cci 14. September 2017 Autor: Dr.-Ing. Manfred Stahl

Entsprechen Schulräume ohne mechanische Lüftung dem Stand der Technik?

Donnerstag ist Techniktag. Heute geht es um das Thema natürliche oder mechanische Schullüftung.

Beispiel für den Einsatz dezentraler Lüftungsgeräte in einem Klassenraum (Abb. Trox)

Mit folgenden Aussagen will die Redaktion bewusst zur Diskussion anregen. Unser Statement lautet:

Wenn Klassenräume ohne sicher funktionierende Einrichtungen zur ganzjährig ausreichenden Zuführung von Außenluft und zur Abführung von belasteter Abluft genutzt werden, entsprechen diese nicht der Arbeitsstättenrichtlinie (ASR) und geltenden Regeln der Technik. Dieses Fehlen kann in vielen Fällen durchaus als Baumangel gewertet werden. Meist können die Anforderungen zur dauerhaften Sicherstellung einer hygienischen und gesunden Raumluft in Klassenräumen (Mindestaußenluftvolumenströme, CO_2-Gehalt, Temperaturen, Feuchten) nur durch mechanische Lüftungsanlagen erfüllt werden.

Aus dem Inhalt

Richtlinien und Verordnungen zeigen: Schulräume ohne Lüftung sind nicht Stand der Technik
Beweis 1: Lüftung in der ASR 3.6
Freie Lüftung als Alternative?
Beispielrechnung zur freien Lüftung
RLT-Anlagen für Klassenräume
Beweis 2: Die VDI-Richtlinie 6040 zur Schullüftung
Beispiel für einen CO2-Konzentrationsverlauf

Richtlinien und Verordnungen zeigen: Schulräume ohne Lüftung sind nicht Stand der Technik

Wenn Klassenräume ohne Möglichkeiten und Systeme zur kontinuierlichen Zuführung von Außenluft und zur Abführung von belasteter Abluft genutzt werden, entsprechen diese nicht der Arbeitsstättenrichtlinie (ASR) und geltenden Regeln der Technik. Dieses Fehlen ist ein eindeutiger Baumangel. Die Anforderungen zur dauerhaften Sicherstellung einer hygienischen und gesunden Raumluft in Klassenräumen können in den allermeisten Fällen nur durch mechanische Lüftungsanlagen erfüllt werden. Nachfolgend eine "Beweisführung" zu diesen Aussagen.

Klassenzimmer sind Arbeitsräume. Dies gilt zwar weniger für die Schüler, die sich darin aufhalten (obwohl diese eigentlich die Hauptpersonen sein sollten), aber dafür für die dort tätigen Lehrer. Für sie sind Klassenzimmer tägliche Arbeitsräume. Und für Arbeitsräume gelten in Deutschland die Arbeitsstättenverordnung (ASV) und die sie konkretisierenden Arbeitsstättenregeln (ASR). Das Thema Lüftung von Arbeitsstätten wird in der ASR A3.6 „Lüftung" behandelt. Die ASR 3.6 ist 2012 in einer Neufassung erschienen und enthält Aussagen und Anforderungen zum dauerhaften Sicherstellen einer gesunden Luftqualität in Arbeitsstätten in Gebäuden, für die der Betreiber verantwortlich ist. Nachfolgend einige wichtige Aussagen aus der ASR 3.6, die für Klassenräume und für die Schullüftung interpretiert werden.

Beweis 1: Lüftung in der ASR 3.6

Nach § 3 der ASV hat "der Arbeitgeber dafür zu sorgen, dass Arbeitsstätten den Vorschriften dieser Verordnung einschließlich ihres Anhanges entsprechend so eingerichtet und betrieben werden, dass von ihnen keine Gefährdungen für die Sicherheit und die Gesundheit der Beschäftigten ausgehen." Als Arbeitgeber von Lehrern sind also der Schulrektor beziehungsweise das Schulamt für das Einhalten dieser Forderung und für die Schullüftung verantwortlich.

In der ASR A3.6 wird der Begriff "Lüftung" wie folgt definiert: "Lüftung ist die Erneuerung der Raumluft durch direkte oder indirekte Zuführung von Außenluft durch freie Lüftung oder RLT-Anlagen." Zur Raumluftqualität steht im Absatz 4.1 folgende Aussage: "In umschlossenen Arbeitsräumen muss gesundheitlich zuträgliche Atemluft in ausreichender Menge vorhanden sein. In der Regel entspricht dies der Außenluftqualität." Eine Ergänzung dazu befindet sich im Kapitel 4.1.5: "Treten trotz bestimmungsgemäßer Nutzung des Arbeitsraums und der Lüftung gemäß den Vorgaben dieser ASR Beschwerden bei Beschäftigten über die Luftqualität auf, ist zu prüfen, ob und gegebenenfalls welche weitere Maßnahmen durchzuführen sind. Geeignete Maßnahmen sind zum Beispiel zeitweise verstärkte Lüftung, Änderung der Raumnutzung, Umsetzen der Be-

schäftigten in andere Räume, Einbau oder Anpassung einer RLT-Anlage."

