

Einsatz von dezentralen Ventilatoren zur Luftförderung in zentralen RLT-Anlagen

Anlagentechnische Umsetzung und Energieeinsparung

In einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsvorhaben wird am Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung der Universität Kassel untersucht, ob der Stromaufwand zur Luftförderung in zentralen RLT-Anlagen reduziert werden kann, wenn die Variabel-Volumenstromregler durch dezentral angeordnete Ventilatoren (dVt-System) ersetzt werden. Hierdurch kann auf die energetisch ungünstige Drosselung verzichtet und die Druckerhöhung zur Luftförderung bedarfsgerecht erzeugt werden. Theoretische Untersuchungen zeigen erzielbare Einsparungen beim Ventilatorstrombedarf von 10 bis 40 %.



Tobias Klimmt M.Eng.,
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter,
Fachgebiet
Technische Gebäude-
ausrüstung,
Universität Kassel



Niklas Alsen M.Sc.,
Referent für Techni-
sche Gebäudeaus-
rüstung bei Hochbau-
angelegenheiten
des Landes,
Ministerium
für Bauen, Wohnen,
Stadtentwicklung und
Verkehr des Landes
Nordrhein-Westfalen



Prof. Dr.-Ing.
Jens Knissel
Leiter
des Fachgebiets
Technische
Gebäudeausrüstung,
Universität Kassel

bereiche und zur bedarfsabhängigen Volumenstromregelung wird die vom zentralen Ventilator erzeugte Druckdifferenz durch Volumenstromregler gezielt abgedrosselt. Durch das Abdrosseln wird eine gerade aufgebauete Druckerhöhung wieder „vernichtet“, was energetisch ungünstig ist.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsprojekts „Einsatz dezentraler Ventilatoren zu Luftförderung in zentralen RLT-Anlagen“ wird am Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung der Universität Kassel ein innovativer Ansatz zur Luftförderung

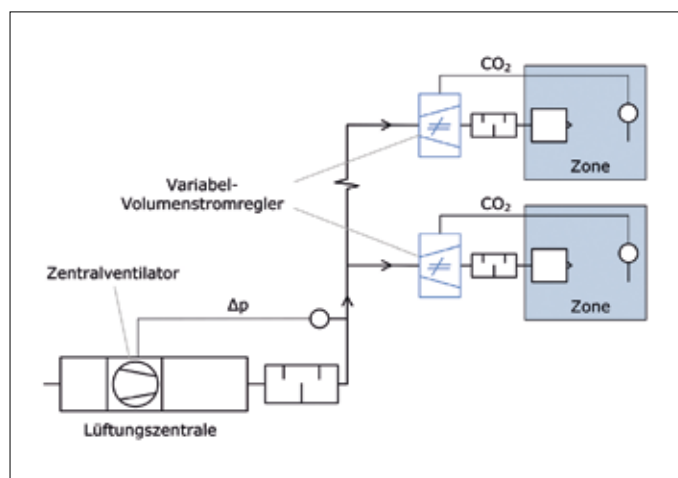


Abbildung 1:
Prinzipschema
einer Variabel-
Volumenstromanlage
mit Volumenstrom-
reglern (VSR-System)
Grafik:
Alsen, Klimmt, Knissel

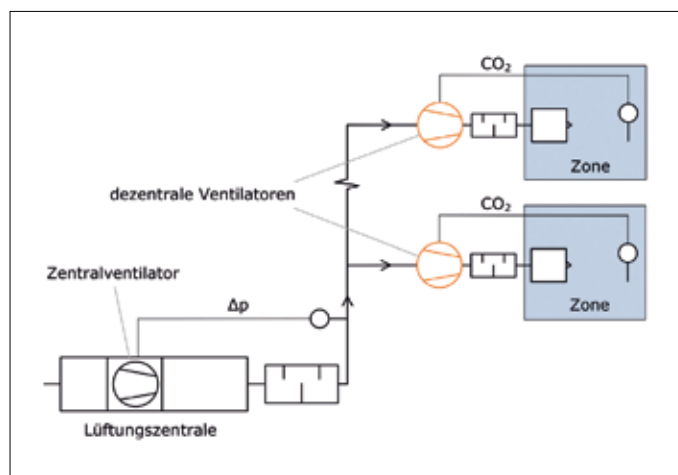


Abbildung 2:
Prinzipschema
einer Variabel-
Volumenstromanlage
mit dezentralen
Ventilatoren
(dVt-System)
Grafik:
Alsen, Klimmt, Knissel

