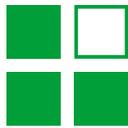


# Impulslüftung für bessere Luftqualität

## Instationäre RLT-Anlage zur intermittierenden Raumlüftung



RLT-Anlagen werden üblicherweise stationär und kontinuierlich betrieben. Sie bestehen aus einem oder mehreren Abluftsträngen und einem oder mehreren Zuluftsträngen. Im Folgenden wird das intermittierende Verfahren vorgestellt, das als alternierende Betriebsweise den Raum nicht mehr stationär mit Luft versorgt.

**Dr.-Ing. Christoph Kaup**  
Geschäftsführender Gesellschafter,  
Howatherm Klimatechnik GmbH

Üblicherweise werden heute RLT-Anlagen eingesetzt, die aus einem oder mehreren Abluftsträngen und einem oder mehreren Zuluftsträngen bestehen, welche kontinuierlich und damit stationär betrieben werden (Bild 1). Der wesentliche Unterschied des intermittierenden Verfahrens mit einer

alternierenden Betriebsweise der Raumlüftung gegenüber der herkömmlichen stationären Raumlüftung liegt in der neuen Funktion der RLT-Anlage, die nicht mehr stationär den Raum mit Luft versorgt [1].

Im instationären Verfahren wird die RLT-Anlage so betrieben, dass zwischen den einzelnen Zuluft- und Abluftsträngen intermittierend umgeschaltet wird und damit die einzelnen Stränge alternierend betrieben, also zeitlich abwechselnd beaufschlagt werden. Dabei werden die einzelnen Stränge in einem Zyklus umgeschaltet, so dass sich keine stationären Strömungszustände im Raum aufbauen können (Bilder 2 und 3). Gleichzeitig kann dabei trotz des alternierenden Betriebs sowohl die Zuluft als auch die Abluft im RLT-Gerät kontinuierlich aufbereitet werden. Somit können konventionelle RLT-Geräte mit den üblichen Komponenten für diese neue Betriebsweise verwendet werden.

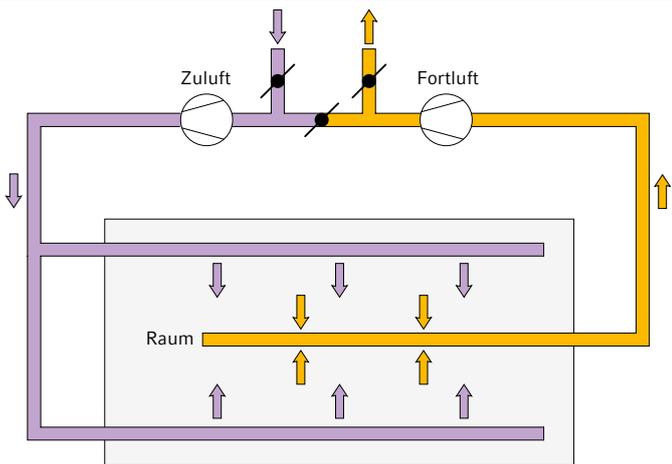
Hierbei wird systembedingt mit diesem Verfahren der gleiche Raumströmungseffekt erzielt, der auch mit dem 2007 entwickelten Umschaltregeneratorsystem „TwinXchange“ erreicht wird [2].

Über Umschaltklappen in den einzelnen Kanalsträngen wird dabei zwischen den einzelnen Betriebszuständen vollständig (Bild 4) oder teilweise umgeschaltet (Bild 5).

So besteht z. B. die Möglichkeit, die einzelnen Stränge nicht nur zwischen den Luftmengen 0 % und 100 % umzuschalten, sondern beispielsweise zwischen 20 % und 80 % alternierend zu betreiben. Damit können zwischen Volllastzustand und Teillastzuständen die optimalen Betriebszustände durch die Festlegung der Strömungsimpulse gewählt werden.

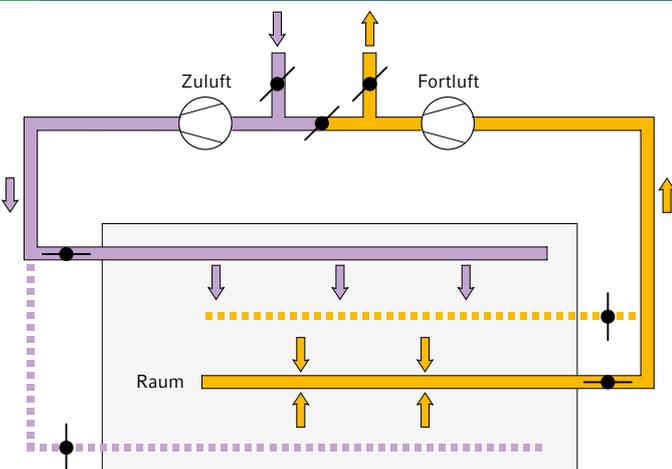
Im Volllastzustand, das heißt bei voller Luftmenge, wird die Anlage mit einem stationären Betriebszyklus von 100/100 % (alle Stränge komplett geöffnet), also konventionell betrieben, um eine Überdimensionierung der Komponenten (Kanäle und Auslässe) zu