Wann ist die Raumluft hygienisch gut und gesundheitlich zuträglich oder schlecht? Dazu konkretisiert die ASR 3.6 wie folgt: Sofern die Raumlasten wesentlich von Personen verursacht werden - was bei Klassenräumen durchaus zutrifft, ist die CO_2-Konzentration in der Raumluft ein "anerkanntes Maß für die Bewertung der Raumluftqualität". Dafür setzt die ASR folgende Leit- und Grenzwerte:

CO_2-Konzentration in der Raumluf	**Raumluftqualität**
< 1.000 ppm	in Ordnung
1.000 bis 2.000 ppm	grenzwertig. Empfohlene Maßnahmen: Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern, einen Lüftungsplan aufstellen, den Außenluftvolumenstrom erhöhen.
> 2.000 ppm	nicht in Ordnung. Empfohlene Maßnahmen: nochmals verstärkte Lüftung, Verringerung der Personenzahl im Raum.

Ein Zwischenfazit

Die Aussage der ASR "zuträgliche Atemluft entspricht der Außenluftqualität" ist in Klassenräumen ohne mechanische Lüftung kaum zu erfüllen. Dazu ein Beispiel.

Wenn sich 25 Schüler in einem unbelüfteten Klassenraum befinden, (Raumvolumen 300 m³, Anfangskonzentration CO_2 = 500 ppm, Luftwechsel null), steigt die CO_2-Konzentration nach der ersten Unterrichtsstunde (45 min) auf 1.730 ppm und nach der zweiten Unterrichtsstunde auf 2.790 ppm an. Damit liegt die CO_2-Konzentration im Klassenzimmer bereits nach etwa einer Stunde sogar über dem zweiten Grenzwert nach ASR 3.6. Zum CO_2 hinzu kommen Schad- und Geruchsstoffe, zum Beispiel aus Einrichtungsgegenständen und der Kleidung, die die Raumluft belasten. Insofern ist die Aussage "die Raumluftqualität ist in Ordnung, wenn sie der Qualität der Außenluft entspricht" (diese hat einen CO_2-Gehalt von rund 500 ppm), wohl nur durch den Betrieb einer ganzjährigen mechanischen Lüftung mit gefilterter Außenluft und ständiger Abführung von belasteter Abluft einzuhalten. Dabei sollte die Luftwechselzahl mindestens 1 h-1 betragen, war aber bei 300 m³/h und 25 Schülern nur 12 m³/h Außenluft pro Person entspräche. Die weiteren Empfehlungen in der ASR, auf Beschwerden oder eine ungenügende Raumluftqualität mit einer „Änderungen der Raumnutzung‟ oder dem "Umsetzen von Personen in andere Räume" zu reagieren, sind im Hinblick auf die übliche Nutzung von Klassenräumen nicht zu realisieren.

Freie Lüftung als Alternative?

Die allermeisten Klassenräume werden heute noch per manueller Fensteröffnung be- und entlüftet. Doch diese sogenannte freie Lüftung, ob als Stoßlüftung (kurzfristige komplette Fensteröffnung) oder als kontinuierliche Lüftung betrieben (dauerhafte Fensteröffnung auf Kippstellung), hat im Hinblick auf die Raumluftqualität (und auch auf die thermische Behaglichkeit) ihre Grenzen. Dazu definiert die ASR wie folgt: "In Arbeitsräumen ist eine ausreichende freie Lüftung nur dann gewährleistet, wenn die erforderlichen Lüftungsquerschnitte und die maximal zulässigen Raumtiefen eingehalten werden" und erläutert zwei verschiedene Systeme der freien Lüftung:

- System 1: einseitige Lüftung mit Zu- und Abluftöffnungen in der gleichen Außenwand.
- System 2: Querlüftung mit Öffnungen in gegenüberliegenden Außenwänden oder in einer Außenwand und in der Dachfläche.

Die allermeisten Klassenräume haben nur eine Außenwand mit darin installierten Fenstern, also kommt dafür das System 1 der einseitigen Lüftung in Frage. Zur Auslegung der Fensterlüftung enthält die ASR 3.6 in einer Tabelle die Mindestöffnungsflächen für eine kontinuierliche Lüftung und für eine Stoßlüftung.