Aktuelle Situation und Problemstellung

Derzeit wird zur Luftförderung in zentralen Lüftungsanlagen üblicherweise ein zentraler Ventilator eingesetzt (Abbildung 1). Dieser erzeugt eine Druckerhöhung, die sich an dem Widerstand des ungünstigsten Stranges orientiert. Zum Aufteilen des Gesamtvolumenstroms auf die einzelnen Gebäude-



Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Systemvarianten des dVt-Systems

Variante	Zu- und Abluftdurchlässe	Position der dezentralen Ventilatoren	Ort der Volumenströmmessung	CO ₂ -Messung	Abbildung
1a	Je Raum	Raumweise	Am Ventilator	Raumweise	3
1b			-		-
1c		Raumweise / Strangweise	-		
2a		Strangweise	Am Ventilator		4
2b			Abluftstrang		-
3	In getrennten Räumen	Raumweise / Strangweise	Im Zuluftstrang	Raumweise	5

untersucht, bei dem eine bedarfsgerechte, raum- bzw. zonenweise Lüftung ohne Drosselung realisiert werden soll. Hierzu werden die Volumenstromregler durch dezentral platzierte Ventilatoren ersetzt. Diese dezentralen Ventilatoren bauen die zur Luftförderung erforderliche Druckerhöhung an dem jeweiligen Ort in der erforderlichen Höhe auf (Abbildung 2). Dadurch kann der elektrische Energieaufwand zur Luftförderung wesentlich reduziert werden.

Der primäre Einsatzbereich des dVt-Systems sind zentrale Lüftungsanlagen insbesondere in Nicht-Wohngebäuden mit bedarfsabhängiger Volumenstromregelung. Das dVt-System kann bei Neubauten und bei der Sanierung von Bestandsgebäuden bzw. deren Lüftungsanlagen eingesetzt werden.

Anlagentechnische Realisierung des dVt-Systems

Die Möglichkeiten der anlagentechnischen Umsetzung des dVt-Systems werden in dem Forschungsvorhaben im Rahmen einer Dissertation untersucht [4]. Ziel ist es,

für unterschiedliche Ausprägungen das Betriebsverhalten und strömungstechnische Besonderheiten des dVt-Systems zu untersuchen. Hierzu werden dynamische Simulationsrechnungen mit dem Programm Dymola/Modelica durchgeführt. Zu untersuchende strömungstechnische Fragen ergeben sich bei folgenden Punkten:

- Aufgrund der Parallelschaltung von Ventilatoren kann ein ungewolltes Ansaugen von Luft aus einem Nachbarraum erfolgen (Fehlströmung).
- Die Betriebspunkte der Ventilatoren sind zu geringeren Druckerhöhungen bei gleichen Volumenströmen verschoben, da ein Teil der Druckerhöhung vom zentralen Ventilator übernommen wird.
- Die Unter- und die Überdrucksituation in den Kanälen ändern sich. Auf der Zuluftseite treten auch Unterdrücke, auf der Abluftseite auch Überdrücke auf.
- Durch offene Innentüren oder Fenster können die Strömungspfade im Gebäude verändert und das geplante Lüftungskonzept beeinträchtigt werden.

Die Simulationen betrachten Ausprägungen des dVt-Systems mit unterschiedlichem Komponentenaufwand. Hierbei spielte die Art der Abluftzone, die Anzahl und Position der dezentralen Ventilatoren und die eingesetzte Messtechnik eine Rolle. Die erstellten Konzepte werden Systemvarianten genannt. Die simulierten Systemvarianten bestehen grundsätzlich aus drei Zuluftsträngen. Jede Systemvariante weist Besonderheiten auf, aus denen grundsätzliche Erkenntnisse über das dVt-System gezogen werden. Insgesamt werden sechs Systemvarianten untersucht (Tabelle 1).

