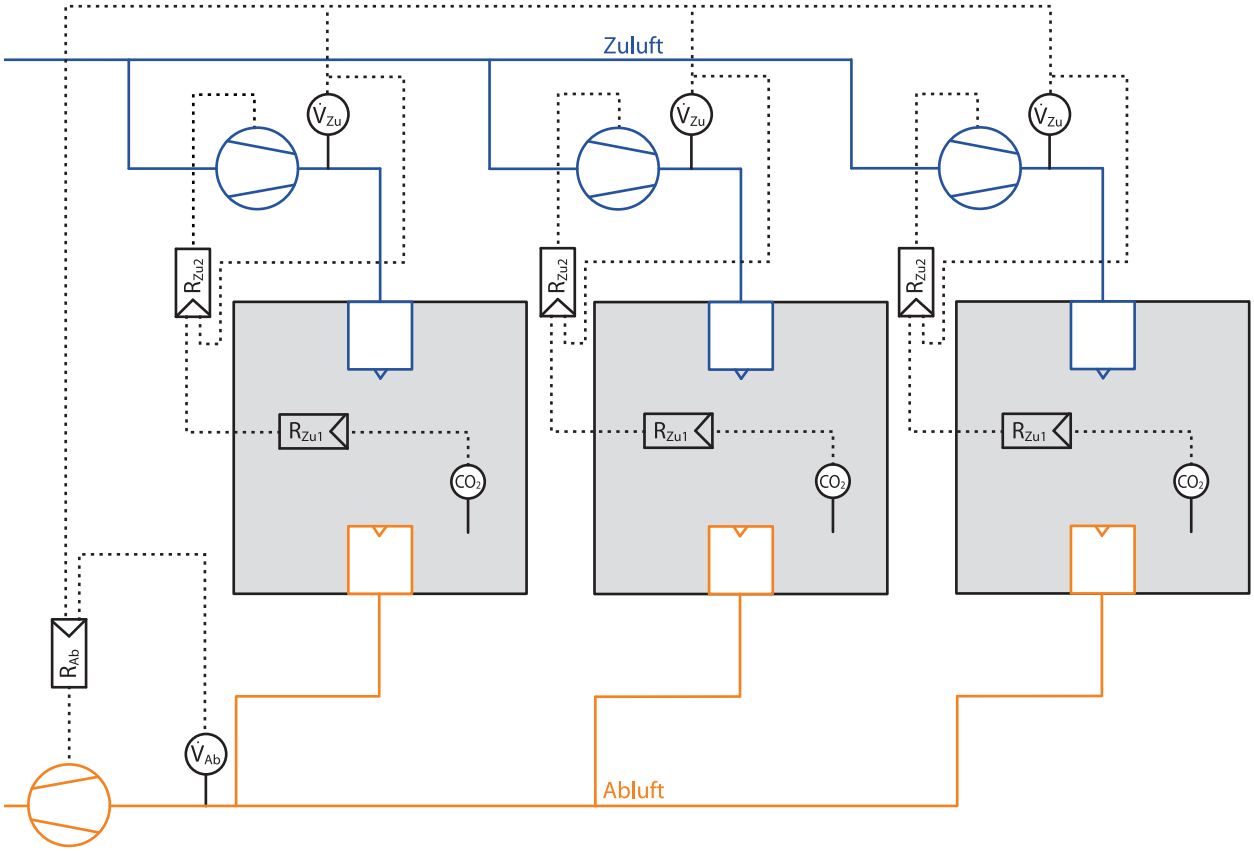

Abbildung 4.2: Einzelraumregelung mit strangweisem Abluftventilator

Die Zuluftseite entspricht der vollständigen Einzelraumregelung. Die Zuluftventilatoren gestatten eine bedarfsgerechte Versorgung der Räume mit Außenluft. Auf der Abluftseite ist lediglich ein dezentraler Ventilator installiert, welcher die verbrauchte Luft aus allen Räumen durch das Abluftkanalsystem fördert. Hierbei wird der Abluftventilator auf die Summe der zuluftseitigen Volumenströme eingeregelt, so dass die Gesamtluftbilanz ausgeglichen ist.

Vorteile	Reduktion der Investitionskosten gegenüber der vollständigen Einzelraumregelung aufgrund geringerer Anzahl an Abluftventilatoren
Nachteile	Je nach Belegungszustand können Differenzen beim Abgleich von Zu- und Abluftvolumenstrom für einzelne Räume auftreten. Diese fallen bei den Gesamtvolumenströmen nicht auf.
Einschränkungen	keine
Empfohlene Nutzung	Räume mit gleichen Nutzungszeiträumen und ähnlichen zeitlichen Verläufen der relativen Personenbelegung (i. d. R. gleiche Nutzung nach DIN V 18599 - 10)

4.3 | Einzelraumregelung mit Überströmung

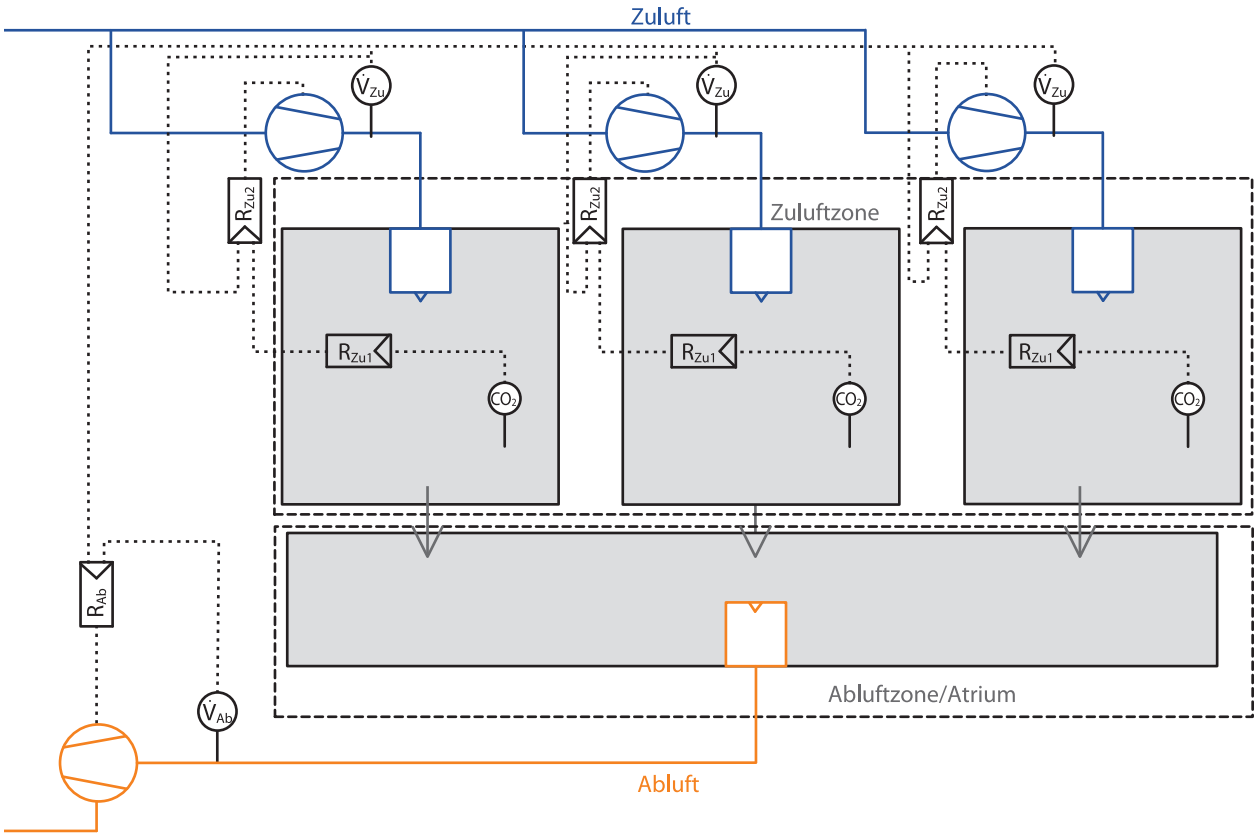

Abbildung 4.3: Einzelraumregelung mit Überströmung

Die Zuluftseite entspricht der Basisvariante. Die Zuluftventilatoren gestatten eine bedarfsgerechte Versorgung der Räume mit Außenluft. Auf der Abluftseite ist lediglich ein dezentraler Ventilator installiert, welcher die verbrauchte Luft aus einer separaten Zone saugt, so dass zwischen Zu- und Abluftzone eine Überströmung stattfindet. Der Abluftventilator wird auf die Summe der zuluftseitigen Volumenströme eingeregelt, so dass die Gesamtluftbilanz ausgeglichen ist.

Im Gegensatz zur „Einzelraumregelung mit strangweisem Abluftventilator" gibt es bei dieser Variante nur ein Abluftdurchlass. Es müssen Überströmöffnungen zwischen allen Räumen der Zuluftzone und der Abluftzone installiert werden. Diese stellen Strömungswiderstände dar, die bei der Auslegung beachtet werden müssen. Da die Flure oder Nebenräume mit der Abluft der Hauptnutzung belüftet werden, gibt es eine Mehrfachnutzung der Luft. Dies reduziert den gesamten erforderlichen Volumenstrom, was eine kleinere Dimensionierung der Anlage ermöglicht. Dabei sind die Klassifizierungen der Abluft nach DIN EN 13779 bzw. DIN EN 16798-3 zu beachten.