System	Maximal zulässige Raumtiefe bezogen auf die lichte Raumhöhe (h) [m]	Öffnungsfläche zur Sicherung des Mindestluftwechsels	
		für kontinuierliche Lüftung [m²/anwesende Person]	für Stoßlüftung [m²/10 m² Grundfläche]
I Einseitige Lüftung	Raumtiefe = 2,5 x h (bei h > 4 m: max. Raumtiefe = 10 m) (angenommene Luftgeschwindigkeit im Querschnitt = 0,08 m/s)	0,35	1,05
II Querlüftung	Raumtiefe = 5,0 x h (bei h > 4 m: max. Raumtiefe = 20 m) (angenommene Luftgeschwindigkeit im Querschnitt = 0,14 m/s)	0,20	0,60

Tabelle: Mindestöffnungsflächen der Fenster (Summe aus Zuluft- und Abluftflächen) für kontinuierliche Lüftung und für Stoßlüftung (Abb. ASR A3.6)

Beispielrechnung zur freien Lüftung

Zur Wirksamkeit der freien Lüftung enthält die ASR A3.6 im Anhang eine Beispielrechnung für ein Dreh-Kipp-Fenster. Das gekippt geöffnete Fenster (Breite B = 1,0 m, Höhe H =1,2 m) hat am oberen Ende eine maximale Öffnungstiefe von a = 0,11 m. Für dieses Fenster ergibt sich eine Gesamtöffnungsfläche von Akipp = (B x a) + 2 x ((H x a) : 2) = (1,0 m x 0,11 m) x 2 x ((1,2 m x 0,11 m) : 2) = 0,242 m².

Aus der Annahme der ASR, dass die Außenluft im freien Fensteröffnungsquerschnitt (0,242 m²) eine Einströmgeschwindigkeit von 0,08 m/s aufweist (siehe Tabelle), folgt, dass 0,08 m/s x 0,242 m² = 70 m³/h Außenluft durch das Fenster in den Raum einströmt. Benötigt wird aber für die 25 Schüler plus den Lehrer im Klassenraum ein Außenluftvolumenstrom von 26 Personen x 29 m³/h (IDA 3) = 754 m³/h. Das bedeutet, dass das Klassenzimmer mit 11 solchen Fenstern ausgestattet sein müsste, um nach der DIN EN 13779 "Lüftung von Nichtwohngebäuden" zumindest eine mäßige Raumluftqualität IDA 3 sicherzustellen. Und diese Fenster müssten ständig gekippt geöffnet sein.

Zudem stellen sich bei der freien Lüftung weitere Fragen: Wie gut ist dabei die Raumdurchspülung mit Außenluft tatsächlich? Kommt es beim Einströmen kalter Außenluft, besonders in fensternahen Bereichen, zu Zugerscheinungen? Kann der Raum wegen eines möglicherweise hohen Außenlärmpegels oder wegen schlechter Außenluftqualität (Straße) überhaupt natürlich gelüftet werden?

Ein weiterer wichtiger Punkt wird in der ASR gar nicht erwähnt – nämlich die Energieverluste durch freie Lüftung. Bei einem Außenluftvolumenstrom von angenommen 700 m³/h, der per freie Lüftung durch Kippfenster ständig in einen Klassenraum einströmt, ergibt sich bei einer Außentemperatur von 0 °C und einer Raumtemperatur von 20 °C ein Wärmeverlust von 4,7 kW. Das ist viel, wenn man die immer strengeren Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) und die steigenden Kosten zur Wärmeerzeugung berücksichtigt. Mit einem RLT-System und einer integrierten Wärmerückgewinnung könnten mehr als 70 % dieses Wärmebedarfs eingespart werden, und mit guten Luftfiltern in der RLT-Anlage gleichzeitig auch noch eine gute Zuluft- und Raumluftqualität sichergestellt werden.

RLT-Anlagen für Klassenräume

Gemäß ASR sind RLT-Anlagen dann erforderlich, wenn eine freie Lüftung aus verschiedenen Gründen zur Sicherstellung einer gesunden Raumluftqualität nicht ausreicht. Dies ist laut ASR zum Beispiel der Fall, wenn
- die Abmessungen der Räume (besonders die Raumtiefe) eine freie Lüftung nicht ermöglichen,
- innere oder äußere Lasten mit einer freien Lüftung nicht beherrscht werden können, und wenn
- die Fenster nicht ausreichend lange geöffnet werden können (zum Beispiel bei Außenlärm und unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten).