### 1 Konventioneller, stationärer Betrieb



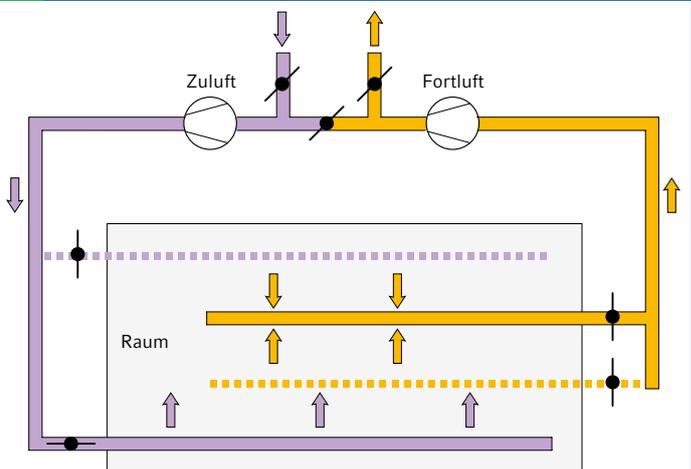
Zuluftstränge und Abluftstränge (stationäre Betriebsweise)

### 2 Phase 1 des instationären Betriebs



Betrieb über Zuluftstrang 1 und Abluftstrang 2 (Phase 1)

### 3 Phase 2 des instationären Betriebs



Betrieb über Zuluftstrang 2 und Abluftstrang 1 (Phase 2)

vermeiden, damit im Teillastbetrieb die Vorteile der instationären Betriebsweise in vollem Umfang genutzt werden können. Im Teillastbetrieb bei z. B. 50 % Luftmenge kann der Betriebsmodus 0 % / 100 % aber auch 20 % / 80 % gewählt werden [3] .

### Verbesserter Teillastbetrieb

RLT-Anlagen werden selten bei voller Leistung, sondern meist im Teillastbereich betrieben, wobei die Komponenten für die Raumströmung auf den Dimensionierungsfall (Volllastbetrieb) optimal ausgelegt werden.

Werden aber z.B. Impulslüftungssysteme im Teillastbetrieb mit geringerer Luftmenge betrieben, verändert sich die Charakteristik der Luftauslässe (Strahleindringtiefe) erheblich. Dies wird am Beispiel eines beliebigen Drallauslasses im Heizbetrieb bei einer Temperaturdifferenz von 10 K (Bilder 7 und 8) exemplarisch deutlich.

Dabei wird ersichtlich, dass die Strahleindringtiefe bei konstanter Temperaturdifferenz proportional mit sinkender Luftgeschwindigkeit abnimmt. Zwar kann ein Drallauslass prinzipiell zwischen 40 % und 100 % der Sollluftmenge variabel betrieben werden, allerdings erkennt man aus Bild 8, dass dann die Strahleindringtiefe im Beispiel bei  $\Delta t = 10 \text{ K}$  von 9,1 m auf 3,8 m sinkt.

Soll aber die Strahleindringtiefe mindestens 7,3 m betragen, um den Aufenthaltsbereich noch mit Zuluft zu versorgen, wird klar, dass der Luftauslass nur bis minimal 80 % seiner Sollluftmenge betrieben werden kann.

Durch diese Limitierung wird das Regelverhalten der RLT-Anlage drastisch eingeschränkt, da die Anlage mit mindestens 80 % ihrer Auslegungsmenge betrieben werden muss.

Somit wird das Regelverhalten im Beispiel von 40 % bis 100 % auf 80 % bis 100 % reduziert, wodurch aber gleichzeitig Energieeffekte wesentlich verringert werden.

Beim instationären Betrieb der Anlage wird bis zu einer Gesamtluftmenge von 50 % mindestens jeweils 1 Strang pro Periode mit der maximalen Luftmenge versorgt, für den die Auslässe ausgelegt wurden. Somit bleibt die Strömungsgeschwindigkeit der Auslässe bis 50 % der Sollluftmenge im jeweils dominanten Strang konstant und auch die Strahleindringtiefe bleibt im Beispiel bei 9,1 m konstant (Bild 9).

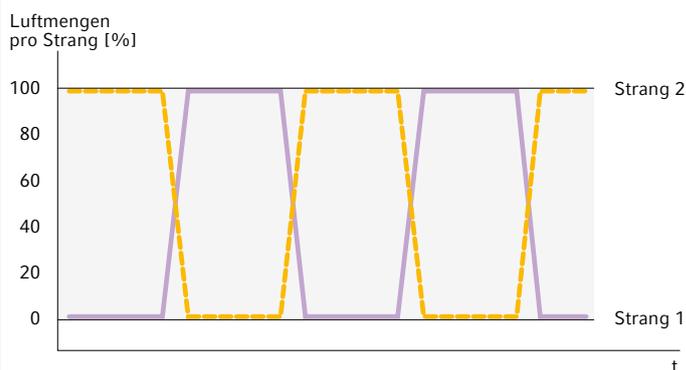
Die noch zu tolerierende Strahleindringtiefe von 7,3 m wird im instationären Betrieb erst bei einer Luftmenge von 40 % der Sollluftmenge erreicht. Damit kann das instationäre Verfahren tatsächlich bis zu einer Luftmenge von 40 % bei gleichzeitig verbesserter Lüftungseffektivität funktionsfähig betrieben werden.