Vorteile	Reduktion der Investitionskosten gegenüber der vollständigen Einzelraumregelung aufgrund geringerer Anzahl an Abluftventilatoren. Mehrfachnutzung der Luft und damit geringerer Gesamtvolumenstrom.
Nachteile	Je nach Belegungszustand können Differenzen beim Abgleich von Zu- und Abluftvolumenstrom für einzelne Räume auftreten. Diese fallen bei den Gesamtvolumenströmen nicht auf.
Einschränkungen	keine
Empfohlene Nutzung	Räume mit gleichen Nutzungszeiträumen und ähnlichen zeitlichen Verläufen der relativen Personenbelegung (i. d. R. gleiche Nutzung nach DIN V 18599 - 10)

4.4 | Raumgruppenversorgung mit Schlechtraumregelung

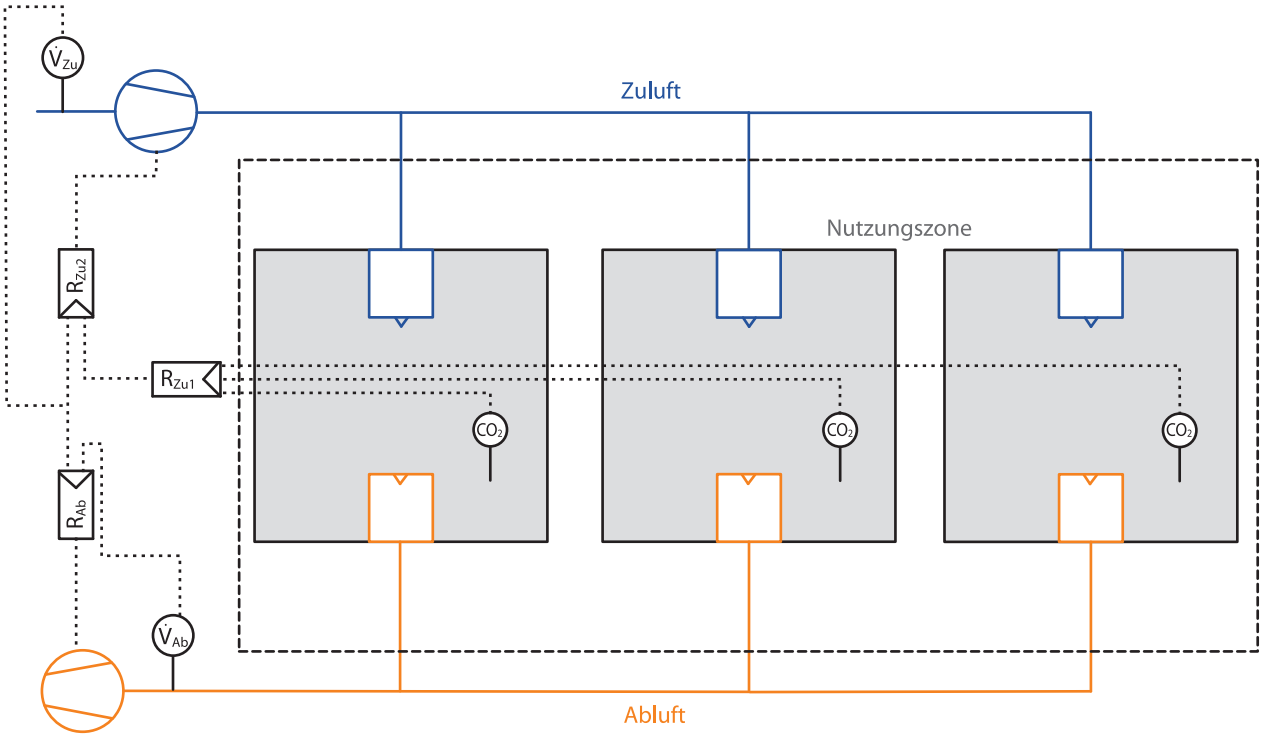

Abbildung 4.4: Raumgruppenversorgung mit Schlechtraumregelung

Im Unterschied zur Einzelraumregelung werden mehrere Räume zu einem Lüftungsbereich zusammengefasst und zu- als auch abluftseitig von nur einem dezentralen Ventilator versorgt. Jeder Raum des Lüftungsbereichs verfügt über einen CO_2-Sensor, welcher die entsprechende Regelgröße an den Regler übermittelt.

Dieser Regler bestimmt aus der größten Regeldifferenz aller angeschlossenen Räume einen Sollvolumenstrom und gibt diesen als Sollwert an den Regler des Zuluftventilators weiter. Der Betriebspunkt des gemeinsamen Zuluftventilators wird so eingestellt, dass im Raum mit der größten relativen Belegung der CO_2-Grenzwert nicht überschritten wird. Alle anderen Räume erhalten den gleichen Teillastvolumenstromanteil z. B. $\dot{V}_m / \dot{V}^* = 0{,}8$, auch wenn ihre Teilbelegung geringer ist. Somit tritt hier eine Überlüftung auf. Der Abluftventilator wird auf den Wert des Zuluftvolumenstroms geregelt.

Einschränkungen und empfohlene Nutzung

Untersuchungen in [Klimmt 2018] zeigen, dass die Schlechtraumregelung unabhängig von der Größe der Raumgruppe immer energetische Vorteile gegenüber der Konstant-Volumenstrom-Regelung hat. Wirtschaftlich ist die Schlechtraumregelung nach [Klimmt 2018], wenn beim Nennvolumenstrom mindestens fünf Personen pro Raum berücksichtigt werden und maximal drei Räume zusammengefasst werden.

Vorteile	Lüftungsbereiche aus mehreren kleinen Räumen werden wirtschaftlich versorgt, da Investitionskosten gegenüber der Einzelraumregelung aufgrund geringerer Anzahl an Zu- und Abluftventilatoren reduziert sind. Bessere Ventilatorwirkungsgrade durch höhere Nennvolumenströme der dezentralen Ventilatoren.
Nachteile	Überlüftung einzelner Räume und damit erhöhter Ventilatorstromverbrauch sowie ggf. Probleme mit zu geringer relativen Raumluftfeuchte im Winter.

4.5 | Systeme ohne Zentralventilator

Systeme ohne Zentralventilatoren sind denkbar wenn das Kanalnetz sehr kurz ist. Für ein solches System ergeben sich jedoch deutlich stärkere Wechselwirkungen zwischen den dezentralen Ventilatoren aufgrund von gemeinsam durchströmten Kanalabschnitten und den Druckverlusten der Zentrale. Ein weiterer Unterschied ist, dass die dezentralen Ventilatoren eine höhere Druckdifferenz aufbauen müssen, was sich auf den Betriebspunkt auswirkt. Dieses System sollte nur in Sonderfällen genutzt werden.

5 | Besonderheiten des dVt-Systems

Aufgrund der Platzierung der dezentralen Ventilatoren als aktive Komponenten im Kanalnetz ergeben sich eine Reihe von Besonderheiten, auf die im Weiteren kurz eingegangen wird.

5.1 | Hinweise zur Ventilatorauswahl

Die Zentralventilatoren müssen im dVt-System lediglich die Druckverluste der Lüftungszentrale überwinden und nicht die Druckverluste des Kanalnetzes. Aus diesem Grund können die Ventilatoren im Lüftungszentralgerät auf eine geringere Druckerhöhung ausgelegt werden.

Die dezentralen Ventilatoren haben typischerweise ebenfalls einen Betriebspunkt mit niedrigeren Druckerhöhungen, da sie ihrerseits nur die Druckerhöhung für das Kanalnetz aufbringen müssen.

Des Weiteren ist zu beachten, dass sich die Betriebspunkte der dezentralen Ventilatoren gegenseitig beeinflussen können. Entscheidend dafür sind Kanalabschnitte, durch die Luft von mehreren Ventilatoren gefördert wird. Diese strömungstechnisch relevanten

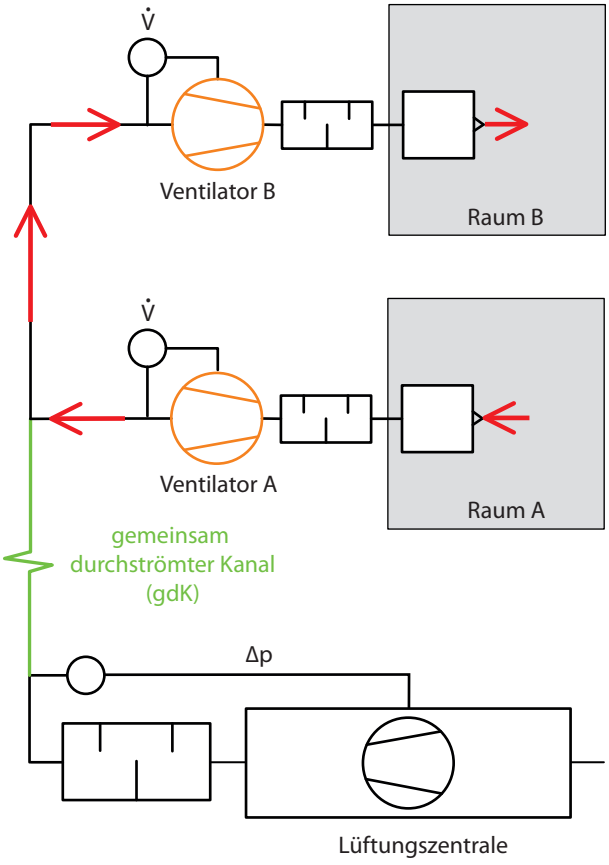

Abbildung 5.1: Abbildung zweier dezentraler Ventilatoren mit gemeinsam durchströmten Kanal

Abschnitte werden im Weiteren als „gemeinsam durchströmter Kanal (gdK)" bezeichnet. Aufgrund des gdK ergeben sich für die Ventilatoren variable Betriebskennlinien, die von einer rein quadratischen Anlagenkennlinie abweichen. Die Veränderung hängt von den Teillastzuständen der Ventilatoren ab. Werden zwei parallel betriebene Ventilatoren betrachtet, die einen gemeinsamen durchströmten Kanalabschnitt (gdK) haben (Abbildung 5.1), ergibt sich für Ventilator A folgende Beeinflussung (siehe Abbildung 5.3 und 5.4) :

- Teillastzustand von Ventilator B **geringer** als von A
  → Druckerhöhung von Ventilator A geringer als bei rein quadratischer Anlagenkennlinie.
- Teillastzustand von Ventilator B **größer** als von A
  → Druckerhöhung von Ventilator A größer als bei rein quadratischer Anlagenkennlinie.

Wie stark die Abweichungen von der quadratischen Kennlinie sind, hängt von den Ausprägungen des gemeinsam durchströmten Kanals ab. Je größer die Druckverluste des gemeinsam durchströmten Kanals am gesamten Druckverlust des Ventilators und je höher die Unterschiede im Teillastzustand sind, desto stärker ist die gegenseitige Beeinflussung.

Für die erzielbare Energieeinsparung ist die Veränderung der Betriebskennlinie nicht relevant, da einer Erhöhung der Druckverluste bei einem Ventilator immer eine Reduktion bei einem anderen Ventilator gegenübersteht. Die variablen Betriebskennlinien haben aber wichtige Konsequenzen für die Ventilatorauswahl.

5.1.1 | Axialventilator

Der bevorzugte Einsatzbereich von Axialventilatoren liegt bei großen Volumenströmen und kleinen Druckerhöhungen. Damit passen sie gut zu den benötigten Betriebspunkten für die dezentralen Ventilatoren. Zudem haben sie einen geringen Platzbedarf und lassen sich gut in Rohrleitungen integrieren.

Nachteilig für die Nutzung als dezentrale Ventilatoren ist jedoch, dass es instabile Bereiche im Kennlinienfeld gibt. Hier ist es nicht möglich, jeder Druckerhöhung einen eindeutigen Volumenstrom zuzuordnen. Ein Betrieb des Ventilators in diesem Bereich ist zu vermeiden, da sich aufgrund des Strömungsabrisses der Wirkungsgrad deutlich verschlechtert, die Geräuschemissionen zunehmen und ein Ventilatorschwingen auftreten kann.