RLT-Anlagen sind laut ASR im Außenluft- und Umluftbetrieb so zu betreiben, dass die Zuluft gemäß dem Stand der Technik gefiltert wird (Luftfilterqualität F7). Zudem darf die RLT-Anlage, zum Beispiel aufgrund einer ungenügenden Wartung, nicht selbst zur Gefahrenquelle werden. Daraus folgt die Pflicht zu regelmäßigen Inspektionen und Wartungen der Lüftungsanlage für einen guten Hygienezustand.

Der Außenluftvolumenstrom einer Schullüftungsanlage ist nach dem Stand der Technik (DIN-Normen, VDI-Richtlinien) so auszulegen, dass die Lasten zuverlässig abgeführt werden können und die CO_2-Konzentration in der Raumluft unter 1.000 ppm bleibt. Diese Anforderung führt sinngemäß zum Einhalten der Raumklasse IDA 2 oder IDA 3 gemäß DIN EN 13779, die sich an einer CO_2-Belastung der Raumluft von etwa 1.000 ppm (IDA 2) oder 1.300 ppm (IDA 3) orientieren. Daraus ergeben sich empfohlene Außenluftvolumenström von 45 m³/h pro Person (IDA 2) oder 29 m³/h (IDA 3).

In der früheren ASR (2004) gab es, unabhängig von der Art der Lüftung (freie oder maschinelle Lüftung), noch folgende Empfehlungen:
- Mindestaußenluftvolumenstrom 20 bis 40 m³/h pro Person bei überwiegend sitzender Tätigkeit.
- Mindestaußenluftvolumenstrom 40 bis 60 m³/h pro Person bei überwiegend nicht sitzender Tätigkeit.
Diese Empfehlungswerte wurden in den neuen ASR A3.6 komplett gestrichen.

Beweis 2: Die VDI-Richtlinie 6040 zur Schullüftung

Die derzeit einzige technische Regel, die speziell die Thematik der Schullüftung behandelt, ist die VDI-Richtlinie 6040 "Raumlufttechnik für Schulen". Das Blatt 1 "Grundlagen" erschien im Juni 2011, das Blatt 2 "Ausführungshinweise" im Juni 2014.

Das Ziel der VDI 6040 besteht darin, durch den Betrieb von geeigneten Lüftungssystemen definierte Anforderungen besonders an thermische und lufthygienische Konditionen in Unterrichtsräumen (inklusive Gruppenräume, Pausenhallen, Speiseräume, Lehrerzimmer) zu erfüllen. Dazu heißt es in Blatt 1: „Den Raumnutzern sollen Raumkonditionen zur Verfügung gestellt werden, die keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen verursachen, keine Befindlichkeitsstörungen hervorrufen und eine volle körperliche und geistige Leistungsfähigkeit ermöglichen.“ Dafür werden folgende Ziele vorgegeben:
- In Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur soll die operative Raumtemperatur zwischen 20 °C (Winter) und 26 °C (Sommer) betragen.
- Während der Unterrichtszeiten soll eine CO_2-Konzentration in der Raumluft von 1.000 ppm nicht überschritten werden. CO_2-Werte zwischen 1.000 und 2.000 ppm werden als hygienisch bedenklich eingestuft, Werte über 2.000 ppm CO_2 gelten als nicht akzeptabel. Dabei orientiert sich die VDI 6040 an den Vorgaben der ASR 3.6.

Zum Energiesparen wird empfohlen, den Zuluftvolumenstrom auf den hygienisch notwendigen Außenluftvolumenstrom zur Sicherstellung von maximal 1.000 ppm CO_2 in der Raumluft zu begrenzen (zum Beispiel auf 30 bis 35 m³/h pro Person). Wichtige Einflussgrößen dazu sind unter anderem:

- Raumbelegung und Anzahl der Personen im Raum

- Aktivität der Personen (CO_2-Abgabe und Wärmeabgabe)
- Außenluftvolumenstrom
- Raumvolumen
- CO_2-Konzentration in der Außenluft
- CO_2-Konzentration in der Raumluft zu Unterrichtsbeginn (Beginn der Raumnutzung)

Zur Bestimmung des zeitlichen CO_2-Konzentrationsverlaufs in einem wählbaren Zeitintervall und der zeitlich gemittelten CO_2-Konzentration im Raum enthält die Richtlinie zwei recht komplexe Berechnungsgleichungen.

Empfohlen wird eine bedarfsgeregelte Steuerung des Lüftungssystems in Abhängigkeit von der CO_2-Konzentration und/oder von der Raumtemperatur.

