

Das Potenzial instationärer Lüftungstechnik am Beispiel eines atmen- den Fassadenlüftungsgerätes

Von Dipl.-Ing. Ralf Wagner, Dipl.-Ing. Inga Eggers, Dipl.-Ing. Florian Kenner

Instationär betriebene Lüftungssysteme stehen derzeit im Focus zahlreicher Forschungsprojekte. Die Technik wurde bereits vor 20 Jahren auf der ISH vorgestellt. Ein Umluftkühlgerät mit pulsierender Lüftung, der „cool wave[®]“, ist seitdem ein Garant für zugfreie, geräuschlose Klimatisierung bei hohen Anforderungen an thermische Behaglichkeit. In den Bereichen Regelungstechnik, Wärmerückgewinnung, Lüftungs- und Energieeffizienz ergeben sich in den letzten Jahren vielversprechende Ansätze um das Potential transienter Strömungen weiter auszuschöpfen. Im Folgenden werden diese Erkenntnisse am Beispiel eines dezentralen Fassadenlüftungsgerätes, das mit zyklisch variiertem Volumenstrom arbeitet, angewendet, Messergebnisse vorgestellt und das Potential der Technik bewertet.

Ein instationäres dezentrales Lüftungsgerät

Zur Erzeugung instationärer Raumströmungen wird die Luft diskontinuierlich in den Raum eingebracht bzw. hinaus gefördert. Dies bedeutet, dass die Luftmenge an allen Zu- und Abluftdurchlässen im Raum zyklisch, d.h. periodisch instationär variiert. In der Praxis kann das bei zentraler Lüftung durch eine einfache Volumenstromregelung oder die Umschaltung von Luftwegen innerhalb des Kanalnetzes umgesetzt werden. Je weiter das Stellglied jedoch vom Raum entfernt ist, desto weniger ist eine sprunghafte Änderung des Volumenstroms im Raum realisierbar.

Bei dezentralen Lüftungsgeräten besteht die Möglichkeit die Luftrichtung, nahe am Luftauslass, innerhalb des Gerätes durch Änderung der Drehrichtung des Ventilators umzukehren. Besser ist es die Drehzahl konstant zu halten und für die Richtungsänderung einen Klappenmechanismus zu nutzen. Dieser Mechanismus muss eine sehr hohe Langlebigkeit bei hoher Schaltfrequenz mit kurzer Verfahrtdauer und geringem Energiebedarf aufweisen. Die Nutzung eines Luftweges für sowohl Zu- als auch Abluft bedeutet für dezentrale Geräte die Reduzierung auf eine einzige Fassadenöffnung, wodurch sich die Integration an der Fassade erheblich einfacher realisieren lässt als bei derzeit eingesetzten Lüftungsgeräten. Durch die Einsparung eines Luftweges reduziert sich die Anzahl der benötigten Komponenten. Dies kann Investitionskosten senken und wirkt sich direkt auf die Aufwendungen in Form von geringeren Wartungs- und Instandhaltungskosten aus. Darüber hinaus eröffnet sich durch die instationäre Betriebsweise die Möglichkeit eine energetisch hocheffiziente regenerative Wärmerückgewinnung zu integrieren. Eine besondere Herausforderung stellt sich im Zusammenhang zwischen instationärer Luftförderung und der Homogenität und Höhe des Schallpegels im Raum. Um z.B. einen mittleren Volumenstrom von 120 m³/h je Luftweg zu fördern, der für ein 3-Achs-Büro typisch ist, muss dieser bei wechselweiser Durchströmung je Luftrichtung als Momentanwert 240m³/h betragen. Der dadurch entstehende Schalleistungspegel darf dabei 45 dB(A) nicht übersteigen, um gegenüber herkömmlichen Lüftungssystemen wettbewerbsfähig zu sein. Hierbei kommt dem Konzept zugute, dass durch die Einsparung eines Luftweges Bauraum gewonnen wurde. Dieser kann nun genutzt werden, um Schalldämpfer anzupassen und die Druckverlust erzeugenden Komponenten wie F7-Filter und Wärmerückgewinner zu vergrößern.