Der instabile Bereich ist im Kennlinienfeld eines Axialventilators aus Abbildung 5.3 zu erkennen. Die rote durchgezogene Grenzkennlinie trennt den stabilen

(rechts) und instabilen (links) Bereich. Die grüne Linie entspricht einer üblichen quadratischen Betriebskennlinie ohne Beeinflussung durch einen gemeinsam durchströmten Kanal. Die obere graue Linie zeigt die Beeinflussung des hier betrachteten Ventilators durch einen zweiten parallelen Ventilator der im Auslegungspunkt betrieben wird, wenn beide Ventilatoren einen gemeinsam durchströmten Kanalabschnitt haben.

Vor dem Hintergrund der oben beschriebenen veränderlichen und nicht quadratischen Anlagenkennlinien bei parallel betriebenen Ventilatoren, muss der Einsatz von Axialventilatoren im dVt-System einschränkt werden. Axialventilatoren können nach derzeitigem Kenntnisstand im dVt-System nur für folgende Anwendungen eingesetzt werden:

- Als Ventilatoren in der RLT-Zentrale, die den Vordruck von 0 Pa sicherstellen.
- Als dezentrale Ventilatoren für Lüftungsbereiche, die mit konstantem Volumenstrom versorgt werden.
- Als dezentrale Ventilatoren bei sternförmiger Luftverteilung ausgehend vom Vordrucksensor.

5.1.2 | Radialventilator

Bei Radialventilatoren sind die aus der gegenseitigen Beeinflussung entstehenden variablen Betriebskennlinien kein Problem, da das Kennlinienfeld in allen Bereichen stabil ist.

Ein Beispiel für das Kennlinienfeld eines Radialventilators sowie für einen möglichen Betriebsbereich des dezentralen Venntilators zeigt Abbildung 5.4. Radialventilatoren haben weiter den Vorteil der geringeren Geräuschentwicklung. Andererseits muss auf Grund der Strömungsumlenkung mit einem erhöhten Platzbedarf gerechnet werden und die Druckverluste können sich durch die Einbausituation des Ventilators erhöhen.

5.1.3 | Ventilatordimensionierung

Für die Dimensionierung der dezentralen Ventilatoren ist es notwendig, eine Druckverlustberechnung für alle Stränge durchzuführen, um die Betriebspunkte der Ventilatoren zu ermitteln.

Der Auslegungspunkt des Ventilators sollte einen möglichst hohen Wirkungsgrad haben, um einen energieeffizienten Betrieb zu gewährleisten. Außerdem sollte der Ventilator so gewählt werden, dass ein möglichst großer Regelbereich des Ventilators genutzt werden kann. Der Regelbereich des Ventilators wird durch Maximal- und Minimaldrehzahl begrenzt.

Je näher die Auslegungsdrehzahl an der Maximaldrehzahl des Ventilators liegt, desto größer sind der zur Verfügung stehende Regelbereich und der Auslegungswirkungsgrad. Bei einer zu geringen Auslegungsdrehzahl können ggf. nicht alle notwendigen Teillastfälle vom ausgewählten Ventilator abgedeckt werden. Es wird somit empfohlen, mit möglichst geringen Sicherheitszuschlägen bzw. Überdimensionierungen zu arbeiten.

Sollte kein passender Ventilator auf dem Markt erhältlich sein, können Ventilatoren auch parallel geschaltet werden (siehe Abbildung 5.2). Der parallele Einbau von Ventilatoren sorgt dafür, dass sich die Volumenströme aufaddieren und die Druckerhöhung konstant bleibt.

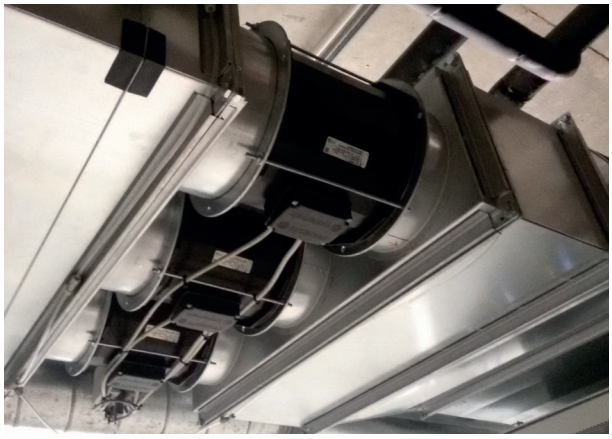

Abbildung 5.2: Einbausituation von 3 parallelen dezentralen Axialventilatoren

5.2 | Fehlströmung

Fehlströmung beschreibt eine ungewollte Strömungsumkehr in einem Kanalabschnitt. Hierdurch kann es zu Geruchs- oder Schadstoffübertragungen zwischen Räumen kommen.

Fehlströmung kann beim dVt-System theoretisch entstehen, da Ventilatoren mit gemeinsam durchströmten Kanalabschnitten parallel betriebenen werden. Die Fehlströmung wird jedoch bei allen in Kapitel 4 vorgestellten Anlagenkonzepten sicher durch die Ventilatorregelung verhindert, da der Volumenstrom je Ventilator gemessen und durch die Regelung auf dem Sollwert gehalten wird.

Bei unterschiedlichen Nutzungszeiten kann ein nicht genutzter Raum durch eine dichtschließende Klappe

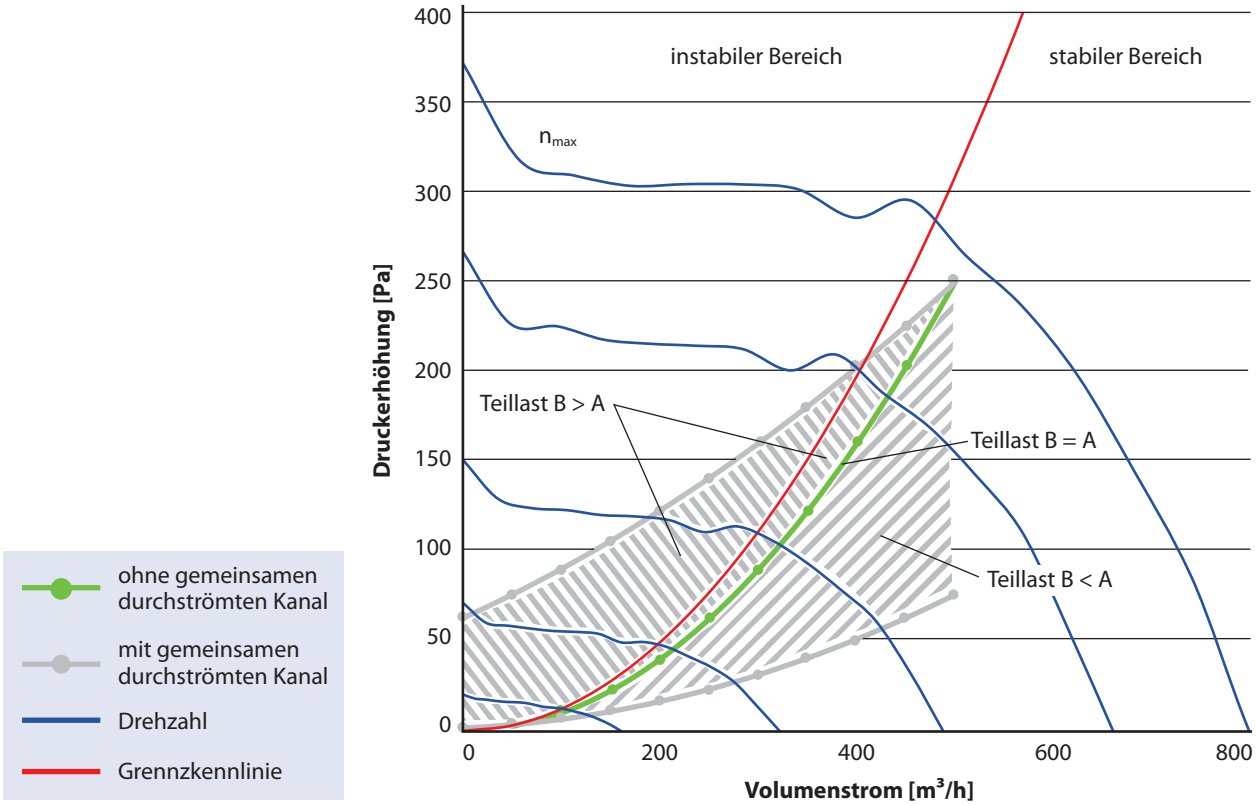

Abbildung 5.3: Beeinflussung des Betriebsbereichs eines Ventilators (A) durch parallel betriebene Ventilatoren (B) im Kennfeld eines Axialventilators.

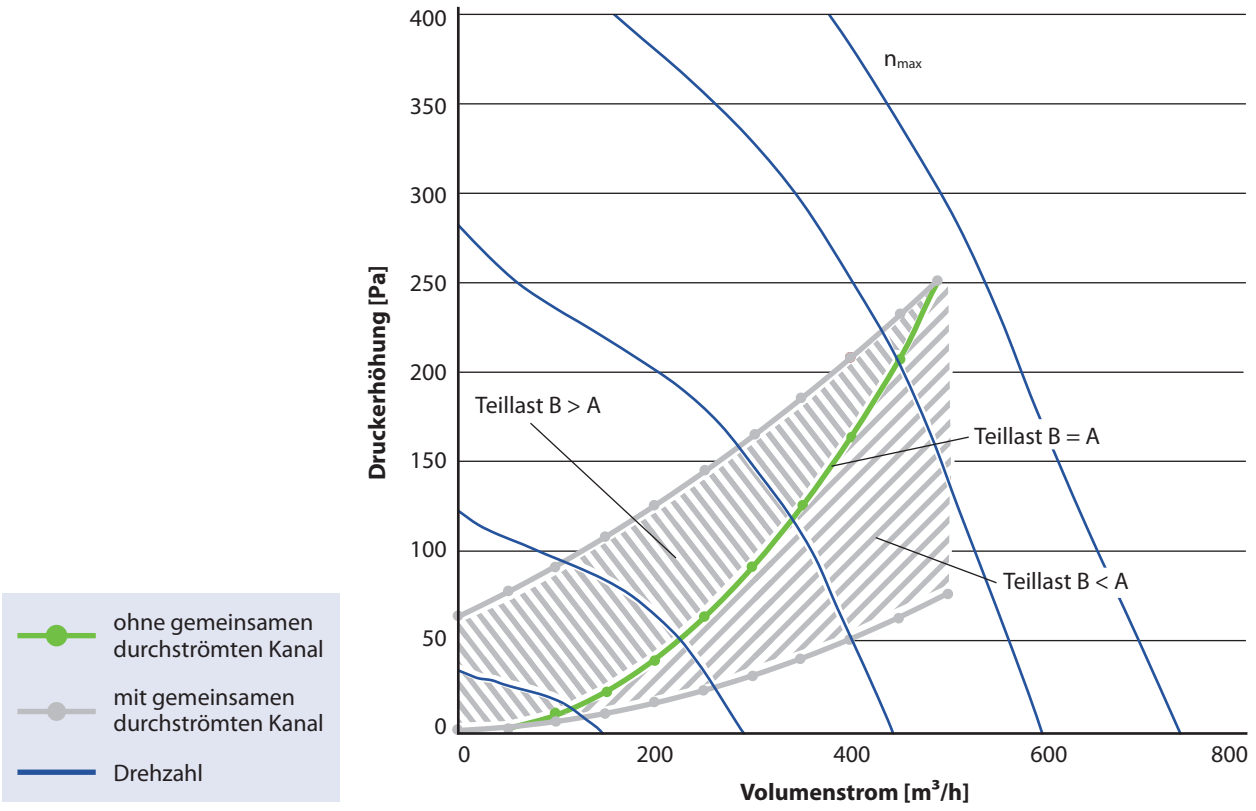

Abbildung 5.4: Beeinflussung des Betriebsbereichs eines Ventilators (A) durch parallel betriebene Ventilatoren (B) im Kennfeld eines Radialventilators.