Beispiel für einen CO2-Konzentrationsverlauf

Im Anhang der VDI 6040 Blatt 2 steht ein Beispiel für CO_2-Konzentrationsverlauf in einem Unterrichtsraum (Volumen 186 m³) von 8 bis 13 Uhr für einen Lehrer und 30 Schüler der Jahrgangsstufe 5 bis 13 (Aktivität 1,2 met, CO_2-Abgabe 18,9 l/h pro PersonCO_2-Konzentration). Die beträgt zu Unterrichtsbeginn 400 ppm, die CO_2-Konzentration in der Außenluft ist ebenfalls 400 ppm. Es wird ein Außenluftvolumenstrom von 30 m³/h pro Person = 930 m³/h als Mischluft in das Klassenzimmer eingebracht. Bei diesem Beispiel beträgt die CO_2-Konzentration im Klassenzimmer maximal 1.025 ppm und entspricht somit den Vorgaben der ASR und der VDI 6040.

Im Anhang A der VDI 6040 befindet sich eine mehrseitige Tabelle, in der die Eigenschaften der freien (auch mit motorischen Klappen), der mechanischen und einer hybriden Lüftung (Kombination aus freier und mechanischer Lüftung gegenübergestellt sind). Dort stehen zur freien Lüftung mit motorisierten Klappen unter anderem folgende Aspekte:
- Einhaltung CO_2-Mittelwert:
ab einer Raumhöhe > 3 m und einer Belegungsdichte > 2,5 m² pro Person bei vollständig öffenbarer Fassade
- thermischer Raumkomfort:
bei niedrigen Außentemperaturen (<15 °C) teilweise stark eingeschränkt
- Einhaltung Raumtemperatur < 26 °C:
Minimierung der Überschreitung durch geregelte Nachtauskühlung
- Nutzung freier Kühlung durch Außenluft:
mit Temperaturregler möglich
- Lüftungswärmeverluste:
sehr hoch, da keine Wärmerückgewinnung
- Luftfilterung:
nicht möglich

Die VDI 6040 enthält auch ein Rechenverfahren zur freien Lüftung.

VDI 6040 Blatt 2 - Schullüftung. Ausführungshinweise (2015)

Die nachfolgende Zusammenfassung, Analyse und Kommentierung der Richtlinie wurde für cci Wissensportal von Dr.-Ing. Manfred Stahl erstellt (Stand: September 2015).

Erscheinung
Weißdruck September 2015

Umfang, Kosten
Mitglieder von cci Wissensportal können die Zusammenfassung der Norm für 7,70 € kaufen.
Die VDI 6040 Blatt 2 hat im Original 44 Seiten (deutsch/englisch) und kostet ca. 110 €. Sie kann beim Beuth Verlag bestellt werden. (www.beuth.de)

Zielgruppen
Fachplaner und Anlagenbauer der LüKK, Hersteller und Anbieter von Lüftungsgeräten für Schulen, Betreiber von Schulen, Kommunen, Architekten

Vorsitzender
Prof. Ulrich Finke, Berlin

Inhalt, Resümee, Bedeutung
Das Blatt 1 der VDI 6040 enthält Anforderungen an die Innenraumkonditionen in Unterrichts- und Aufenthaltsräumen in allgemein- und berufsbildenden Schulen. Dabei werden besonders die operative Temperatur und die Raumluftqualität (CO2-Konzentration) betrachtet.
Blatt 2 ergänzt das Blatt 1 um ausführliche Hinweise zu Planung, Ausführung und Betrieb von Lüftungssystemen für Schulen (freie, maschinelle und hybride Lüftung) mit dem Ziel, die in VDI 6040 Blatt 1 genannten Grenzwerte dauerhaft zu unterschreiten und die Raumluftqualität in Schulen zu verbessern. Zudem enthält die VDI 6040 Blatt 2 eine mehrseitige Tabelle, in der wesentliche Aspekte und Merkmale (Konzept, Komfort, Funktionen, Energiebedarf, Luftkonditionierung, bauliche Merkmale, Betrieb, Regelung) der freien, mechanischen und hybriden Lüftung qualitativ aufgelistet sind und miteinander verglichen werden. Ergänzt wird die Richtlinie um ein Rechentool "freie Lüftung" (mit CD-ROM) und viele Beispiele zur Schullüftung.

Die folgende Zusammenfassung dient als Orientierungshilfe. Auf Basis der Zusammenfassung kann der Nutzer schnell beurteilen, welche Bedeutung die behandelte technische Regel für seinen beruflichen Alltag hat.