Das Bild 10 stellt nun die effektive Luftmengenreduzierung im Vergleich zur konventionellen Lüftung dar. Im konventionellen Betrieb werden bei einer Luftmenge von 80 % im instationären Betrieb lediglich 69 % der Sollluftmenge benötigt, um die gleiche Effektivität zu erreichen. Oder bei 60 % im konventionellen Betrieb werden im direkten Vergleich nur 48 % im instationären Betrieb benötigt. Dies bedeutet, dass im instationären Betrieb erheblich Elektroenergie und Lüftungswärme eingespart werden können.

Die Verbesserung der Effektivität stellt Bild 11 dar, wobei der Bereich unter 40 % zwar theoretisch genutzt werden könnte, aber bei einer tolerierten Mindeststrahlentiefe (im Vergleich zur konventionellen Lüftung 80 %) nicht sinnvoll zu verwenden ist.

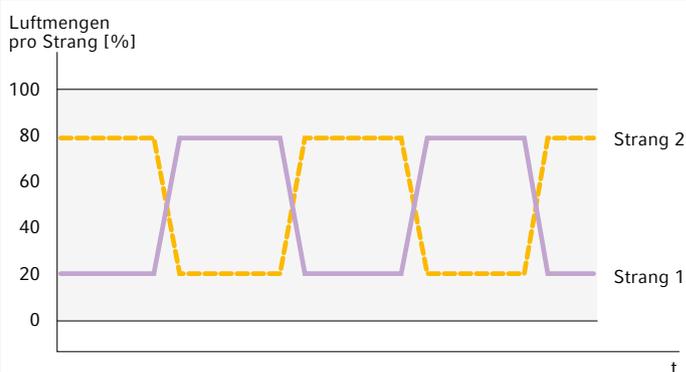
Betrachtet man die mögliche Temperaturübertragung eines Drallauslasses, ergibt sich ein ähnliches Bild. Bei voller Luftmenge kann ein Auslass z. B. eine Temperaturdifferenz von 10 K

## 4 Schaltzustände



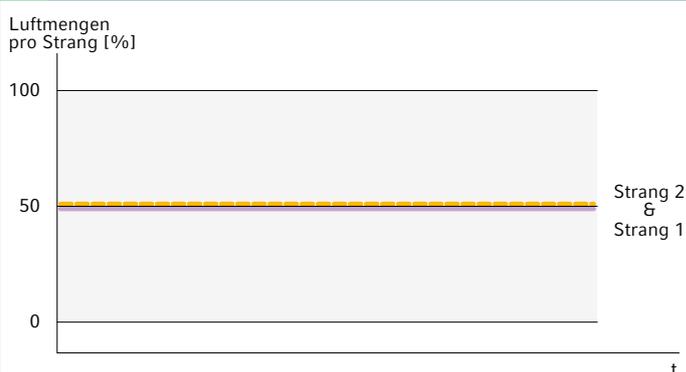
Instationärer vollständiger Umschaltbetrieb

## 5 Schaltzustände



Instationärer teilweiser Umschaltbetrieb

## 6 Konventioneller Dauerbetrieb



Stationärer Teillastbetrieb

### Info

#### Einsatzbereiche

Der intermittierende Betrieb ist sinnvoll für große Räume (Industrie-, Veranstaltungshallen, Schwimmbäder etc.). Um einen intermittierenden Betrieb einrichten zu können, müssen mindestens zwei Kanalstränge vorhanden sein.

bei maximaler Strahlhöhe in den Aufenthaltsbereich „übertragen“.

Wird die Luftmenge im Teilastbetrieb reduziert, verringert sich bei konstanter Zulufttemperatur die mögliche Temperaturübertragung im konventionellen Betrieb sehr deutlich (Bild 12).

Im instationären Betrieb kann dagegen die mittlere Temperaturdifferenz der beiden alternierend betriebenen Stränge deutlich erhöht werden. Somit erhöht sich ebenfalls die mögliche Wärmeleistung signifikant, die bei gleicher Zulufttemperatur in den Aufenthaltsbereich übertragen werden kann. Das Bild 13 stellt im Vergleich die mögliche

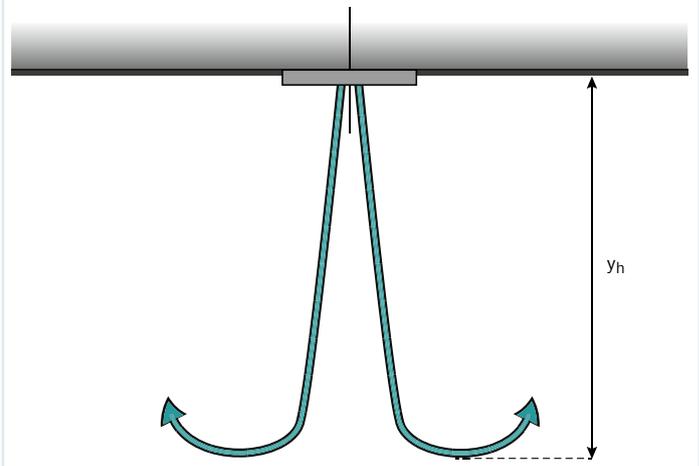
relative Leistung dar, welche in Abhängigkeit der Luftmengen bei konstanter Zulufttemperatur übertragen wird.