abgetrennt und so Fehlströmung vermieden werden. Da motorisch betriebene und gesteuerte Absperrklappen jedoch zusätzliche Investitionskosten erzeugen, ist die Fehlströmungsvermeidung über die Ventilatorregelung für diesen Fall eine interessante Option. Außerhalb der Nutzungszeit kann diese Fehlströmungsvermeidungsstrategie auch angewendet werden. Da dies die Aufrechterhaltung eines geringen Volumenstrom erfordert, kann vor Beginn der nächsten Nutzungszeit ggf. auf eine Vorspülung verzichtet werden.

5.3 | Drucksituation/Leckagevolumenströme

In einem konventionellen Lüftungssystem (VSR etc.) gibt es auf der Saugseite des Zentralventilators einen Unterdruckbereich und einen Überdruckbereich auf der Druckseite des Ventilators. Entsprechend verhält es sich auf der Abluftseite (siehe Abbildung 5.5).

Demgegenüber entstehen im dVt-System durch die Reihenschaltung von Ventilatoren neue Drucksituationen. Auf der Zu- wie Abluftseite existieren jeweils zwei Unter- und Überdruckbereiche, die durch den Drucksensor getrennt werden (siehe Abbildung 5.6). Dieser neue Druckverlauf reduziert einerseits die Leckagevolumenströme im Kanalnetz, hat aber andererseits hygienische Auswirkungen.

Unter hygienischen Gesichtspunkten besonders zu beachten sind zum einen zuluftseitige Kanalabschnitte mit Unterdruck, da hier im Falle von Leckagen verunreinigte Luft aus dem Gebäude in die Zuluft gelangen kann. Abluftseitig sind Kanalabschnitte mit Überdruck relevant, da hier über Leckagen verunreinigte Abluft entweichen kann.

Die [DIN EN 13779] empfiehlt unter hygienischen Aspekten, dass Abluftleitungen in der Regel mit Unterdruck betrieben werden sollen. Unter den Voraussetzungen, dass die Abluft der Kategorie ETA 1 (geringer Verunreinigungsgrad) oder ETA 2 (mäßiger Verunreinigungsgrad) angehört, die Dichtheit der Leitungen der Klasse C nach [DIN EN 12237] und keine Zuluftkanäle im selben Schacht mit Unterdruck betrieben werden, darf die Abluft laut [DIN EN 13779] auch mit Überdruck befördert werden. Höher verunreinigte Abluft (ETA 3) sollte nicht mit Überdruck geführt werden. Dies betrifft z. B. Toilettenabluft.

Diese normativen Anforderungen beziehen sich auf konventionelle Lüftungsanlagen mit hohen Druckdifferenzen im Kanalnetz und treffen für das dVt-System nur bedingt zu. Bei Wickelfalz-Lüftungsrohren und Formstücken mit Lippendichtungen (übliche Bauweise in der Gebäudetechnik) wird bereits standardmäßig die höchste Dichtheitsklasse D erreicht. Die vorgenannte Einschränkung der [DIN EN 13779] – keine Unterdruck-Zuluftleitungen im selben Installationsschacht – lässt sich für Abluft der Kategorien ETA 1 und ETA 2 (Abluft nicht aus Räumen, in denen Rauchen gestattet ist) bei gesicherter Dichtheitsklasse D relativieren und ist durch die Baupraxis längst bestätigt.

[DIN EN 13779] sowie [DIN EN 16798-3] erlauben zudem bei der Abluftkategorie ETA 1 Umluft- und Überströmung zu nutzen. Da in dem Fall große Mengen an Abluft als Zuluft verwendet werden, relativiert sich die o.g. Einschränkung der [DIN EN 13779] abermals. Stärker als ETA 2 verunreinigte Abluft sollte beim dVt-System ohnehin über ein gesondertes Abluftnetz gefördert werden.

Ein Vorteil des dVt-System sind die geringeren Leckagevolumenströme, die sich aufgrund der geringeren Über- und Unterdrücke im Kanalnetz ergeben. Hierdurch sinkt der zusätzliche Volumenstrom, der von den Ventilatoren zur Kompensation der Leckagen zu fördern ist und damit der Ventilatorstromverbrauch. Dieser energetische Vorteil ist in der Bewertung von Kapitel 2 noch nicht enthalten.

5.4 | Schall

Da beim dVt-System die dezentralen Ventilatoren näher an die Räume heranrücken, ist den Schallemissionen hier besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Solange noch keine abgestimmten Systeme auf dem Markt erhältlich sind, ist in jedem Fall eine individuelle Abstimmung der Schalldämmwerte und Schalldämpfer zum raumseitigen Luftweg notwendig.

Positiv wirkt sich beim dVt-System aus, dass die höchsten Schallemissionen bei Volllast auftreten und bei Teillast abnehmen. Dies ist günstig, da sich der Geräuschpegel durch anwesende Personen bei vielen Nutzungen in gleicher Weise entwickelt und Teillastzustände bei bedarfsabhängiger Belüftung die überwiegenden Betriebszustände sind. Beim VSR-System nehmen die Schallemissionen hingegen in Teillastzuständen zu, da die Klappen der Volumenstromregler stärker abdrosseln.