Der von der LTG Aktiengesellschaft auf der ISH 2013 vorgestellt Prototyp eines dezentralen Lüftungsgerätes *FVPpulse* zur instationären Raumluftströmung setzt die Umschaltung der Luftwege mittels einer geräteinternen Klappenbaugruppe um, die vier Luftwege parallel ansteuert (Abbildung 1). Dies macht es im Gegensatz zur Drehrichtungsänderung des Ventilators möglich, einen EC-Ventilator mit hohen Wirkungsgraden einzusetzen und Schallemissionen durch die konstante Drehzahl auf einem gleich bleibendem Niveau zu halten.

Die instationäre zyklische Versorgung eines Raumes mit Zuluft und Abluft findet Ihre Entsprechung in einem evolutionären Prinzip, mit dem die Tiere seit 270 Mio. Jahren erfolgreich sind: Der Atmung.

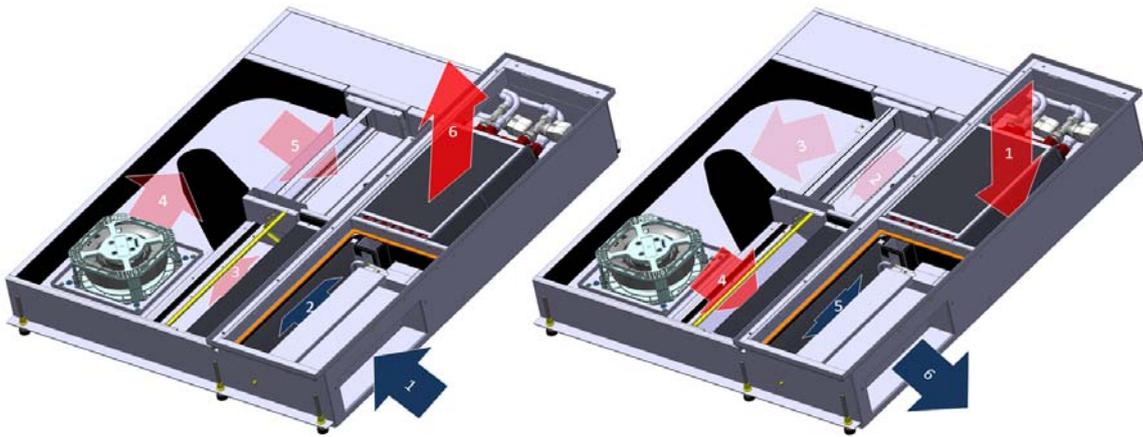


Abbildung 1: Konstruktiver Aufbau des FVPulse; beim "Einatmen" werden nacheinander durchströmt: Frischluftklappe - Wärmerückgewinner - saugseitige Klappe zur Strömungsumkehr - EC-Ventilator - druckseitige Klappe zur Strömungsumkehr - Wärmeübertrager; beim „Ausatmen“: Wärmetauscherbypass- saugseitige Klappe zur Strömungsumkehr - EC-Ventilator - druckseitige Klappe zur Strömungsumkehr- Wärmerückgewinner – Frischluftklappe.

Instationäre regenerative Wärmerückgewinnung

Bei dezentralen Lüftungsgeräten mit Ab- und Zuluftfunktion ist eine effiziente Wärmerückgewinnung wichtig, um die Energiebedarfskosten durch Minimierung des Lüftungswärmebedarfes im Winter gering zu halten. In der Regel wird die Wärmerückgewinnung mit Hilfe eines Rekuperators realisiert. Es wird eine Membran von zwei räumlich getrennten Stoffströmen umströmt, wodurch Wärme vom warmen an das kalte Fluid übertragen wird. Bei der regenerativen Wärmerückgewinnung hingegen sind die Stoffströme nicht räumlich, sondern zeitlich voneinander getrennt. Der Regenerator dient als Wärmespeicher und wird alternierend Be- und Entladen. Die Dimensionierung des Regenerators ist ein Optimierungsprozess bei dem Wärmespeichervermögen, Wärmeübergangskoeffizient und Temperaturleitfähigkeit bei begrenztem Volumen maximiert werden sollen, ohne den Druckverlust und die damit einhergehenden Schallemissionen des Ventilators zu erhöhen.