An diesem Beispiel erkennt man eindeutig die Steigerung der Effizienz durch die Verwendung der instationären Lüftung.

Ein geringerer Einfluss ergibt sich im Kühlfall, da dort die Impulslüftung üblicherweise entlang der Decke erfolgt (Bild 14).

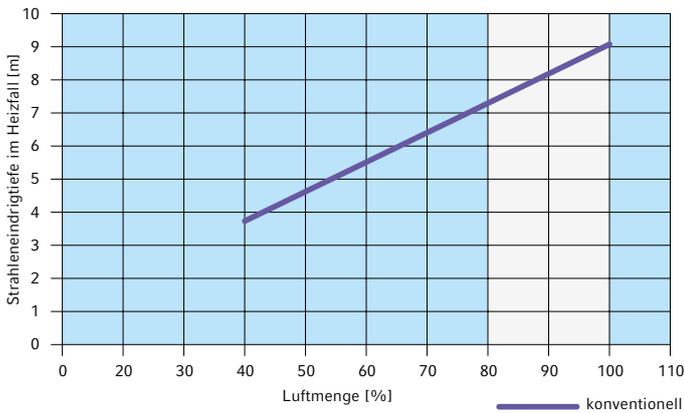
Zwar folgt der kritische Strahlweg ( $x_{kr}$ ) den gleichen Gesetzen, denen auch die Strahleneindringtiefe zugrunde liegt, allerdings fällt durch die Luftführung entlang der Decke der Einfluss auf den Aufenthalts-

## 7 Strahleneindringtiefe ( $y_h$ )



Drallauslass im Heizfall

## 8 Strahleneindringtiefe ( $y_h$ ) in m zur Luftmenge



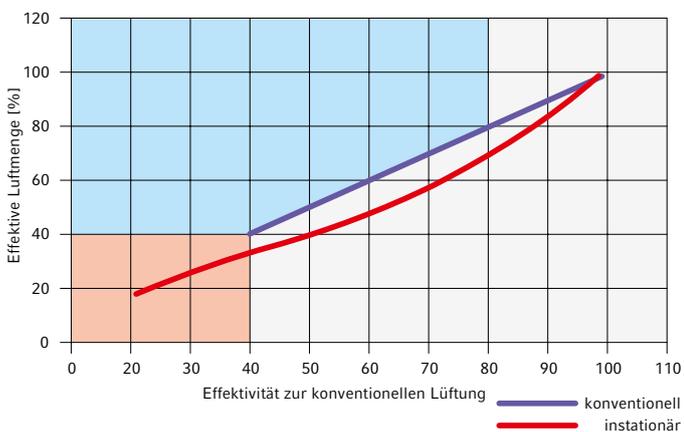
Drallauslass im Heizfall

## 9 Strahleneindringtiefe ( $y_h$ ) in m zur Luftmenge



Drallauslass im Heizfall

## 10 Effektive Einsparung im Heizbetrieb



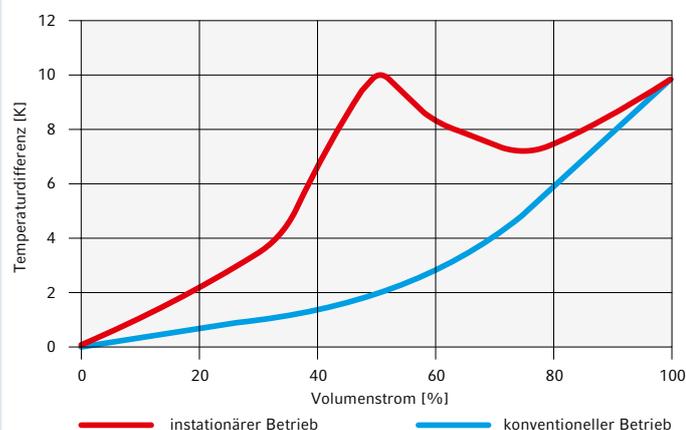
Effektivität bei konventionellem und instationärem Betrieb