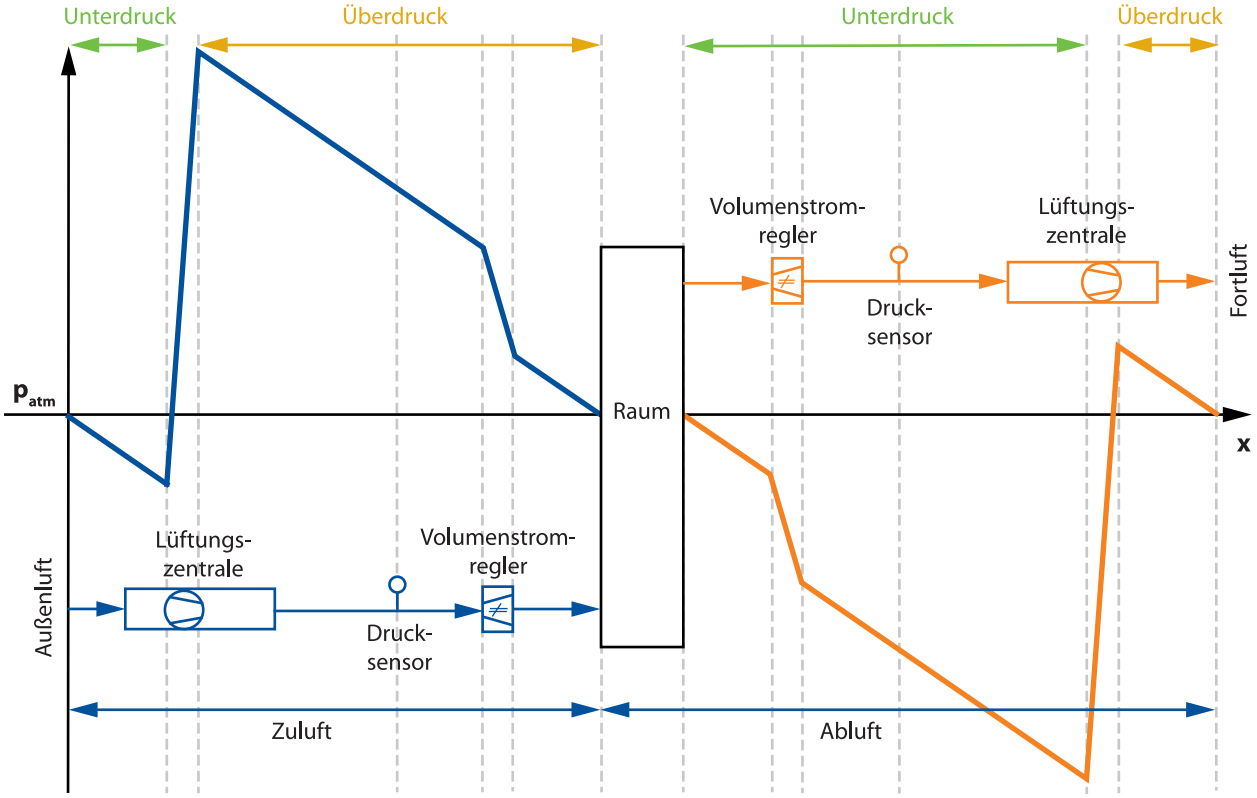

Abbildung 5.5: Prinzipieller Druckverlauf im Lüftungskanal beim VSR-System

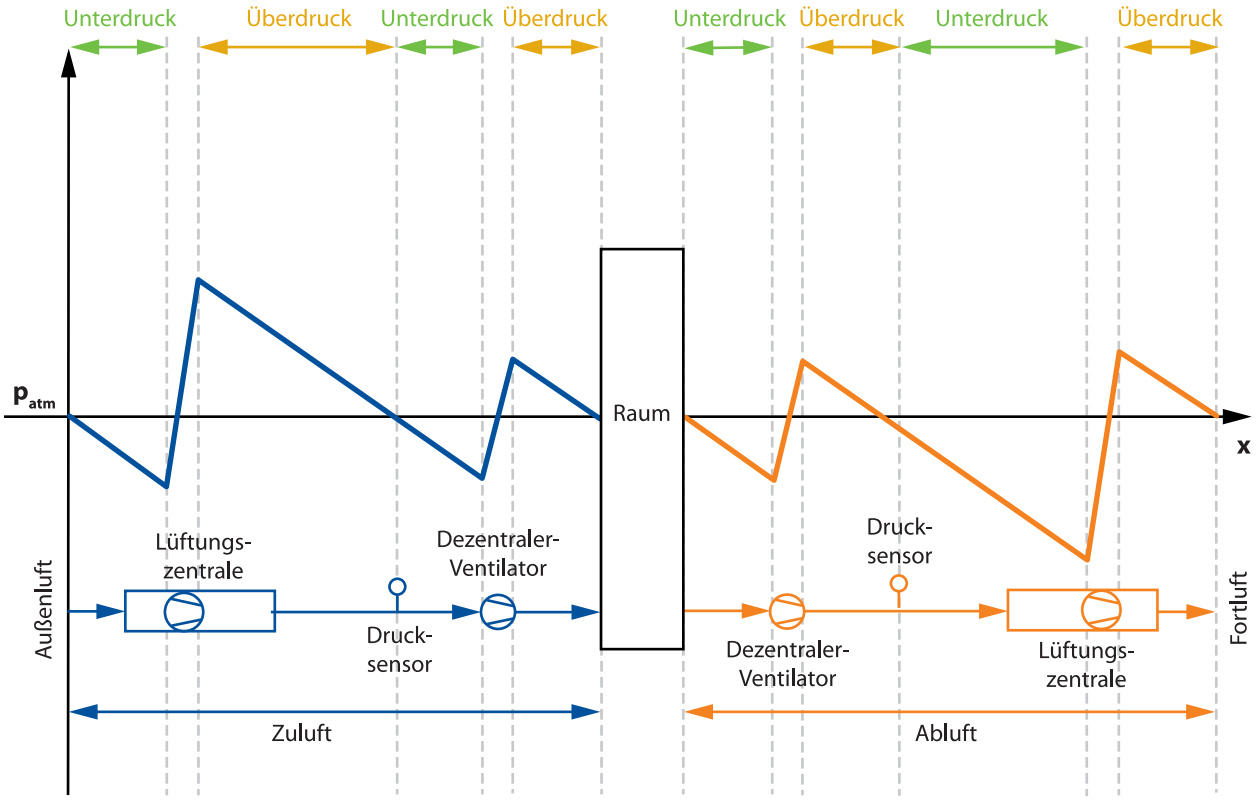

Abbildung 5.6: Prinzipieller Druckverlauf im Lüftungskanal beim dVt-System

5.5 | Räume mit hohem Luftbedarf nahe der RLT-Anlage

Häufig werden RLT-Zentralen in der Nähe von Bereichen mit hohen Volumenstromanforderungen platziert (z. B. Restaurant, Veranstaltungsraum, Hörsaal, ...), um den Platzbedarf für die Lüftungskanäle zu reduzieren. Diese Nutzungsbereiche haben häufig einen hohen Teillastanteil. Weitere Nutzungen wie z. B. Büros mit geringerem Luftbedarf liegen entsprechend weiter entfernt von der RLT-Zentrale.

Das dVt-System hat bei dieser in der Praxis häufig auftretenden Situation besondere Vorteile. Einerseits ergibt sich eine besonders hohe Energieeinsparung, da beim VSR-System starke Abdrosselungen bei den nahegelegenen Lüftungsbereichen mit hohen Volumenstromanforderungen notwendig sind. Andererseits hat das dVt-System schalltechnische Vorteile, da die starke Abdrosselung zum Rauschen oder sogar Pfeifen der Volumenstromregler führen kann.

5.6 | Luftheizung bzw. Luftkühlung

In diesem Leitfaden wird davon ausgegangen, dass sich der Luftvolumenstrom eines Raumes nach dem hygienischen Bedarf richtet, der z. B. über eine CO_2-Messung ermittelt wird. Sollen die Räume über die RLT-Anlage geheizt oder gekühlt werden, sind alle Lösungen des VSR-Systems auch beim dVt-System anwendbar:

- Es können raumweise Nachheiz-/Nachkühlregister vorgesehen und Zulufttemperatur und Volumenstrom entsprechend dem thermischen Raumbedarf geregelt werden.
- Es können Induktionsauslässe mit den entsprechenden Heiz- und Kühlmöglichkeiten zum Einsatz kommen. Wird der dezentrale Ventilator am oder im Raum platziert, könnte der Umluftanteil auf der Saugseite des Ventilators zugemischt werden, was regelungstechnisch vorteilhaft sein kann. Hierzu sind jedoch Neuentwicklungen notwendig.

5.7 | Einsatz des dVt-Systems bei der Bestandsmodernisierung

Das dVt-System ist sowohl im Neubau als auch bei der Bestandsmodernisierung einsetzbar. Bei der Bestandsmodernisierung müssen alle Regelorgane (Volumenstromregler) durch dezentrale Ventilatoren ausgetauscht werden. Dabei ist ein ggf. höherer Platzbedarf der Radialventilatoren zu bedenken. Für die Volumenstrommessungen sind entsprechende Beruhigungsstrecken vorzusehen.

Voraussetzung für den Einbau der dezentralen Ventilatoren ist, dass die Druckverluste und die Volumenströme in allen Strängen und damit die Auslegungspunkte für die dezentralen Ventilatoren bekannt sind. Die Druckverluste können einerseits berechnet, andererseits bei Bestandsanlagen aber auch über Messungen ermittelt werden. Es ist zu beachten, dass erforderliche Volumenstromanpassungen vor den Messungen erfolgen müssen. Gemessen werden sollte der Vordruck am Drucksensor sowie die Drosselung des Volumenstromreglers, jeweils für den ggf. angepassten Nennvolumenstrom. Die Differenz ist der Druckverlust des Stranges, auf den der dezentrale Ventilator auszulegen ist.

Eine zentrale Gebäudeleittechnik ist beim dVt-System zwar hilfreich aber nicht unbedingt erforderlich. Ist keine GLT vorhanden, erfolgt die Kommunikation zum Abgleich von Zu- und Abluftvolumenstrom direkt zwischen den jeweiligen Ventilatoren (siehe auch Kapitel 7.1), d. h. dezentral für einzelne Räume oder Raumgruppen.

Eine erste Umsetzung im Bestand stellt die Ausrüstung des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen (ZUB) der Universität Kassel mit dem dVt-System dar. Aufgrund des vorliegenden Kanalnetzes konnten die Umbauten hier vollständig in der Lüftungszentrale erfolgen, so dass die Eingriffe in das Kanalnetz gering waren.

5.8 | Betriebserfahrungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes (siehe Kapitel 1) wurde das dVt-System an einem Lüftungsversuchsstand (siehe Abbildung 5.7) für unterschiedliche Betriebssituationen unter Laborbedingungen getestet [Alsen 2017]. Erste reale Betriebserfahrungen gibt es aus dem Zentrum für Umweltbewusstes Bauen (ZUB) in Kassel (siehe Abbildung 5.8), wo das dVt-System im Rahmen des Forschungsprojektes eingebaut wurde (siehe Abbildung 9.6). Das Betriebsverhalten wird seit Sommer 2017 messtechnisch analysiert. Die bisherigen Erfahrungen sind positiv. Das dVt-System weist ein robustes und fehlerfreies Betriebsverhalten auf. Die Energieeinsparung gegenüber der Bestandsanlage beträgt ca. 30 % und entspricht damit den Erwartungen.

Abbildung 5.7: Lüftungsversuchsstand am Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung der Universität Kassel (links das modulare Zentralgerät, rechts die versorgten Testräume).

Abbildung 5.8: Zentrum für Umweltbewusstes Bauen (ZUB) Kassel

6 | Hinweise zu Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten

Da das dVt-System bisher nur im Pilotstadium umgesetzt wurde, sind verlässliche Kostenaussagen nicht möglich. Sollte sich das dVt-System in der Praxis verbreiten, werden sich abgestimmte Lösungen am Markt etablieren. Diese werden voraussichtlich geringere Kosten als die Summe der Einzelkomponenten aufweisen. Aufgrund dieser Unsicherheiten werden im Weiteren nur Tendenzen angegeben, die im Einzelfall konkretisiert werden müssen.

6.1 | Investitionskosten

Die Anlagenkomponenten und damit die Investitionskosten von dVt-Systemen unterscheiden sich nur geringfügig von herkömmlichen VSR-Systemen. Der wichtigste Unterschied ist der Einbau von Ventilatoren anstelle der Volumenstromregler. Kostenunterschiede ergeben sich typischerweise bei folgenden Punkten:

- Dezentrale Ventilatoren statt Volumenstromregler:
  Hier ist derzeit mit geringen Mehrkosten zu rechnen. Zwar sind die dezentralen Ventilatoren zunächst günstiger als Volumenstromregler. Werden die Volumenstrommessung, die Regelung und ggf. die Kommunikationsschnittstelle mit der GLT berücksichtigt, können die Gesamtkosten jedoch höher liegen.
- Schalldämpfer:
  Da die Schallemissionen bei Nennbetrieb für die dezentralen Ventilatoren i. d. R. höher sind als bei Volumenstromreglern, können sich je nach Einbausituation beim dVt-System zusätzliche Kosten für Schalldämpfer ergeben.
- Absperrklappen:
  Wird die Fehlströmung außerhalb der Nutzungszeit nicht durch die Ventilatorregelung, sondern über motorisch betriebene Absperrklappen realisiert (siehe 5.2), ergeben sich entsprechende Mehrkosten beim dVt-System. Diese wirken sich insbesondere bei Räumen mit geringem Nennvolumenstrom signifikant auf die Wirtschaftlichkeit aus.

6.2 | Wartungs- und Instandhaltungskosten

Aufgrund des weitgehend gleichen Aufbaus ergeben sich bei den Wartungskosten keine prinzipiellen Unterschiede zwischen dem dVt- und dem VSR-System. Beide Systeme müssen regelmäßig gewartet werden. Zur Wartung der Anlage gehört eine Funktionsprüfung der Anlagentechnik und die Reinigung von möglichen Verschmutzungen. Die Zuluftstränge sind infolge der standardmäßig vorhandenen Filter in der Lüftungszentrale üblicherweise sauber und weitestgehend frei von Staubablagerungen. Bei der Abluft empfiehlt sich das dVt-System für Abluft der Kategorie ETA 1 und ETA 2. Auch im Abluftweg ist daher die Verschmutzungsrate i. d. R. gering. Die Instandhaltungskosten sind ebenfalls vergleichbar, da die Lebensdauererwartung bei Ventilatoren und Volumenstromreglern vergleichbar sind.

6.3 | Energiekosten

Die Energiekosten für den Ventilatorstrom sind beim dVt-System geringer, da die Drosselung vermieden wird. Die Energieeinsparung gegenüber dem Volumenstromreglersystem mit konstantem Vordruck wird in Kapitel 2 erläutert. Sie liegt je nach Nutzung zwischen 10 % und 50 % (siehe Abbildung 2.4).

7 | Weitere effiziente Systeme zur bedarfsabhängigen Lüftung

Neben dem dVt-System existieren weitere Ansätze zur Effizienzsteigerung bei bedarfsabhängigen Lüftungssystemen. Diese werden kurz vorgestellt und im Vergleich zum dVt-System diskutiert.