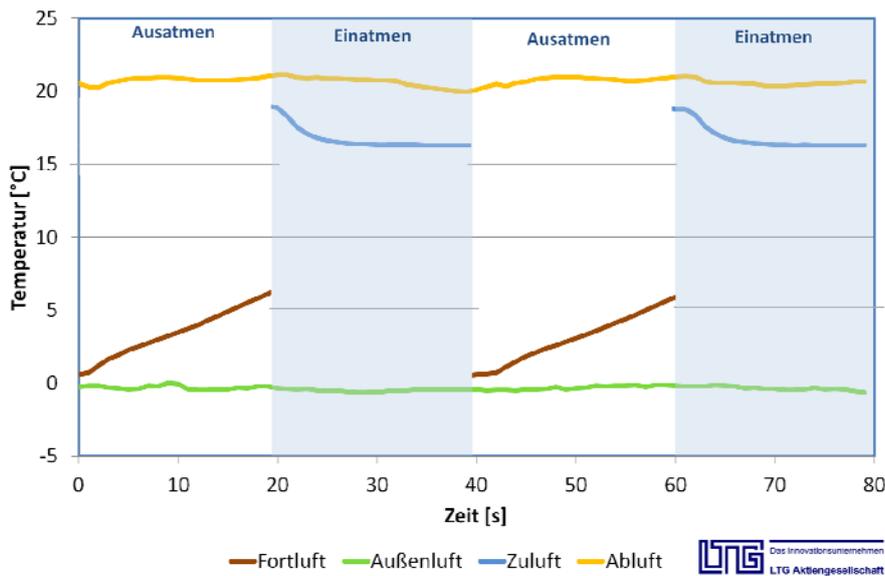


Abbildung 2: Temperaturverläufe in einem Gerät mit regenerativer Wärmerückgewinnung; das Integral zwischen Ab- und Fortlufttemperatur beim Ausatmen resp. Zu- und Außenlufttemperatur beim Einatmen ist dabei proportional zur übertragenen Wärmemenge

Abbildung 2 zeigt die Lufttemperaturen eines dezentralen Lüftungsgeräts mit integriertem Regenerator. Ein Zyklus wird dabei in die Teilzyklen „Ausatmen“ und „Einatmen“ unterteilt. Beim „Einatmen“ wird frische Luft in den Raum gefördert, beim „Ausatmen“ verbrauchte Luft wieder hinaus. Wie in Abbildung 2 zu sehen, wird zu Beginn des 20 Sekunden dauernden Teilzyklus mehr Wärme aus der Abluft im Regenerator gespeichert, als zum Ende des Teilzyklus, da die Triebkraft für die Wärmeübertragung - die Temperaturdifferenz - abnimmt. Anhand des Diagramms wird deutlich, dass der Temperaturänderungsgrad mit größerer Zykluszeit abnehmen muss, da die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Abluft und Fortluft dessen Größe definiert. Eine Regelung des mittleren Temperaturänderungsgrades ist so durch Anpassung der Zyklendauer einfach realisierbar. Es kann in jedem Betriebspunkt der optimale Temperaturänderungsgrad stufenlos eingestellt werden, ohne dass dafür die zusätzliche Integration eines Bypasses notwendig ist. Die sich einstellenden Temperaturänderungsgrade im dezentralen Lüftungsgerät können bis zu 90% erreichen und sind neben der Zyklendauer auch von der Höhe des Volumenstroms abhängig (Abbildung 3).