Zielsetzung der Richtlinie / Verweise auf weitere technische Regeln

Zielsetzung der Richtlinie

Das Ziel der VDI 6040 Blatt 2 besteht darin, durch den Betrieb von geeigneten Lüftungssystemen die in Blatt 1 der Richtlinie definierten Anforderungen besonders an thermische und lufthygienische Konditionen in Unterrichtsräumen (inklusive Gruppenräume, Pausenhallen, Speiseräume, Lehrerzimmer) zu erfüllen. Dazu heißt es in Blatt 1:
„Den Raumnutzern sollen Raumkonditionen zur Verfügung gestellt werden, die keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen verursachen, keine Befindlichkeitsstörungen hervorrufen und eine volle körperliche und geistige Leistungsfähigkeit ermöglichen."
Diese Ziele werden in Blatt 1 der VDI 6040 wie folgt vorgegeben:
- In Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur soll die operative Raumtemperatur zwischen 20 °C (Winter) und 26 °C (Sommer) liegen. Im Hinblick auf die Raumluftfeuchte werden keine Anforderungen gestellt.
- Während der Unterrichtszeiten soll eine CO2-Konzentration in der Raumluft von 1.000 ppm nicht überschritten werden. CO2-Werte zwischen 1.000 und 2.000 ppm werden als hygienisch bedenklich eingestuft, Werte über 2.000 ppm CO2 gelten als nicht akzeptabel.

Verweise auf weitere technische Regeln

Die VDI 6040 verweist unter anderem auf folgende weitere technische Regeln:

- DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden (wird ersetzt durch DIN EN 16798 Teil 3)
- DIN EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima (wird ersetzt durch DIN EN 16798 Teil 1)
- VDI 6022: Hygieneanforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte
- ASR A3.6: Technische Regel für Arbeitsstätten - Lüftung

Grundsätzliche Aspekte der Schullüftung

Im Kapitel 5 "Lösungsansätze" der VDI 6040 Blatt 2 werden zunächst zwei wichtige Grundanforderungen an die Schullüftung gestellt:

- In den betrachteten Räumen soll während des Unterrichts ein CO2-Gehalt in der Raumluft von 1.000 ppm nicht überschritten werden. Dieser Grenzwert wird auch in der Arbeitsstättenregel ASR A3.6 für allgemeine Arbeitsräume empfohlen. Dabei ist der Wert 1.000 ppm die zeitlich gemittelte Konzentration während einer Unterrichtseinheit.
- Eine Zugfreiheit der Lüftung muss sichergestellt sein (Verweis auf DIN EN 15251 Klasse 2).

Bei der Projektierung und Dimensionierung des Lüftungssystems sind folgende Lasten zu beachten:

- Stofflasten von Personen (CO_2, Geruchsstoffe) und Schadstoffemissionen des Gebäudes (wie in der DIN EN 15251)
- Heiz- und Kühllasten

Zum Energiesparen wird empfohlen, den Zuluftvolumenstrom auf den aus hygienisch notwendigen Außenluftvolumenstrom zur Sicherstellung von maximal 1.000 ppm CO_2 in der Raumluft zu begrenzen (zum Beispiel auf 30 bis 35 m³/h pro Person). Sollte mit diesem Luftvolumenstrom eine ausreichende Raumtemperierung nicht möglich sein, sollte eine zusätzliche Heizung oder Kühlung mit einem ergänzenden Sekundärsystemen erfolgen.

Das Kapitel 5 enthält darüber hinaus Erläuterungen zu den Themen

- Kapitel 5.2: freie Lüftung (Stoß- und Spaltlüftung, einseitige und zweiseitige Lüftung, unterstützende Schachtlüftung).
- Kapitel 5.3: maschinelle Lüftung (Aufbau, Funktion, Luftfilterung, Lufterwärmung, Wärmerückgewinnung) mit den Varianten zentrale Lüftung (zentrales RLT-Gerät fördert konditionierte Zuluft über Luftleitungen in mehrere Räume) und dezentrale Lüftung (RLT-Gerät steht im Raum und versorgt diesen mit Außenluft).
- Kapitel 5.4: hybride Lüftung: paralleler und ergänzender Betrieb von freier und mechanischer Lüftung in Abhängigkeit von vorgegebenen Regelparametern (CO_2-Gehalt in der Raumluft, Raumtemperaturen).