Die drei Hauptvarianten 1a, 2a und 3 werden in den folgenden Abbildungen gezeigt. Dabei wird auf die Darstellung der Lüftungszentrale verzichtet. Bei den Varianten 1 und 2 wird in den Räumen sowohl Zuluft zu- als auch Abluft abgeführt. In Variante 3 ist eine getrennte Abluftzone vorhanden. Die Varianten 1 und 2 unterscheiden sich hauptsächlich in Anzahl und Position der dezentralen Zuluftventilatoren (Abbildungen 3 und 4). In den Untervarianten 1b und 1c wird

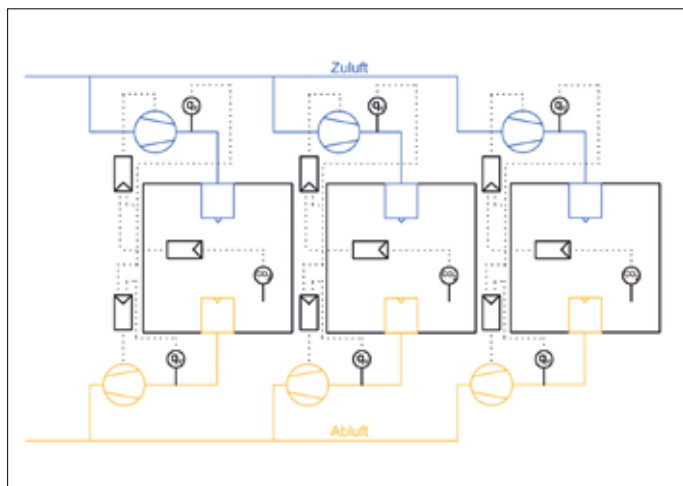


Abbildung 3: dVt-Systemvariante „Einzelraumversorgung (V1a)“

Grafik: Klimmt

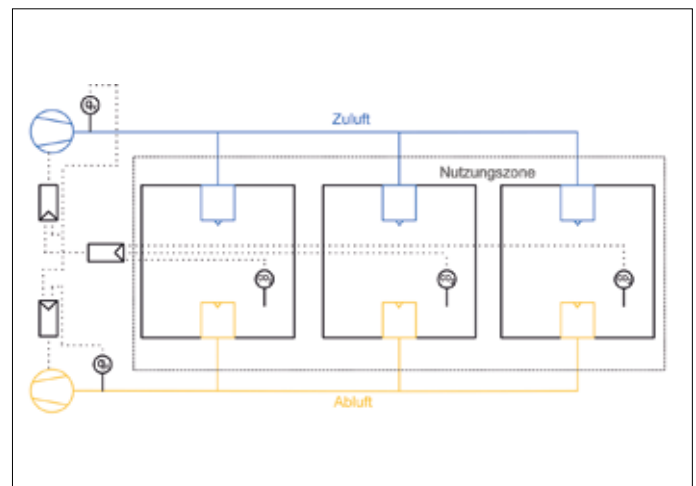


Abbildung 4: dVt-Systemvariante „Raumgruppenversorgung (V2a)“

Grafik: Klimmt

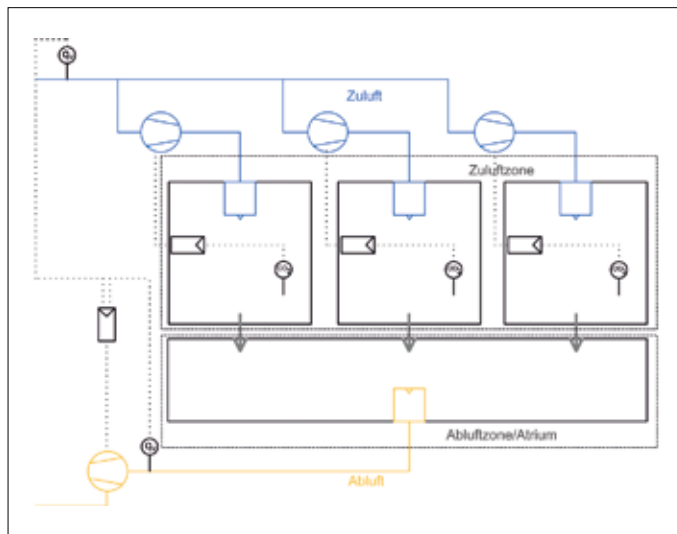


Abbildung 5:
dVt-Systemvariante
„Einzelraumversorgung
mit Überströmung (V3)“
Grafik: Klimmt