## 11 Effektive Einsparung im Heizbetrieb



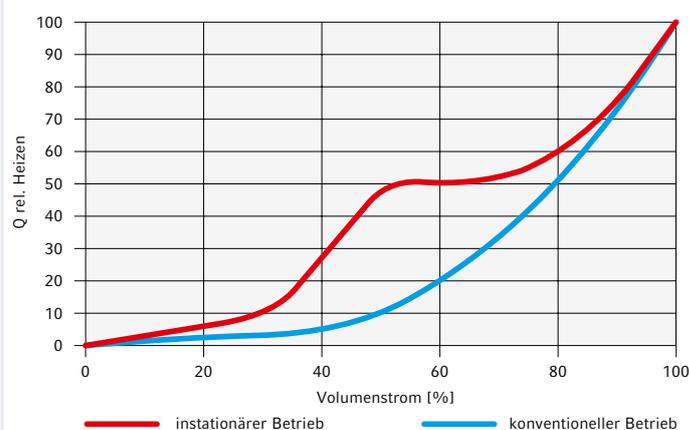
Effektivitätssteigerung bei instationärem Betrieb

## 12 Temperaturübertragung



Drallauslass im Heizbetrieb

## 13 Leistungsübertragung



Drallauslass im Heizbetrieb

bereich deutlich geringer aus, als dies beim Heizen (Strahlein- dringtiefe) der Fall ist.

Im Bild 15 ist am realen Beispiel eines Hörsaals der typische Verlauf der benötigten Luftmengen im Teillastbetrieb dargestellt. Diese Raumlufttechnische Anlage wird über eine CO<sub>2</sub>-geführte

Luftmengenregelung betrieben.

Es wurden Luftmengen zwischen 60 % und 90 % während des Vorlesungsbetriebs an einem durchschnittlichen Referenztag benötigt. Ein Volllastbetriebszustand wurde nicht benötigt.

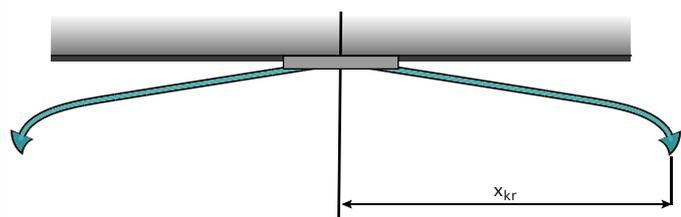
Das Bild 16 zeigt nun die effektive Änderung der benötigten Luftmengen bei instationärer Raumströmung im Vergleich zur konventionellen Raumlüftung.

Durch die erreichte deutliche Luftmengenreduzierung kann die elektrische Leistungsaufnahme im Beispiel von durchschnittlich 2,67 kW auf 1,89 kW

(29,2 %) reduziert werden. Der Lüftungswärmebedarf reduziert sich ebenfalls von 24,9 kW auf 20,6 kW (17,3 %).

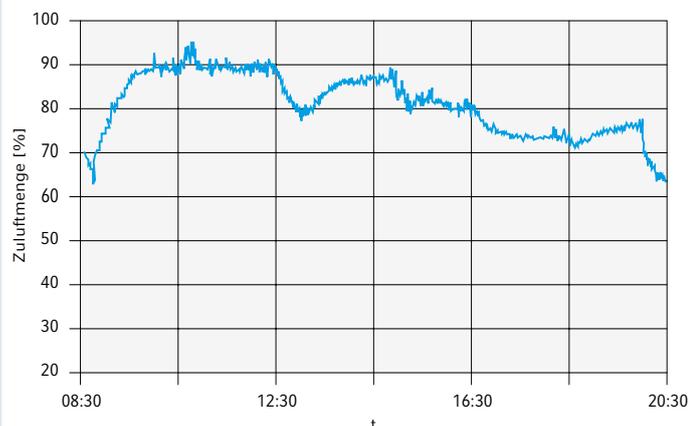
Durch das Verfahren verbessern sich insbesondere im Teillastbetrieb nicht nur die Lüftungseffektivität und die Durchmischung des Raumes, da durch die instationäre Raumströmung eine Art „Stoßbetrieb“ erreicht und durch die impulsbehaftete Strömung eine höhere Induktion bewirkt wird, sondern es erhöht sich auch die Energieeffizienz. Stationäre Raumströmungen werden dabei verringert und es wird eine ef-