7.1 | Volumenstromregler mit variablem Vordruck

Eine Weiterentwicklung des VSR-Systems (siehe Kapitel 2) ist das System mit Volumenstromreglern und variablem Vordruck (VSR_{var}). Beim VSR_{var} wird die Klappenstellung der Volumenstromregler über eine GLT an die Zentralventilatoren übermittelt, welche dann den Vordruck so anpassen, dass die Klappe im Schlechtstrang z. B. zu 90 % geöffnet ist. Liegt im Schlechtstrang ein Teillastfall vor, kann somit der Vordruck reduziert werden. Bei dieser Regelung können die Drosselvorgänge (siehe Abbildung 2.2) im Teillastfall reduziert und damit die Energieeffizienz gegenüber dem VSR-System gesteigert werden.

Die **Vorteile** des VSR_{var}-Systems gegenüben dem dVt-System sind:

- Kostengünstiger:
  wenn eine GLT mit entsprechend hoher Vernetzung ohnehin vorhanden ist.
- Strömungstechnisch einfacher:
  da keine Parallelschaltung von Ventilatoren zu beachten ist.

Die **Nachteile** im Vergleich zum dVt-System sind:

- Geringere Energieeinsparung:
  Da beim VSR_{var} noch eine Drosselung vorhanden ist (Ausnahme: RLT-Anlage versorgt nur einen Raum), kann nur ein Teil der Energieeinsparung des dVt-Systems erzielt werden.
- Höhere Anforderung an die regelungstechnische Vernetzung:
  Beim VSR_{var} ist eine Kommunikation zwischen allen Volumenstromreglern über eine GLT notwendig (Klappenwinkel). Eine GLT ist entsprechend zwangsläufig erforderlich, was bei der Bestandsmodernisierung einen hohen Nachrüstaufwand bedeuten kann. Das dVt-System kann auch ohne GLT realisiert werden, da eine Kommunikation nur zwischen Zuluftventilator und zugehörigem Abluftventilator erforderlich ist.
- Weniger robust:
  Das VSR_{var} –System funktioniert nur als Gesamtsystem, da es auf die korrekte Rückmeldung und Beeinflussung aller Klappenwinkel angewiesen ist. Damit können defekte Komponenten, Fehler in der Datenkommunikation oder Fehler in der Regelung einzelner Komponenten zu einem Fehlverhalten des Gesamtsystems führen. Das dVt-System ist robuster, da hier Fehler auf den jeweils vom dezentralen Ventilator versorgten Bereich begrenzt bleiben.

7.2 | Dezentrale raumweise Lüftungssysteme

Neben den hier betrachteten zentralen RLT-Anlagen können natürlich auch raumweise dezentrale Lüftungssysteme eingesetzt werden. Diese werden häufig in die Außenwand integriert. Da auf ein Kanalnetz weitgehend verzichtet werden kann und i. d. R. das Lüftungssystem einem Raum zugeordnet ist, kann eine bedarfsabhängige Lüftung energieeffizient realisiert werden.

Nach Untersuchungen aus [Alsen 2017] ist ein zentraler Punkt für die Wirtschaftlichkeit dieses Systems, dass komplett auf ein zentrales Lüftungssystem verzichtet werden kann, d.h. keine innenliegenden Räume vorhanden sind. Eine Herausforderung ist der zusätzliche Platzbedarf im Raum für das Lüftungsgerät sowie der erhöhte Wartungsaufwand aufgrund der Vielzahl der zu wartenden Einheiten. Die Wartung muss jedoch konsequent durchgeführt und von den Nutzern akzeptiert werden.

8 | Weiterentwicklungen beim dVt-System

In dem Forschungsprojekt konnten wichtige theoretische Grundlagen für das dVt-System erarbeitet, die Einsatzrandbedingungen aufgezeigt und die prinzipielle Praxistauglichkeit an der Umsetzung im Zentrum für Umweltbewusstes Bauen in Kassel demonstriert werden. Es zeigt sich, dass die Umsetzung des dVt-Systems prinzipiell mit am Markt verfügbaren Techniken möglich ist. Für die Anwendung in der Breite sind jedoch Weiterentwicklungen sinnvoll und wünschenswert.

Sinnvolle und wünschenswerte Weiterentwicklungen sind:

- Anbieten von dVt-Produktlinien mit abgestimmten Komponenten sowie entsprechenden Planungshilfen. Hierdurch wird der Planungsaufwand gesenkt sowie Planungsfehler reduziert.
- Anpassen und optimieren der Betriebspunkte und Wirkungsgrade der Ventilatoren für den Einsatz im dVt-System.
- Implementierung der Regelstrategien für das dVt-System in unterschiedlichen GLT-Systemen. In dem Zuge wäre auch die Entwicklung von selbstadaptierenden Regelungen, Möglichkeiten zum Betriebsmonitoring sowie die automatische Betriebspunkt- und Fehlererkennung zu analysieren.
- Erstellen von vorgefertigten dVt-Ventilatorboxen, die alle Komponenten für eine Einzelraumversorgung enthalten und so die einfache Umsetzung bei Neubauten und insbesondere bei Bestandsmodernisierung ermöglichen.

Zudem sollten die Umsetzung des dVt-Systems an mehreren Modellprojekten demonstriert und die Erfahrungen dokumentiert werden, z. B. auch in überarbeiteten Version dieses Planungsleitfadens.

9 | Beispiele

In [Alsen 2017] wird die Umsetzung des dVt-Systems für drei Büro- und Verwaltungsgebäude sowie das Zentrum für Umweltbewusstes Bauen (ZUB) auf theoretischer Ebene untersucht.

Bei allen Gebäuden sind die Hauptnutzungsarten einerseits Büronutzungen und andererseits Besprechungs-, Sitzungs-, Seminar- oder Hörsaalnutzungen. In Bezug auf das Lüftungskonzept stellt dies eine wichtige Unterscheidung dar, da es bei Einzel- und Gruppenbüros i. d. R. nicht wirtschaftlich ist, eine bedarfsgerechte Einzelraumregelung zu installieren (siehe Abbildung 3.1). Diese Nutzungsarten werden daher in nachfolgenden Betrachtungen als Konstantvolumenstrom-System (KVS) ausgeführt. Besprechungs-, Sitzungs-, Seminar- oder Hörsaalnutzungen werden dagegen mit einer bedarfsabhängigen CO_2-geführten Einzelraumregelung ausgerüstet.

Der Anteil der bedarfsabhängig (VVS) belüfteten Fläche liegt bei den o. g. exemplarischen Büro- und Verwaltungsgebäuden lediglich bei 10 % bis 24 %. Der Rest sind Büroflächen, Verkehrsflächen (sofern belüftet) und sonstige konstant belüftete Räume. Betrachtet man dagegen den Anteil des Auslegungsvolumens, der bedarfsabhängig betrieben wird, liegt der Anteil bei 46 % bis 78 % (siehe Abbildung 9.2). Ein Variabel-Volumenstrom-System ist daher für diese Gebäude vorteilhaft.

Nach dieser Maßgabe wurde für jedes Beispielgebäude über eine grobe Lüftungsplanung ermittelt, an welcher Stelle im Kanalnetz dezentrale Ventilatoren eingebaut werden müssten, um die entsprechenden Lüftungszonen zu versorgen. Daraus wurden die in 9.2 dargestellten Strangschemata abgeleitet, nach denen die energetische Bewertung durchgeführt wird.

Tabelle 4.1: Parameter der Beispielgebäude

Gebäude	Baujahr	Belüftete Fläche
Landgericht	1881 mit Anbau von 1954	2.599 m²
Amtsgebäude	1962	3.409 m²
Verwaltungsgebäude	1966	1.482 m²
Zentrum für Umweltbewusstes Bauen	2001	853 m²

9.1 | Endenergiebedarf

Die nachfolgende Abbildung 9.2 zeigt die elektrischen Energiebedarfskennwerte der vier Beispielgebäude. Neben den bisher diskutierten VSR- und dVt-System wird als Argumentationshilfe auch der Fall gezeigt, dass das gesamte Gebäude mit konstantem Volumenstrom mit einem KVS-System belüftet wird.

- Es zeigt sich eine große Einsparung beim Übergang von KVS zu Systemen mit bedarfsabhängigem Volumenstrom. Der elektrische Endenergiebedarfskennwert reduziert sich um 43 % bis 70 %. Aufgrund dieser deutlichen Energieeinsparung ist die bedarfsabhängige Lüftung nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) bei Einbau oder Erneuerung von Lüftungsanlagen gesetzlich gefordert, wenn der Zuluftvolumenstrom der Anlagen bei Auslegung wenigstens 4000 m^3/h beträgt und je Quadratmeter versorgter Nettogrundfläche 9 m^3/h überschreitet (EnEV 2016, §15).
- Durch das dVt-System kann in den exemplarisch untersuchten Büro- und Verwaltungsgebäuden gegenüber dem VSR-System eine weitere Einsparung an elektrischer Endenergie zur Luftförderung in Höhe von 20 % bis 39 % erzielt werden.

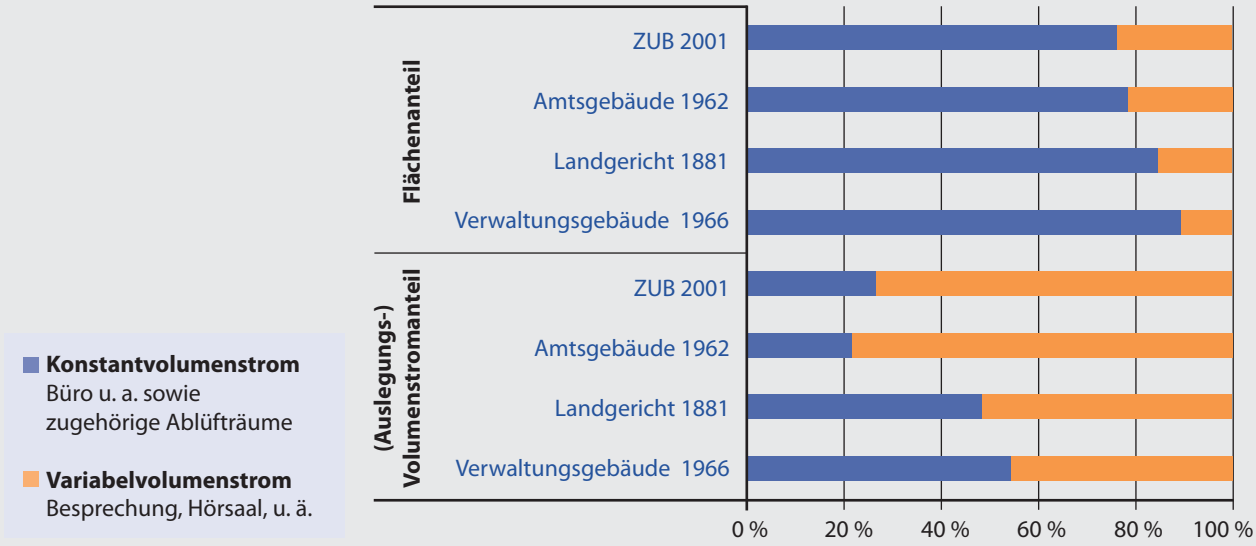

Abbildung 9.1: Nutzungsarten mit Konstant-Volumenstrom bzw. Variabel-Volumenstrom für die exemplarisch untersuchten Büro- und Verwaltungsgebäude