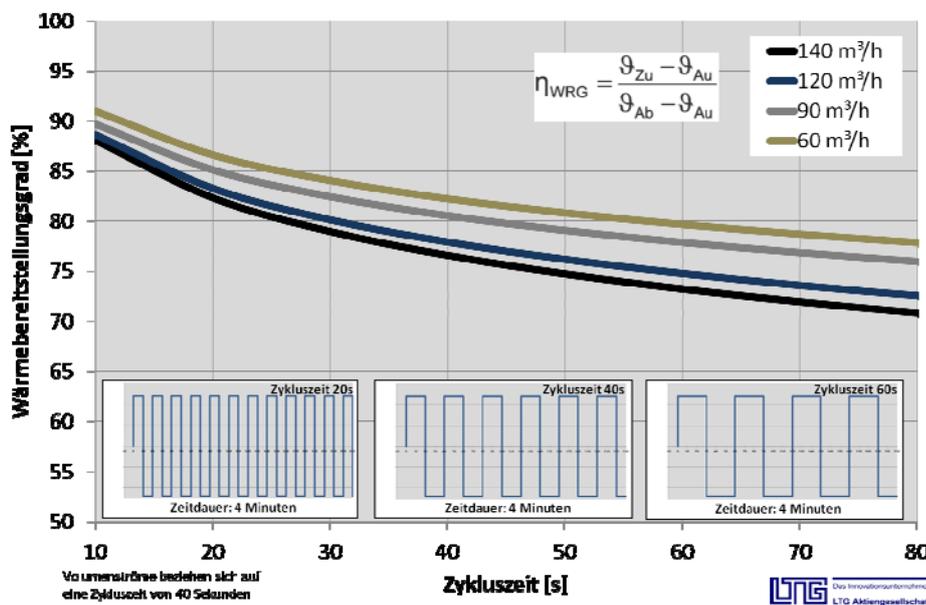


Abbildung 3: Temperaturänderungsgrade eines regenerativ betriebenen Wärmerückgewinners; Die Höhe des Temperaturänderungsgrades nimmt mit Verkürzung der Zykluszeit und Verminderung des Volumenstroms zu

Instationäre Raumluftrömung

Eine instationäre Raumluftrömung zeichnet sich gegenüber der üblichen stationären Raumluftrömung dadurch aus, dass zusätzlich zu den zufällig auftretenden Turbulenzeffekten im Raum Temperatur- und Raumlufgeschwindigkeitswerte zyklisch variieren. Die Schwankungsbreite nehmen dabei mit zunehmendem Abstand vom Luftauslass ab. Die Höhe dieser Dämpfung hängt vom Einsatzgebiet ab. Wird die Luft unter der Decke eingebracht, ist es zielführend, wenn die Geschwindigkeit erst kurz vor dem Aufenthaltsbereich abgebaut ist. Wird die Luft im bodennahen Bereich eingeblasen, baut ein hochinduktiver Luftdurchlass sowohl Geschwindigkeits- als auch Temperaturgradienten innerhalb eines kurzen Bereiches ab. Abbildung 4 zeigt das sich einstellende Zugluftrisiko für eine bodennahe Lufteinbringung durch das Unterflurgerät FVPpulse. Dargestellt ist ein zur Fassade senkrechter Schnitt durch einen Büroraum Selbst in einer Entfernung von 20cm vom Auslassgitter wird die Kategorie B der ISO 7730 eingehalten.