untersucht, ob die Regelung der Ventilatoren auch direkt über die CO₂-Konzentration des Raumes erfolgen kann, Variante 1c reduziert zusätzlich die Anzahl der dezentralen Abluftventilatoren. Der Unterschied zwischen Variante 2a und 2b sind Ort und Anzahl der CO₂-Messungen.

Die Variante 1a ist in Abbildung 3 zu sehen. In den drei dargestellten Räumen wird sowohl Zuluft zugeführt als auch Abluft abgeführt. Jeder der Räume verfügt über einen eigenen Zuluftventilator, so dass eine bedarfsgerechte Einzelraumregelung möglich ist. Aus dem CO₂-Raumsignal wird je nach CO₂-Sollwert ein Volumenstromsollwert für den Zuluftventilator generiert. Der Abluftventilator wird so geregelt, dass er den gleichen Volumenstrom wie der Zuluftventilator fördert. Diese Systemvariante hat den größten Komponentenaufwand, weist aber auch eine hohe Betriebssicherheit auf.

In der zweiten Hauptvariante wird die Anzahl der Ventilatoren sowohl auf der Zuluft- als auch auf der Abluftseite reduziert, wie in Abbildung 4 zu sehen ist.

Mit dieser Systemvariante ist es nicht möglich, jeden Raum bedarfsgerecht mit Luft zu versorgen, da ein Zuluftventilator mehrere Räume (hier drei Räume) belüftet. Das hat Auswirkungen auf die Regelung. Der Sollvolumenstrom für den Zuluftventilator wird so gewählt, dass in dem Raum mit der höchsten CO₂-Belastung der CO₂-Sollwert eingehalten wird. Die beiden anderen Räume werden dabei systembedingt mit einem entsprechend erhöhten Volumenstrom beaufschlagt und damit überlüftet. Der Abluftventilator wird wie in der Basisvariante entsprechend dem Zuluftvolumenstrom geregelt.

Vorteil dieser Systemvariante ist die geringere Anzahl an Ventilatoren inklusive der zugehörigen Komponenten. Zudem können

Räume mit ähnlicher Nutzung und geringem Teillastanteil zusammengefasst und so Ventilatoren mit größeren Nennvolumenströmen und höheren Wirkungsgraden eingesetzt werden. Nachteil ist die Überlüftung der Räume, was zu einem erhöhten Stromaufwand für die Luftförderung und im Winter zu geringeren relativen Feuchten führen kann.

Die dritte Hauptvariante unterscheidet sich vor allem in der Art der Abluftzone von den anderen Hauptvarianten.

Die Besonderheit dieser Variante ist die von der Zuluftzone räumlich getrennte Abluftzone. Es findet also eine Überströ-

mung zwischen den Zonen statt. Aus dem CO₂-Raumsignal wird direkt das Stellsignal für den Zuluftventilator generiert. Diese Art der Regelung wird auch in einer Untervariante der Basisvariante getestet. Außerdem wird der Gesamtvolumenstrom der Zuluftseite gemessen. Dieser Volumenstrom wird genutzt, um den Abluftventilator zu regeln. Vorteil dieser Systemvariante ist eine bedarfsgerechte Einzelraumregelung der Zulufräume sowie eine Mehrfachnutzung der Luft durch Überströmung. Nachteil kann eine vermehrte Störanfälligkeit auf geöffnete Innentüren und Fenster sein.

Mit Hilfe der Erkenntnisse aus den Simulationen lassen sich Planungshinweise zu Einsatzmöglichkeiten definieren, aber auch Einsatzgrenzen der Systemvarianten aufzeigen. Zudem können die Anforderungen an die Regelstrategie identifiziert und formuliert werden. Die Systemvarianten sind so gewählt, dass sie die in der Realität am häufigsten vorkommenden Fälle abdecken. Sie können als Bausteine zum Aufbau eines dVt-Systems für ein komplettes Gebäude herangezogen werden.