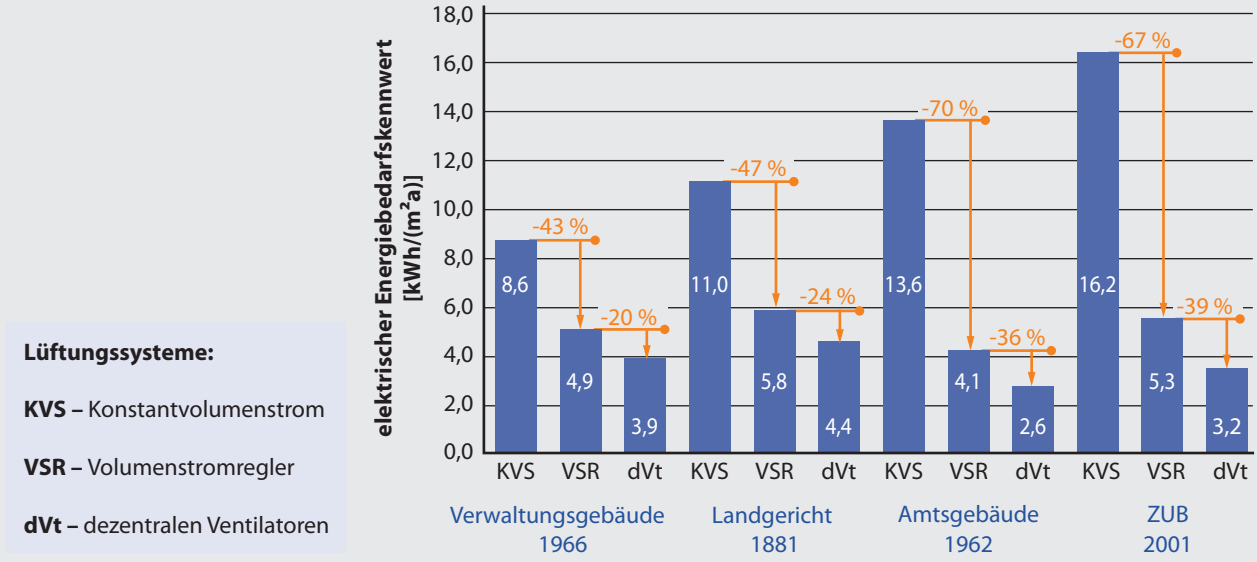

Abbildung 9.2: Elektrischer Endenergiebedarfskennwert (Ventilatorstrom) der exemplarischen Büro- und Verwaltungsgebäude für unterschiedliche Lüftungssysteme