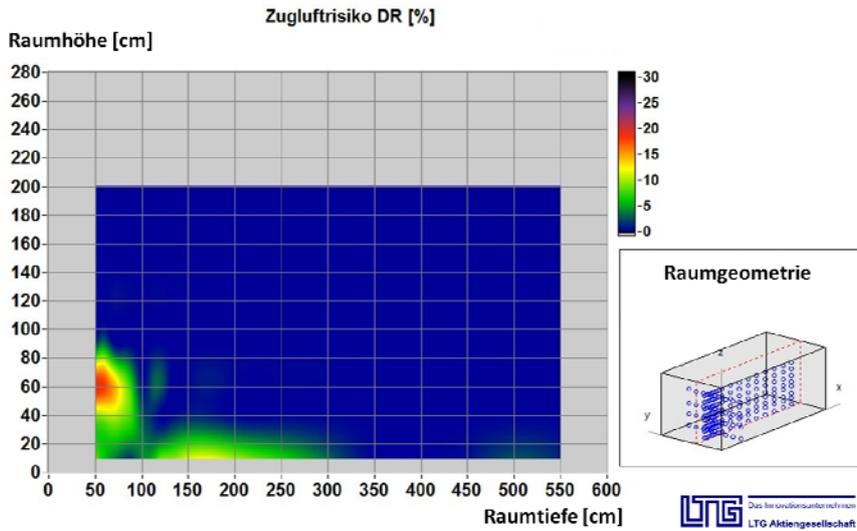


Abbildung 4: Ansicht: Fassade bei $x=0$; Zugluftrisiko nach ISO 7730 für einen Kühlfall; Komfortkriterien für eine sitzende Person mit leichter Sommerbekleidung; Luftfeuchtigkeit = 70%; Untertemperatur der Zuluft gegenüber der Raumluft = 8K

Durch die hochinduktive instationäre Lufteinbringung ist die lokale Untertemperatur der in den Aufenthaltsbereich eintretenden Zuluft und in Folge davon der vertikale Temperaturgradient geringer. Die nun wärmere Luft schichtet sich auf einer größeren Höhe in den Raum ein. Anstelle eines für die Quellluft typischen niedrigen Frischluftsees wird ein größeres Luftvolumen mit kühler und frischer Luft versorgt. Wie in der Abbildung 5 zu sehen ist, wird nahezu der gesamte Aufenthaltsbereich einer sitzenden Person abgedeckt. Innerhalb des Aufenthaltsbereichs stellt sich dadurch ein geringerer vertikaler Temperaturgradient ein (Abbildung 6). Diese gleichmäßigere Temperaturverteilung macht es möglich, in der Regelung der Raum-Solltemperatur größere Toleranzen zuzulassen. Darüber hinaus hat die effektive Vermischung der Zuluft mit der Raumluft zur Folge, dass gegenüber einem Quellluftsystem Zuluft mit größerer Untertemperatur in den Raum eingebracht werden kann. Die Kühlleistung, die thermisch behaglich in den Aufenthaltsbereich eingebracht werden kann, steigt.



Abbildung 5: Ansicht: Fassade bei $x=0$; Visualisierung einer instationären Raumluftrömung im Kühlfall bei einer Zykluszeit von 40 Sekunden; Die Höhe des gekühlten Luftvolumens beträgt etwa 0,9m bei einer Untertemperatur von 8K

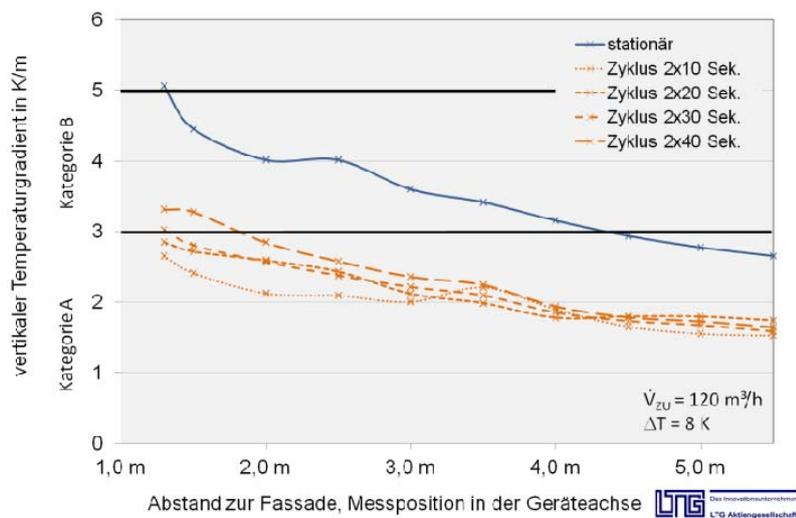


Abbildung 6: vertikaler Lufttemperaturunterschied zwischen 0,1m und 1,1m Höhe für stationäre und instationäre Zuluftbringung im Kühlfall; Zuluftvolumenstrom = 120 m³/h; Untertemperatur der Abluft-Zuluft = 8K