Energieeinsparung

Die mit dem dVt-System erzielbare Energieeinsparung wird im Rahmen einer weiteren Dissertation [5] am Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung der Universität Kassel untersucht. Ein Überblick über die verwen-

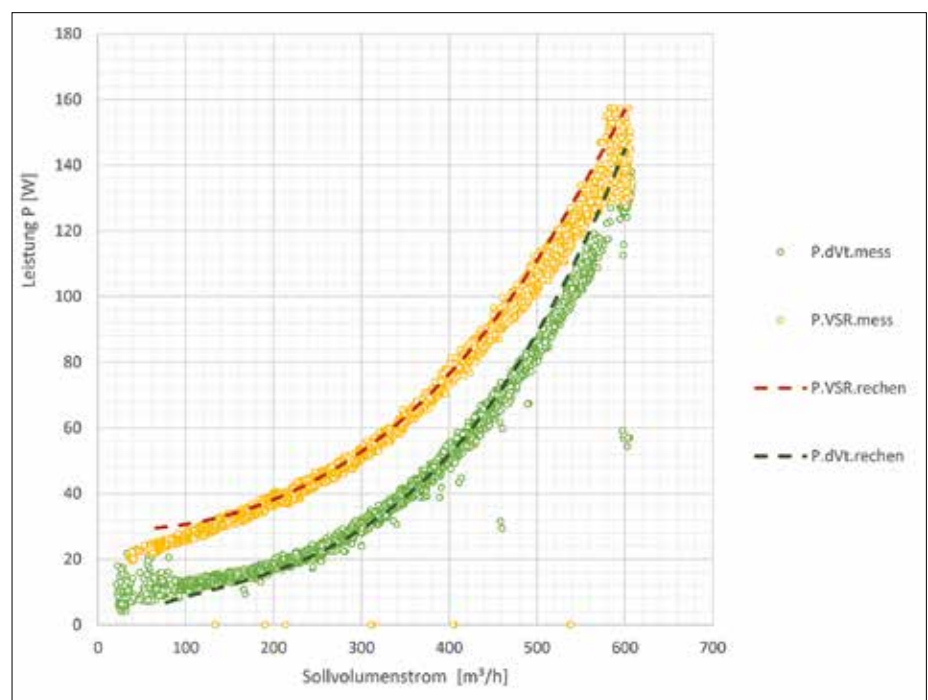


Abbildung 6: Messergebnisse der Ventilatorleistung von VSR-System und dVt-System sowie Vergleich mit berechneten Werten unter Berücksichtigung der realen Leckagevolumenströme und von Auslegungsdru-
ckverlusten
Grafik: Alsen

Frankfurt am Main
14. – 18. 3. 2017

Water. Energy. Life.

Die ISH ist der Hotspot für die technische Gebäudeausrüstung. Nur hier finden Sie effiziente Heizungs-, Klima-, Kälte- und Lüftungstechnik in Kombination mit erneuerbaren Energien. Erleben Sie zukunftsweisende Technologien auf der ISH!

www.ish.messefrankfurt.com



Mit Immobilien Forum
und Gebäude Forum
in Halle 10.3

deten Berechnungsansätze wird in [2] gegeben. Die Validität der Berechnungen zur Ventilatorleistung bei unterschiedlichen Teillastzuständen wird durch den Vergleich mit Messungen an einem zu diesem Zweck errichteten RLT-Versuchsstand überprüft. Hierüber wird in [3] berichtet. Das zentrale Ergebnis zeigt Abbildung 6. Die gelben Punkte sind die gemessenen Ventilatorleistungen für das VSR-System, die grünen Punkte die für das dVt-System. Die gestrichelten Kurven stellen die berechneten Leistungswerte dar.