9.2 | Strangschemata

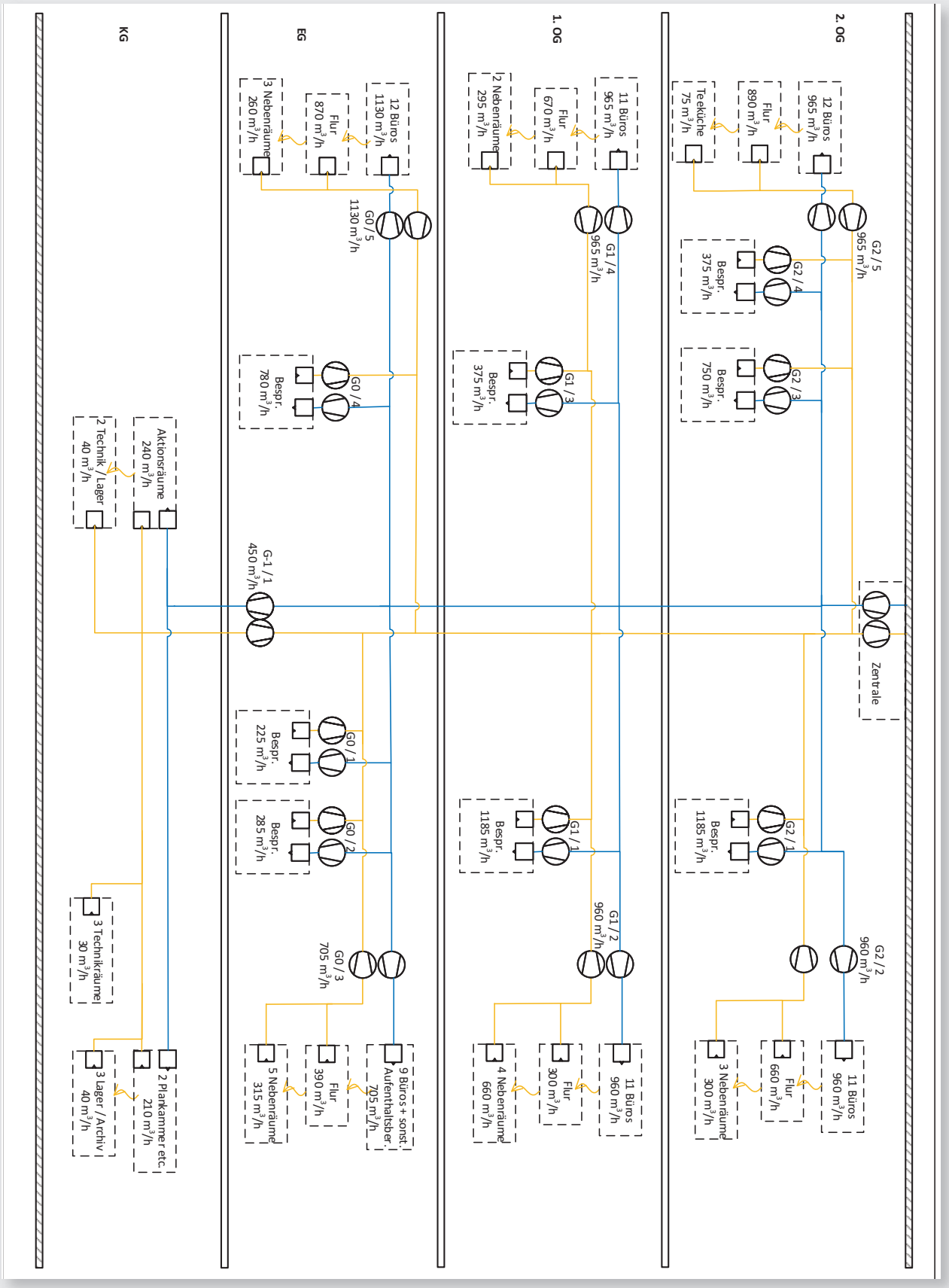

Abbildung 9.3: Strangschema Verwaltungsgebäude 1966

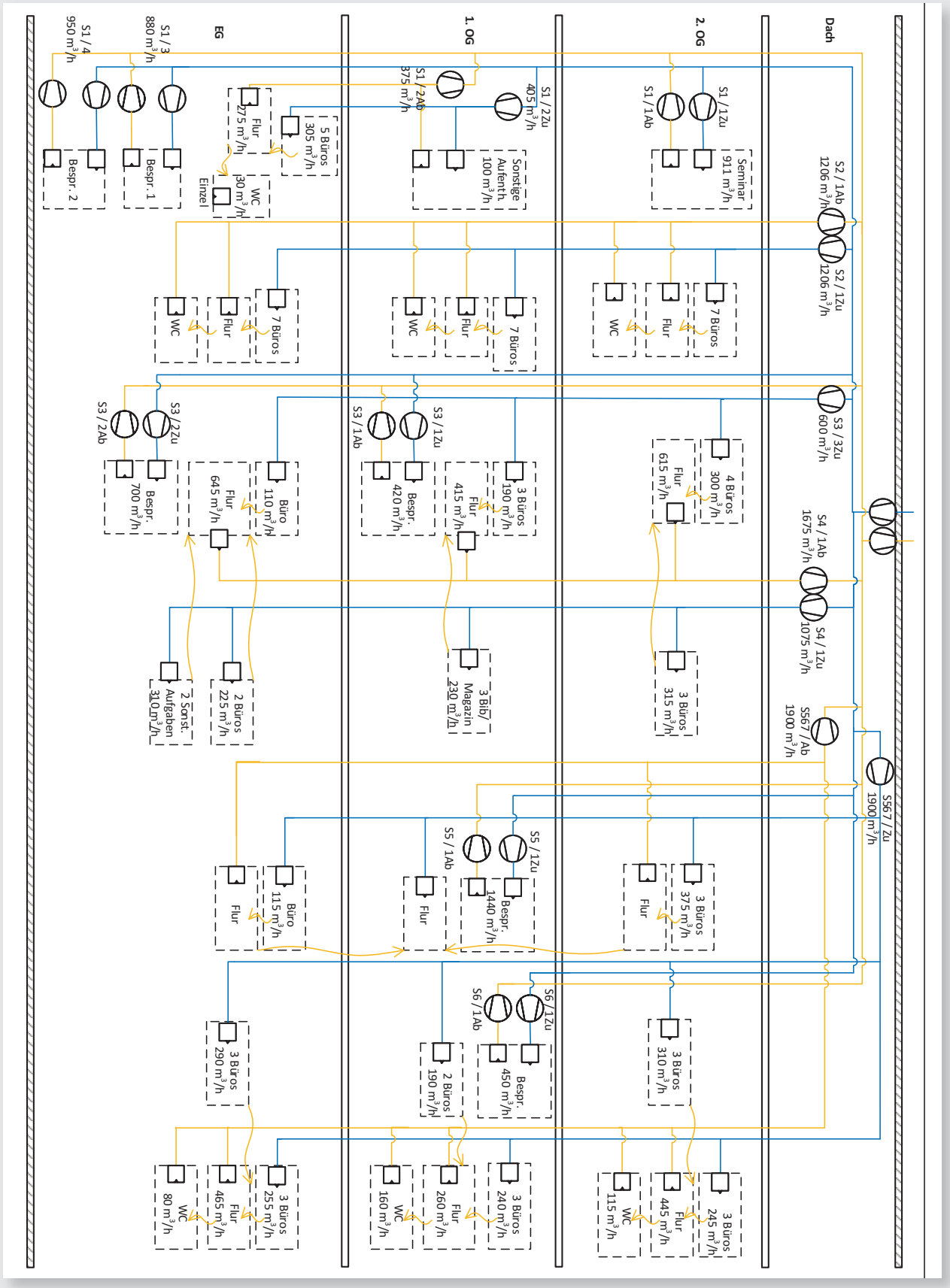

Abbildung 9.4: Strangschema Landgericht 1881

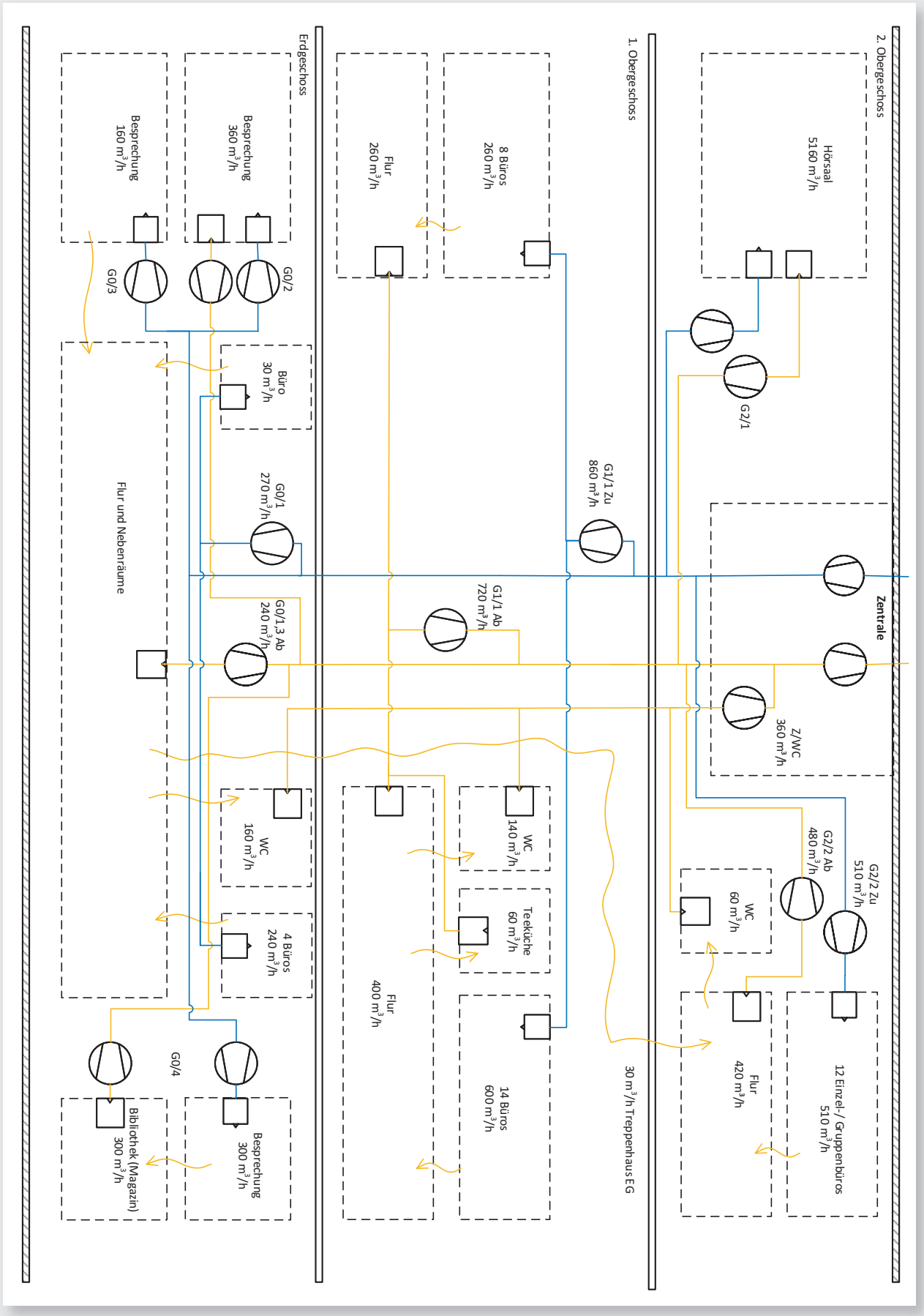

Abbildung 9.5: Strangschema Amtsgebäude 1962

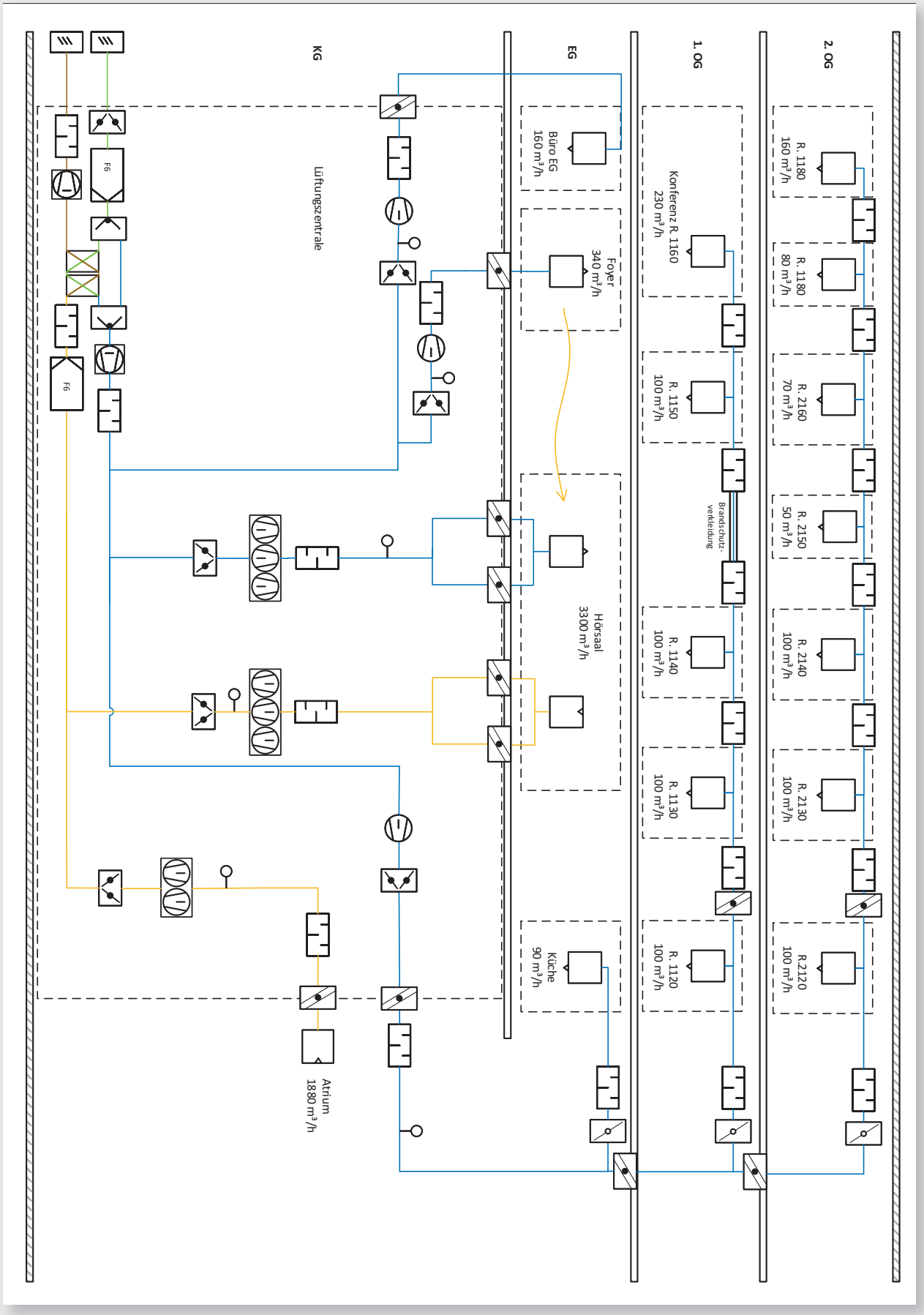

Abbildung 9.6: Strangschema ZUB 2001

10 | Literaturverzeichnis

DIN EN 12237: Lüftung von Gebäuden - Luftleitungen - Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit rundem Querschnitt aus Blech. Berlin: Beuth Verlag, Juli 2003

DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme. Berlin: Beuth Verlag, September 2007

DIN EN 16798-3: Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden- Teil 3: Lüftung von Nicht-Wohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme. Berlin: Beuth Verlag, November 2017

DIN V 18599-10: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. Berlin: Beuth Verlag, Dezember 2016

Alsen 2017 ALSEN, Niklas: Energetische und wirtschaftliche Bewertung von dezentralen Ventilatoren in zentralen raumlufttechnischen Anlagen: Dissertation: Universität Kassel, Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung, 2017

Alsen, Knissel 2013 ALSEN, Niklas ; KNISSEL, Jens: Einsatz von dezentralen Ventilatoren zur Luftförderung in zentralen RLT-Anlagen, in: HLH (2013) Bd. 64, Nr. 4, S. 35–38

Alsen, Klimmt, Knissel 2015 ALSEN, Niklas ; KLIMMT, Tobias ; KNISSEL, Jens: Dezentrale Ventilatoren in zentralen raumlufttechnischen Anlagen – Berechnung zur energetischen Vorteilhaftigkeit, in: GI (2015), S. 14-20

dVt 2018 ALSEN, Niklas; DETTNER, Maximilian; GIESEN, Max; KLIMMT, Tobias; KNISSEL, Jens: Einsatz dezentraler Ventilatoren zur Luftförderung in zentralen raumlufttechnischen Anlagen insbesondere in Nicht-Wohngebäuden; Abschlussbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt 03ET1200A; Universität Kassel, Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung, 2018

Klimmt 2018 KLIMMT, Tobias: Entwicklung von Anlagenkonzepten zur Volumenstromregelung mittels dezentralen Ventilatoren in zentralen Lüftungsanlagen; Dissertation: Universität Kassel, Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung, 2018

11 | Abkürzungsverzeichnis

GLT	Gebäudeleittechnik
gdK	Kanalabschnitt, durch welchen Luft von mehreren Ventilatoren gefördert wird
KVS	Konstantvolumenstrom; ein System, das einen über die Nutzungszeit konstanten Volumenstrom fördert
VVS	Variabel-Volumenstrom; ein System, das über die Nutzungszeit einen variablen bedarfs- oder zeitgeregelten Volumenstrom fördert. Sowohl dVt als auch VSR-Systeme gehören zu den VVS-Systemen.
VSR	Volumenstromregler
VSR-System	Volumenstromregler-System mit konstantem Vordruck
VSR_{var}-System	Volumenstromregler-System mit variablem Vordruck
dVt-System	Lüftungssystem mit dezentralen Ventilatoren als Regelorgane im Kanalnetz.

Planungsleitfaden Semizentrale Lüftung – dezentrale Ventilatoren in zentralen RLT-Anlagen

Zum Forschungsprojekt
Einsatz dezentraler Ventilatoren zur Luftförderung in zentralen RLT-Anlagen
insbesondere bei Nicht-Wohngebäuden – 03ET1200A