Regelung instationärer dezentraler Lüftungsgeräte

Die Regelung stationär betriebener dezentraler Geräte unterscheidet sich grundlegend von der zentraler Geräte, da durch die direkte Anbindung an die Außenluft sowohl der Wärmerückgewinner als auch der Wärmeübertrager vor möglichem Einfrieren geschützt werden müssen. Im Fall des Wärmerückgewinners wird dies realisiert, indem entweder ein Bypass genutzt oder der Frischluftvolumenstrom um einen Umluftanteil verringert wird. Wird der Bypass geöffnet, strömt kalte Luft bis zum Wärmeübertrager. Es muss in eine aufwändige Regelung und schnell stellende Heizventile mit stetigem Regelverhalten investiert werden. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die Zulufttemperatur in den unbehaglichen Bereich absinkt und die Regelung den Frostschutz aktiviert. Diese sowohl konstruktiven als auch regelungstechnischen Maßnahmen sind in einem instationär betriebenen dezentralen Lüftungsgerät, das mit regenerativer Wärmerückgewinnung arbeitet, nicht notwendig. Durch die alternierende Be- und Entladung des Regenerators herrschen am Wärmeübertrager selbst bei Außenlufttemperaturen von -12°C und Wärmerückgewinnungsgraden von 80% noch Temperaturen von über 10 °C. Ein Bypass am Wärmerückgewinner ist nicht notwendig, da ein Einfrieren bei ausreichend geringer Zykluszeit nicht möglich erscheint. Die in einem Rekuperator stetig kondensierenden Feuchtigkeitsmengen werden im Regenerator wieder zurück gewonnen.

Wird die zyklische Betriebsweise der Klappenregelung in die Motoransteuerung der Klappe ausgelagert und diese Funktion somit nicht durch das externe Regelungssystem erbracht, dann sind handelsübliche Raumtemperaturregler auch in der dezentralen Anwendung erstmals nutzbar. So kann auf anspruchsvolle MSR-Technik inklusive der entsprechenden Folgekosten verzichtet werden.

Innovative instationäre Lüftungskonzepte

Instationäre Lüftungssysteme, die den Volumenstrom zyklisch variieren, verursachen Druckschwankungen im Raum, wenn temporär unterschiedlich hohe Volumenströme zu- und abgeführt werden. Diese Druckschwankungen können verhindert werden, indem innerhalb eines Raumes mehrere Geräte installiert werden, oder Luftdurchlässe Ausgleichsströmungen im Gebäude ermöglichen. Diese Druckschwankungen bieten auf der anderen Seite das Potenzial, um mithilfe von Öffnungen innerhalb des Gebäudes Innenbereiche dezentral zu belüften. Diese Öffnungen können neben Türspalten auch schallgedämpfte Überströmelemente sein, wie sie bereits standardmäßig in Flurwände eingebaut werden. Ein weiterer Unterschied zu stationär betriebenen Lüftungsgeräten besteht darin, dass höhere Volumenströme bei konstanter Schallemission gefördert werden können. Kombiniert man diese Eigenschaft mit der Möglichkeit, Gebäudezonen über Überströmelemente und eine entsprechende Gebäudeleittechnik miteinander zu verbinden, ergibt sich eine Vielzahl an innovativen Lüftungskonzepten (Abbildung 7). Beispielsweise lassen sich während der Nachtstunden auch die innen liegenden Räume mit kühler Nachtluft durchströmen und damit auskühlen. Dabei wird das Gebäude mit bis zu 4-fachem Luftwechsel quer belüftet, auf der einen Seite werden alle Geräte auf Zuluftbetrieb gestellt, auf der gegenüber liegenden