## 14 Kritischer Strahlweg ( $x_{kr}$ )



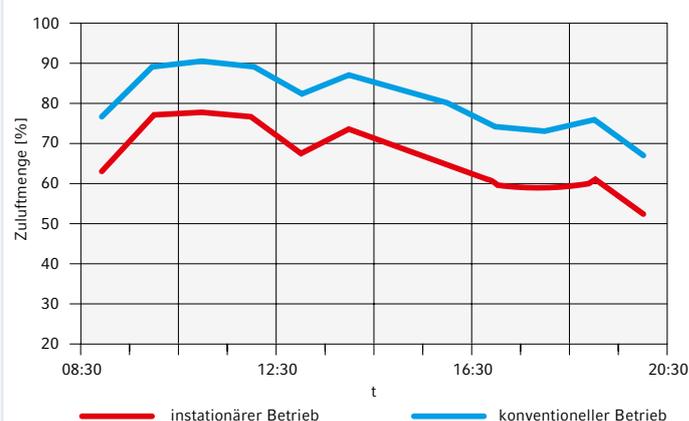
Drallauslass im Kühlfall

## 15 Typischer Luftmengenbedarf



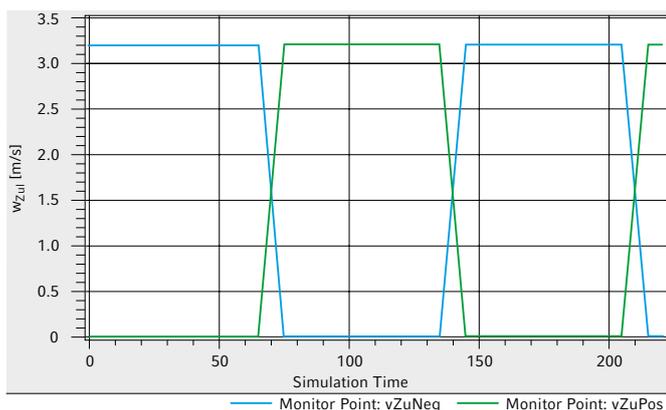
Teillastverhalten eines Hörsaals

## 16 Typischer Luftmengenbedarf



Reduzierung des Luftmengenbedarfs durch instationären Betrieb

## 17 Strömungsimpulse



Betrachtung während der einzelnen Zyklen

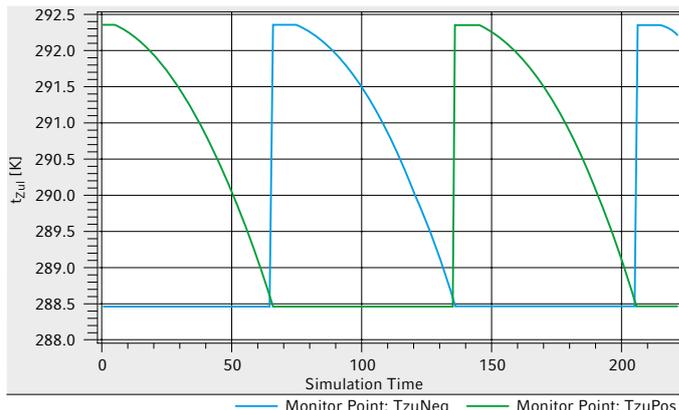
effektivere Raumdurchströmung erzielt.

Bei 3D-Strömungssimulationen (CFD [4]), die nach vergleichenden Berechnungen an der alternierenden und an einer konventionellen Lüftungsanlage durch den TÜV Süd vorgenommen wurden, stellte sich ebenfalls heraus, dass durch die intermittierende Betriebsweise (instationäre Strömung) die benötigten Luftwech-

Gleichzeitig wurde aber auch die Zulufttemperatur während des Zyklus um 4 K von 19,4°C auf 15,4°C variiert, um neben dem instationären Strömungsimpuls (Bild 17) auch einen instationären Temperaturimpuls (Bild 18) berücksichtigen zu können.

Die instationären Strömungszustände wurden an einem Hallensegment mit 20 m Hallenbreite, 4,8 m Hallenhöhe und

## 18 Temperaturimpulse

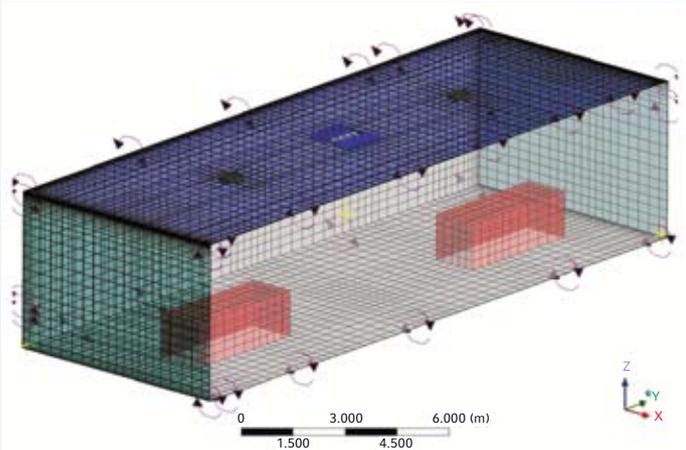


Betrachtung während der einzelnen Zyklen

da sich durch die erzwungene instationäre Raumströmung (diffuses Strömungsfeld) geringere stationäre Raumströmungswalzen aufbauen.

Es zeigte sich weiterhin, dass sowohl die Temperaturverteilung in der Mittelebene des Raumes (Bild 22) als auch die CO<sub>2</sub>-Konzentration des verwendeten Tracerstoffes sehr homogen verteilt waren und deutlich bessere Ergebnisse im Vergleich zur konventionellen stationären Lüftung erzielt wurden (Bild 23). Dieses Ergebnis ist deshalb so beachtenswert, da sich theoretisch bei gleicher Luftmenge auch gleiche Konzentrationen hätten einstellen müssen. Tatsächlich haben sich allerdings die mittleren Raumkonzentrationen im direkten Vergleich bei reduzierten Raumströmungsgeschwindigkeiten deutlich verringert.