Planungshinweise zur Schullüftung

Kapitel 6 "Planungshinweise" ist das umfangreichste in der Richtlinie. Es enthält viele allgemeine Aussagen zu Planung, Ausführung und Betrieb von Lüftungsanlagen, die schon aus den Normen DIN EN 13779 und DIN EN 15251 bekannt sind.
Kapitel 6.1 behandelt bauliche Randbedingungen mit Aspekten zur Berücksichtigung der Lüftungsfunktion bereits in der Planungsphase des Gebäudes. Wichtig sind dabei bauphysikalische Parameter (Wärmeschutz, Anteil Verglasung, Sonnenschutz, Speichermassen) und deren Auswirkungen auf die prinzipielle Möglichkeit der freien Lüftung und die sich dann einstellenden Raumkonditionen.

In Kapitel 6.2 geht es um die operative Raumtemperatur, die ganzjährig zwischen 20 und 26 °C liegen sollte. Hier gibt es einen Verweis auf den Anhang D der Richtlinie, in dem verschiedene Parameter variiert werden (Verringerung der Schüleranzahl pro Klassenraum, Qualität des Sonnenschutzes, Nutzung der Nachtlüftung). Als Ergebnisse der insgesamt 24 Variationen werden die Zahlen der Stunden mit Raumtemperaturen über 26 °C dargestellt.

Kapitel 6.3 enthält Grundlagen und Anforderungen zur Lufthygiene. Wichtige

Einflussgrößen auf die Raumluftqualität (CO_2-Gehalt in der Raumluft unter 1.000 ppm) sind unter anderem:

- Raumbelegung und Anzahl der Personen im Raum
- Aktivität der Personen (CO_2-Abgabe und Wärmeabgabe)
- Außenluftvolumenstrom
- Raumvolumen
- CO_2-Gehalt in der Außenluft
- CO_2-Gehalt zu Unterrichtsbeginn (Beginn der Raumnutzung)

Zur Bestimmung des zeitlichen CO_2-Konzentrationsverlaufs in einem wählbaren Zeitintervall und der zeitlich gemittelten CO_2-Konzentration im Raum enthält die Richtlinie zwei recht komplexe Berechnungsgleichungen.
In einer Tabelle werden typische CO_2-Abgaben (Werte von 15,6 bis 43,5 l/h CO_2 pro Person) und Wärmeabgaben (Werte von 97 bis 269 W pro Person) von Schülern in Abhängigkeit vom Alter und von der Art der Raumnutzung (Unterricht, Aufenthalt, Bewegung) angegeben.

Inhalte von Kapitel 6.4 sind vertiefende Aussagen zu den verschiedenen Arten der freien Lüftung. Hier werden ausführlich die Möglichkeiten, Grenzen und Wirkungsweisen der Fensterlüftung und der Schachtlüftung beschrieben (ähnlich wie in der ASR A3.6).

In Kapitel 6.5 geht es um verschiedene Systeme der mechanischen Lüftung. Beschrieben werden der Heiz- und der Kühlfall, Aspekte der Hygiene und Wartung (Verweis auf die VDI 6022), die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung und akustische Aspekte (Schalldruck gemäß DIN EN 15251 maximal 35 dB(A)). Erläutert werden auch Anforderungen an zentrale RLT-Systeme (Dimensionierung der Technikflächen nach VDI 2050, Positionierung der Außenluftansaugung nach DIN EN 13779) und an dezentrale Systeme (Aufstellung im Raum ohne Anschluss an ein Zentralgerät).

<u>Anmerkung:</u>
Tabelle 2 in der VDI 6040 Blatt 2 zeigt einen Ausschnitt aus der Tabelle, die bereits in der VDI 3804 "Raumlufttechnik - Bürogebäude" (2009) enthalten ist. Dargestellt werden typische Kühllasten, die mit verschiedenen Arten der Zulufteinbringung und entsprechenden Untertemperaturen (Mischlüftung bis 12 K, Quelllüftung 4 bis 6 K) erreicht werden können. Aus Sicht des Verfassers sind aber in dieser Tabelle die Zuluftvolumenströme mit Werten bis 25 m^3/h je m^2 (= achtfacher Luftwechsel) deutlich zu hoch angenommen und liegen extrem über den heute praxisnahen Werten (etwa ein- bis zweifacher Luftwechsel). Daher müssten die in der Tabelle angegebenen erreichbaren Kühllasten (bis 100 W/m^2) um mindestens den Faktor 4 verringert werden.

Kapitel 6.6 widmet sich speziell der hybriden Lüftung. Damit die Kombination von freier und maschineller Lüftung optimal und energieeffizient funktioniert, müssen die Öffnungen zur Außenlufteinströmung (Klappen, Fenster) automatisiert sein. Sensoren und eine geeignete Steuerungstechnik regeln dann die freie oder mechanische Lüftung in Abhängigkeit von den Außenluft- und Raum-

bedingungen (Temperaturen, Luftqualität, Niederschlag).