Es ist zu sehen, dass sowohl für das dVt-System als auch das VSR-System die Berechnungen sehr gut mit den entsprechenden Messungen übereinstimmen. Außerdem wird deutlich, dass das dVt-System insbesondere bei Teillast einen geringeren Ventilatorleistungsbedarf aufweist als das VSR-System. Die energetischen Vorteile des dVt-Systems liegen also insbesondere bei der effizienteren Realisierung von Teillastzuständen. Beim VSR-System ist zu erkennen, dass die Leistungskurve nicht durch den Nullpunkt geht, da für die Aufrechterhaltung des konstanten Vordrucks eine Mindestleistung benötigt wird.

Zur Berechnung des Jahresenergiebedarfs zur Luftförderung werden stündliche Nutzungsprofile erstellt. Diese sind aus den Nutzungsprofilen der DIN V 18599-2011 Teil 10 abgeleitet und bilden die dort definierten Tagesmittelwerte ab. Aus der sich so ergebenden stündlichen Personenbelegung werden Volumenströme und unter Berücksichtigung von typischen Werten von Druckverlust und Ventilatorwirkungsgrad die stündlichen Ventilatorleistungen ermittelt. Durch Summieren aller jährlichen Betriebszustände ergibt sich der Jahresenergiebedarf. Die Berechnungen werden für das VSR-System und das dVt-System durchgeführt und aus der Differenz die mögliche Energieeinsparung bestimmt. Beim VSR-System wird ein System mit konstantem Vordruck angenommen. Eine energieeffiziente Weiterentwicklung ist das VSR-System mit variablem Vordruck. Dieses System ist im Markt aber noch wenig vertreten, weswegen es nicht als Vergleichssystem herangezogen wird.

Die Berechnungen zeigen einen um 10 bis 40% geringeren Energiebedarf zur Luftförderung des dVt-Systems gegenüber dem System mit Variabel-Volumenstromreglern. Die Höhe der Energieeinsparung hängt wesentlich von der Häufigkeitsverteilung der Teillast-Volumenstromanteile während der Nutzungsphase ab. Dies kann sich je nach Nutzungsart stark unterscheiden. Außerdem spielen die Wirkungsgrade der dezentralen Ventilatoren eine entscheidende Rolle. Da

die Wirkungsgrade für kleine Ventilatoren abnehmen, sollten die dezentralen Ventilatoren einen Mindestnennvolumenstrom von 300 m³/h bis 500 m³/h aufweisen.

Die Energieeinsparungen von 10% treten bei Räumen mit Gruppenbüroanutzung auf, die eher wenig Teillastzustände und eher kleine dezentrale Ventilatoren haben. Bei Hörsaalnutzung mit vielen Teillastzuständen und großen dezentralen Ventilatoren ist eine Einsparung von etwa 40% möglich. Positiv für das dVt-System wirkt sich die neue Generation der Axial-Rohrventilatoren mit EC-Motoren aus, da diese vom Betriebspunkt gut zum dVt-System passen und im kleinen Leistungsbereich vergleichsweise hohe Wirkungsgrade aufweisen.

Hinweise zur Wirtschaftlichkeit

Um Aussagen zur Wirtschaftlichkeit des dVt-Systems treffen zu können, müssen neben der Energiekosteneinsparung auch Investitions- und Wartungskosten betrachtet werden. Investive Mehrkosten entstehen durch gegebenenfalls erforderliche zusätzliche Schallschutzmaßnahmen und Absperrklappen. Einsparungen ergeben sich durch teilweise geringere Kosten der dezentralen Ventilatoren gegenüber den Variabel-Volumenstromreglern. Da die Investitionskosten entscheidend von den gewählten Systemvarianten abhängen und das dVt-System in der Form noch nicht am Markt erhältlich ist, können zu Mehr- oder Minderkosten noch keine verlässlichen Aussagen getroffen werden. Vermutlich halten sich Mehr- und Minder-

kosten aber etwa die Waage bzw. lassen sich Investitionsmehrkosten beim dVt-System durch die Energiekosteneinsparung amortisieren. Im Bereich der Wartungskosten ist beim Einsatz von dezentralen Ventilatoren nach aktuellem Wissensstand mit einem ähnlichen Kostenaufwand wie beim VSR-System zu rechnen.