## 19 Raummodell (Hallensegment)



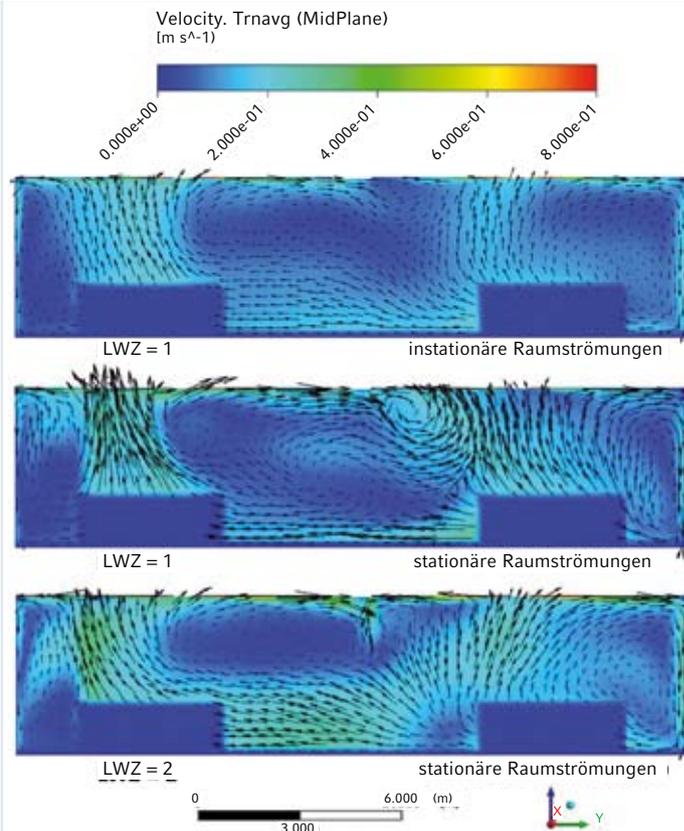
Mit zwei Zuluftöffnungen und einer Abluftöffnung

sel reduziert werden können, denn die Luftqualität wird durch die Impulslüftung signifikant verbessert. Hierbei wurde eine konventionelle Lüftungsanlage (stationäre Raumströmung) mit einer Luftwechselzahl (LWZ) von 2 und einem Luftwechsel von 1 mit zwei intermittierenden Anlagen (instationäre Raumströmung) mit einem Luftwechsel von 1 verglichen.

7,7 m Segmentbreite berechnet, das periodisch verknüpft wurde (Bild 19).

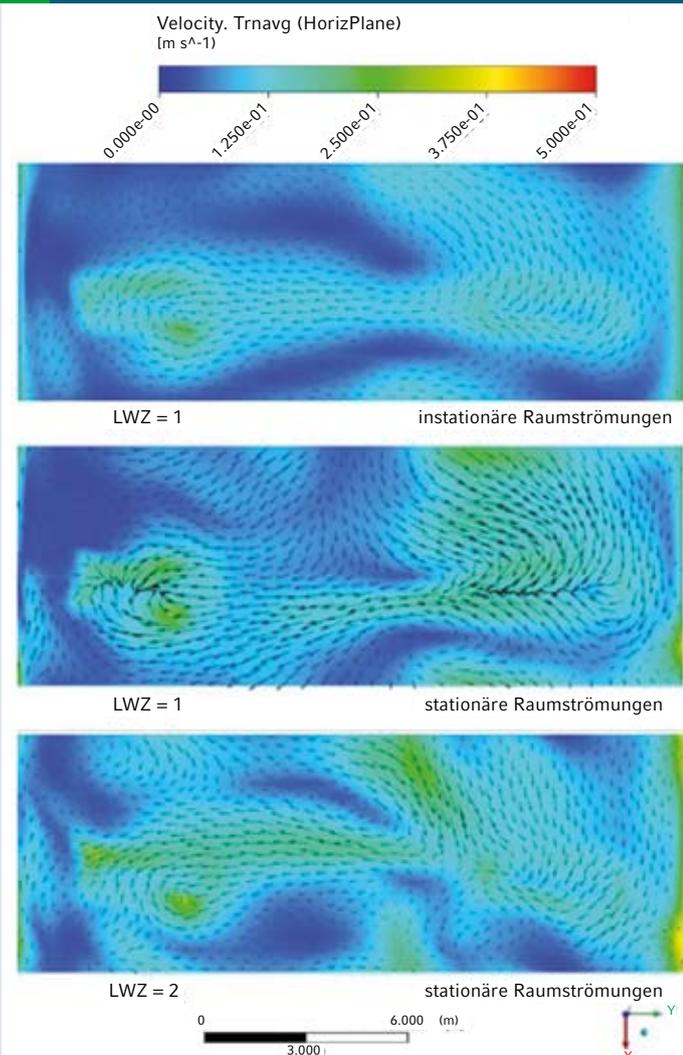
Bei den CFD-Simulationen ergab sich, dass trotz der höheren Ausblasgeschwindigkeiten am Gitter die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten im Raum niedriger und ungerichteter waren (Bilder 20 und 21). Damit können die Behaglichkeit und der Komfort gesteigert werden,

## 20 Strömungsgeschwindigkeiten



Vertikaler Schnitt im Vergleich [5]

## 21 Strömungsgeschwindigkeiten



Horizontaler Schnitt 1,8 m im Vergleich

Wenn nun keine erhöhten thermischen oder stofflichen Lasten abgeführt werden müssen, die zwingend eine höhere Luftmenge fordern, kann mit dem instationären Verfahren die Lüftungseffektivität auch mit niedrigeren Luftmengen bei weiter gesteigerter Behaglichkeit sichergestellt werden. Durch die bessere Temperaturverteilung können aber auch höhere Temperaturdifferenzen (Bilder 18 und 22) toleriert werden.