Kapitel 6.7 enthält ergänzende Hinweise zum Brandschutz und Kapitel 6.8 zur Regelung und zur Betriebsweise. Empfohlen wird eine bedarfsgeregelte Steuerung des Lüftungssystems in Abhängigkeit vom CO2-Gehalt und/oder von der Raumtemperatur.

Anhänge

Anhang A: Merkmalliste
Anhang A enthält ausführliche Beschreibungen von Merkmalen der in der Richtlinie behandelten Systeme freie Lüftung, maschinelle Lüftung und hybride Lüftung, die in einer vierseitigen Tabelle gegenübergestellt werden. Dabei werden unter anderem folgende Faktoren behandelt:

<u>Konzept/Aufbau</u>

- Komfortaspekte (CO2-Konzentrationen, Zugluft, thermischer Komfort, Einhaltung von Raumtemperaturen < 26 °C, Schallschutz gegenüber Außenlärm)
- funktionale Aspekte (freie Kühlung, Nachtkühlung, aktive Raumkühlung möglich?)
- Energiebedarf (Lüftungswärmeverluste, Ventilatorleistung, maximal mögliche Kühllast)
- Auslegung der Raumheizung und der Raumkühlung
- Luftkonditionierung (Luftfilterung F7, Wärmerückgewinnung, Raumluftqualität)
- bauliche Merkmale (Flächenbedarf für RLT und Luftleitungen, Nachrüstung möglich?, Auswirkungen auf Brandschutz)
- Betrieb mit Aufwand für Wartung, Instandsetzung, Hygienekontrollen
- Art und Aufwand der Regelung

Anhang B: Rechentool "freie Lüftung"
Im Anhang B befindet sich ein Rechentool zur Berechnung der freien Lüftung. Dieses Tool basiert auf recht komplexen Integralgleichungen und wird an dieser Stelle nicht weiter vertieft. Dazu liegt der Richtlinie eine CD-ROM mit einem Excel-Tool bei. Wie Prof. Ulrich Finke als Vorsitzender der VDI 6040 betont, sind die Berechnungen zum thermischen Verhalten des Schulraums aber Beispielrechnungen und müssen an das konkrete Projekt angepasst werden.

Anhang C: Beispiel für einen CO_2-Konzentrationsverlauf
Im Anhang C steht ein Beispiel für CO2-Konzentrationsverlauf in einem Unterrichtsraum (Fläche 62 m², Volumen 186 m³) von 8 bis 16 Uhr für einen Lehrer und 30 Schüler der Jahrgangsstufe 5-13 (Aktivität 1,2 met, CO2-Abgabe 18,9 l/h pro Person). Die CO2-Konzentration im Klassenraum beträgt zu Unterrichtsbeginn 400 ppm, der CO2-Gehalt in der Außenluft ist ebenfalls 400 ppm. Es wird konstant (auch in den Pausen) ein Außenluftvolumenstrom von 30 m³/h pro Person = 930 m³/h als Mischluft in das Klassenzimmer eingebracht. Bei

diesem Beispiel beträgt die CO2-Konzentration im Klassenzimmer maximal 1.030 ppm.

Anhang D: Operative Raumtemperatur in Schulräumen
Die operative Raumtemperatur in Schulen sollte im Sommer maximal 26 °C betragen (Überschreitung an 91 Stunden erlaubt).
Für das gleiche Beispiel wie in Anhang C wird für einen Unterrichtsraum untersucht, wie sich Veränderungen von verschiedenen Parametern auf die Zahl der Jahresstunden auswirken, an denen die Raumtemperatur über 26 °C ansteigt.
Aus der Variation der Parameter

- Veränderung der Schülerzahl (Fall 1: 30 Personen, Fall 2: 21 Personen)
- Veränderung des Sonnenschutzes (Fall 3: außenliegend, sehr gut, Fall 4: schlecht, innen)
- Nutzung der mechanischen Nachtlüftung (Fall 5: 110 %, Fall 6: 100 %, Fall 7: keine)
- Zeitverlegung des Unterrichts (Fall 8: 8 bis 16 h, Fall 9: 7 bis 15 h)

ergeben sich 24 untersuchte Varianten, die in einer Tabelle dargestellt sind. Je nach Variante ergeben sich Überschreitungsstunden > 26 °C zwischen 85 h (bester Fall) und 329 h (schlechtester Fall)j.

Der Verfasser dankt der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik, Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung, für die Verwendung von Zitaten aus der VDI 6040 zur Erstellung dieser Zusammenfassung.

Autor der Zusammenfassung
Dr.-Ing. Manfred Stahl