Die Wirtschaftlichkeit wird wesentlich von der Energiekosteneinsparung beeinflusst. Können nennenswerte Energiekosteneinsparungen erzielt werden, wird das dVt-System voraussichtlich wirtschaftlich sein.

Ausblick

Nachdem die Funktionsweise und das Einsparpotenzial anhand eines physikalisch-mathematischen Modells sowie anhand von messtechnischen Untersuchungen unter Beweis gestellt wurden, wird das dVt-System aktuell in der bestehenden Lüftungsanlage des Zentrums für umweltbewusstes Bauen (ZUB) eingesetzt. Dadurch werden erste Erfahrungen im praktischen Betrieb gesammelt. Mit Abschluss des Forschungsprojekts werden die Erkenntnisse und Erfahrungen in einem Planungsleitfaden veröffentlicht und bekannt gemacht.

Förderung und Projektpartner

Das Forschungsprojekt wird unter Leitung des Fachgebiets Technische Gebäudeausrüstung der Universität Kassel gemeinsam mit folgenden Partnern durchgeführt:

- ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG,
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP),
- innovaTec Energiesysteme GmbH.

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert wird das Projekt (FKZ: 03ET1200A) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags.

Literatur

- [1] DIN V 18599-3: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung. Ausgabe 2011-12-00.
- [2] Alsen N., Klimmt T., Knissel J.: Dezentrale Ventilatoren in zentralen raumlufttechnischen Anlagen - Berechnungen zur energetischen Vorteilhaftigkeit. In: GI - GebäudeTechnik|Innenraum Klima 01/2015, München, 2015.
- [3] Alsen N., Klimmt T., Knissel J.: Dezentrale Ventilatoren in zentralen raumlufttechnischen Anlagen - Messtechnische Validierung berechneter Ventilatorleistung; in CCI-Dialog vom 27.01.2016.
- [4] Klimmt, T: Entwicklung von Anlagenkonzepten zur Volumenstromregelung mittels dezentralen Ventilatoren in zentralen Lüftungsanlagen; Dissertation am Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung der Universität Kassel; noch unveröffentlicht.
- [5] Alsen, N.: Energetische und wirtschaftliche Bewertung von dezentralen Ventilatoren in zentralen Lüftungsanlagen; Dissertation am Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung der Universität Kassel; noch unveröffentlicht.

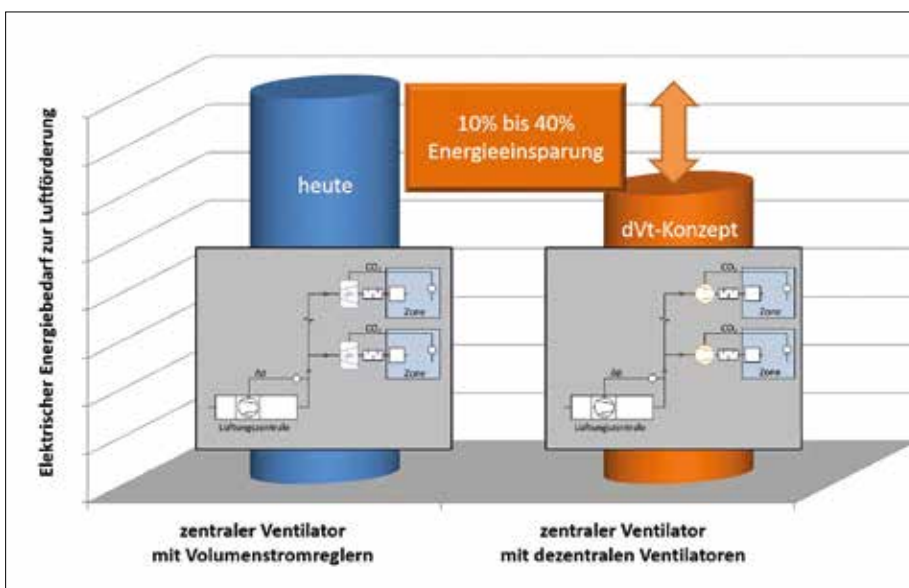


Abbildung 7: Elektrischer Energiebedarf zur Luftförderung bei Variabel-Volumenstromanlagen

Grafik: Alsen, Klimmt, Knissel