### Fazit

Durch die intermittierende Be- und Entlüftung wird die Lüftungseffektivität – also die Durchmischung des Raumes – verbessert. Bei den Strömungssimulationen, die durch den TÜV Süd unter Verwendung des alternierenden Verfahrens erstellt wurden, zeigte sich, dass durch die intermittierende Betriebsweise (Stoßbetrieb) die benötigten Luftwechsel reduziert werden können, da die Luftqualität durch die Impulslüftung verbessert wird. Hierdurch verbessert sich zusätzlich die Behaglichkeit im Raum deutlich. Dies zeigen

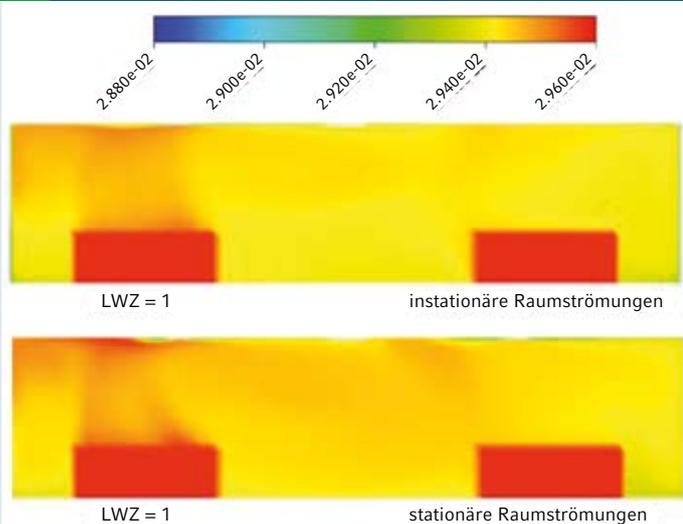
auch die Betrachtungen zu den Luftauslässen und deren Charakteristiken.

Dieser Umstand wirkt sich letztendlich wirtschaftlich vorteilhaft bei der Dimensionierung der Anlagen aus, da hierdurch deutlich Energie eingespart werden kann. Bei üblichen Teillastzuständen können im direkten Vergleich bis zu 40 % an Elektroenergie und bis zu 20 % an Lüftungswärme eingespart werden.

### Literatur

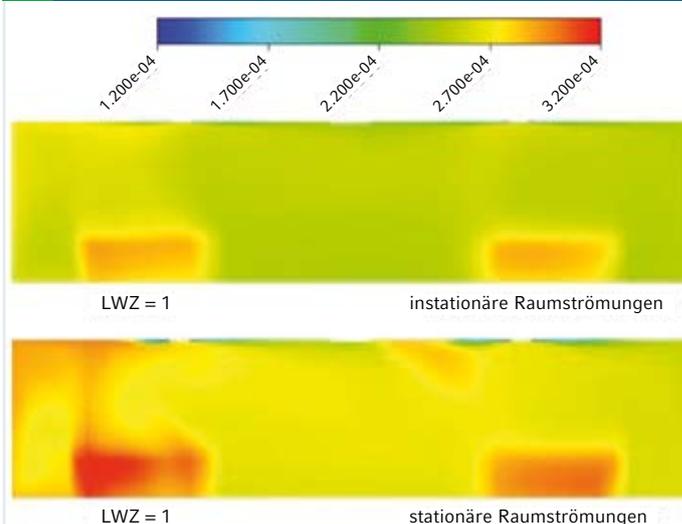
- [1] Kaup, C., Neues Verfahren zur Raumlüftung zur intermittierenden und instationären Raumlüftung, HLH 4/2011
- [2] Kaup, C., Neues Verfahren zur Raumlüftung mit Hochleistungs-Wärmerückgewinnung, HLH 3/2009, Patent DE 10 2007 012 198.0
- [3] Patent DE 10 2009 009 109.2 Raumlüftungstechnisches Verfahren
- [4] CFD Computational Fluid Dynamics durch den TÜV Süd 2008/2009
- [5] Untersuchungen verschiedener Varianten zur Hallenbelüftung mit dem 3D-Strömungssimulationsprogramm ANSYS CFX

## 22 Temperaturverteilung im Vergleich



Bei LWZ = 1

## 23 Konzentrationsverteilung



CO<sub>2</sub>-Tracerstoff im Vergleich bei LWZ = 1