wird nur Abluft gefördert. Vorteilhaft gegenüber einer Ablufführung über die Fenster ist, dass auch Innenzonen gekühlt werden und Wetter-, Insekten- und Einbruchsschutz dabei weiterhin gegeben sind. Eine Bedarfslüftung kann bei den raumweisen instationären Geräten einfach umgesetzt werden, aber auch zur Belüftung der Innenzonen genutzt werden. Die Atemfunktion kann zum Beispiel über einen CO₂ Sensor freigeschaltet werden, der die Raumluftqualität detektiert. Der Raum „holt nur die Luftmenge“, die erforderlich ist. So wird nur die notwendige Frischluft und Energie aufgewendet, die den tatsächlich anwesenden Personen entspricht. Eine Kopplung der maschinellen Lüftung mit Fensteröffnungen führt zur Funktion der hybriden Lüftung. An heißen Sommertagen werden hohe Kühlleistungen benötigt, gleichzeitig ist die Wärmerückgewinnung durch kleine Temperaturdifferenzen zwischen Raumtemperatur und Außentemperatur energetisch sehr ineffizient. Nun kann die alternierende Atemfunktion abgeschaltet werden und bei gekipptem Fenster die Abluft über die Fassade entweichen. Bei gleicher Strömungsakustik wird der doppelte Zuluftvolumenstrom zugeführt, mit nahezu der doppelten Kühlleistung.

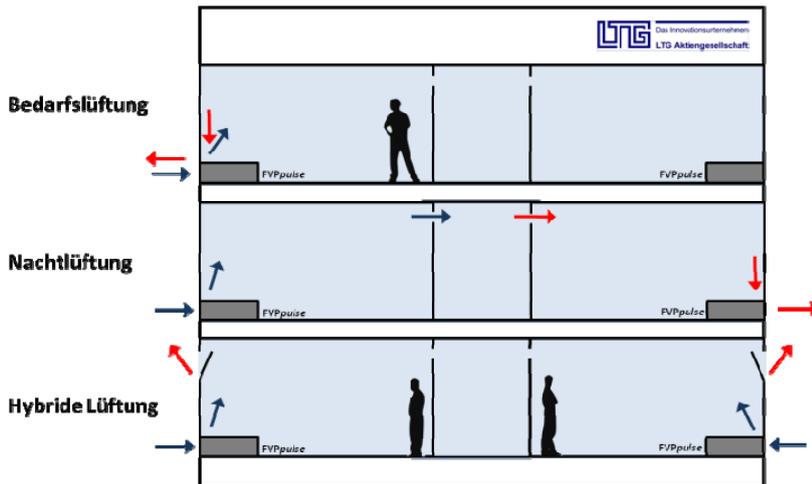


Abbildung 7: Mögliche Lüftungskonzepte für instationäre Lüftungssysteme; „hybride Lüftung“ kann mit einem einfachen Raumbediengerät realisiert werden; Da für die Variante „Nachtlüftung“ mehrere Geräte im Gebäude miteinander kommunizieren und auch Innenzonen belüftet werden, ist hier die Anbindung an eine Gebäudeleittechnik notwendig.

Das Potenzial instationärer dezentraler Klimatisierung

Die dargestellten Messergebnisse zeigen, dass eine instationäre Klimatisierung bei dezentralen Lüftungsgeräten durch eine Umsetzung mit einer raumnahen multifunktionalen Klappensteuerung möglich ist. Es ergeben sich durch Halbierung der Luftwege und Schnittstellen wesentliche Vorteile bei der Fassadenintegration. Durch die systembedingte Reduzierung der Systemkomponenten und wesentlich vereinfachte Anforderungen an die Regelungskomponenten ergibt sich ein wirtschaftlicher Benefit. Ein Regenerator zur Wärmerückgewinnung hat als WRG Temperaturänderungsgrade von bis zu 90%, ohne dass ein Einfrieren im realen Betrieb zu erwarten ist. Die Raumströmung weist eine deutlich erhöhte Lüftungseffektivität auf, da die impulshafte Lufteinbringung zu einer verstärkten Vermischung der kalten Zuluft mit der warmen Raumluft führt. Weitere Messungen sollen zeigen, ob durch geeignete Regeneratorbeschichtungen auch die Feuchterückgewinnung nennenswert beeinflusst werden kann. Des Weiteren ist zu untersuchen, ob sich die instationäre Betriebsweise, das Atmen des Geräts, positiv auf die Filterstandzeit und damit die Wartungskosten auswirkt.