

Abdichtung von Luftleitsystemen mit dem Aero Seal-System

M.Sc. Jörg Schönfelder • Gesec Hygiene + Instandhaltung GmbH + Co. Kommanditgesellschaft, Augsburg

Korrespondenz: M.Sc. Jörg Schönfelder, Gesec Hygiene + Instandhaltung GmbH + Co. Kommanditgesellschaft, Gubener Straße 32, 86156 Augsburg;
E-Mail: joerg.schoenfelder@gesa.de



► Zusammenfassung

Die Raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage) stellt einen wichtigen (wenn nicht sogar den wichtigsten) Faktor für die Erfüllung der Leistungsparameter eines Reinraums dar. Während in den letzten Jahren hinsichtlich der Ventilator-technologie deutliche Effizienzsteigerungen erzielt werden konnten, wurde der Effektivitäts- und Effizienzverlust durch undichte Luftleitsysteme über viele Jahre hinweg vernachlässigt. Im Fokus stehen hier neben neu errichteten Luftleitungssystemen (welche oft nicht die erforderliche Dichtheitsklasse gemäß DIN EN 16798-3 erreichen) v. a. bereits installierte Luftleitsysteme. Die manuelle Abdichtung bereits bestehender Luftleitsysteme gestaltet sich aufgrund der Zugänglichkeit und der Identifikation kleinster Leckagen schwierig. Das in den USA entwickelte Aero Seal-System bietet eine einfache, schnelle und kosteneffiziente Alternative zu den bisherigen Methoden.

Einleitung

Luft umgibt uns permanent. Welche wichtige Rolle die Luftqualität insbesondere hinsichtlich luftgetragener Partikel spielt, wurde vielen Privatpersonen im Zuge der SARS-CoV-2-Pandemie bewusst.

Dass nicht bzw. wenig kontaminierte Luft ein wesentlicher Erfolgsfaktor für den Produktschutz und die Gesundheit ist, wurde in der Industrie und dem Gesundheitswesen bereits vor vielen Jahrzehnten erkannt. Daher sind Reinräume und angeschlossene Reinraumbereiche bei der Durchführung kontaminationsempfindlicher Tätigkeiten in vielen Bereichen zum Standard geworden. Waren solche Räume früher lediglich in der Pharma- und Halbleiterindustrie zu finden, haben sich diese über die letzten Jahre hinweg ebenfalls in der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik sowie der Gesundheits- und Nahrungsmittelindustrie etabliert [8] [2].

Welche Bedeutung die Luftqualität für Reinräume hat, zeigt sich bereits in den Definitionen, welche seitens der International Organization for Standardization (ISO) und dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) festgelegt wurden. So beschreibt die ISO [7] den Reinraum als Raum, in welchem „die Anzahlkonzentration luftgetragener Partikel geregelt und klassifiziert wird und der zur Regelung der Einschleppung, Entstehung und Ablagerung von Partikeln im Raum entsprechend konstruktiv geplant, baulich ausgeführt und betrieben wird“, während die VDI [11] den Reinraum als einen Raum betrachtet, in welchem „ein festgelegter Grenzwert für die Konzentration luftgetragener und anderer Kontaminationen eingehalten wird“.

Neben Prozessen und Personal [9] übt insbesondere die verbaute raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage) des versorgten Bereichs einen maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Zuluft sowie auf einen

► Key Words

- Nachhaltigkeit
- Abdichtung von Luftleitsystemen
- Energieeffizienz
- Raumlufthygiene
- DIN EN 16798

ausreichenden und sicheren Abtransport eventueller Kontaminationen aus dem Reinraum bzw. des reinen Bereichs [5] aus. Der Einfachheit halber umfasst der Begriff RLT-Anlage in diesem Beitrag lediglich die Einheit aus Lüftungsgerät und Luftleitsystemen. Die Qualität und Integrität endständiger Filter werden im Zuge dieses Beitrags nicht beleuchtet.

Zusätzlich zur Verantwortung für den sicheren Betrieb des Reinraums haben über die letzten Jahre hinweg auch ökologische und ökonomische Betrachtungsweisen [9] zum Betrieb eines Reinraums und den damit verbundenen RLT-Anlagen an Bedeutung gewonnen. Sowohl der sichere, der ökologische als auch der ökonomische Betrieb eines Reinraums besitzen eine gemeinsame Schnittmenge: die transportierte Netto-Luftmenge in den Reinraum und der damit verbundene Volumenstrom. Hierbei errechnet sich der Netto-Volumenstrom aus der Differenz des

Nennvolumenstroms einer RLT-Anlage abzüglich der Transportverluste.

In diesem Spannungsfeld setzt dieser Beitrag an: Neben der Darstellung des rechtlich normativen Rahmens beleuchtet er zunächst anhand eines theoretischen Beispiels die Bedeutung undichter Luftleitsysteme. Im Anschluss daran wird die theoretische Wirkungsweise der AeroSeal-Technologie vorgestellt. Anhand einer empirischen Fallstudie werden daraufhin die Effizienz- und Effektivitätssteigerungen der Technologie in der Praxis beleuchtet.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Normenreihe DIN EN ISO 14644 für Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche sowie die Richtlinienreihe VDI 2083 stellen bereits seit mehreren Jahren das internationale und nationale Standardwerk für den Betrieb von Reinräumen und angeschlossener Bereiche dar. Für Arzneimittelproduzenten gelten zusätzlich die Vorgaben des EU-Leitfadens zur Good Manufacturing Practice (GMP).

Waren die o.g. Normen und Richtlinien über die letzten Jahre hinweg weitestgehend von einschneidenden und grundlegenden Änderungen verschont, so ergaben sich bei den Regelwerken für den Betrieb der RLT-Anlage des Reinraums tiefgreifende Veränderungen. Hier zu nennen sind v. a. das „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden“ (GEG), die VDI-Richtlinienreihe 6022 über Raumlufttechnik und Raumluftqualität sowie die Normenreihe DIN EN 16798 über die Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden.

GEG

Am 01.11.2020 ist das GEG in Kraft getreten und stellt seitdem das nationale Regelwerk zur effizienten

Nutzung von Energien in Gebäuden dar. Obwohl sich seine Vorgaben in erster Linie auf die Heizungstechnik und Wärmedämmung beziehen, behandelt Teil 4 Unterabschnitt 2 explizit die Anforderungen an Klimaanlagen sowie sonstige Anlagen der Raumlufttechnik. Hierbei stellt das Gesetz insbesondere auf die Energieaufnahme des Ventilators ab. Das Gesetz besagt: Bei einer Raumluftanlage,

„die eine Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 12 Kilowatt hat, und einer raumlufttechnischen Anlage mit Zu- und Abluftfunktion, die für einen Volumenstrom der Zuluft von wenigstens 4 000 Kubikmetern je Stunde ausgelegt ist, in ein Gebäude sowie bei der Erneuerung von einem Zentralgerät oder Luftkanalsystem einer solchen Anlage muss diese Anlage so ausgeführt werden, dass bei Auslegungsvolumenstrom der Grenzwert für die spezifische Ventilatorleistung nach DIN EN 16798-3: 2017-11 Kategorie 4 nicht überschritten wird“.

Hierbei unterscheidet das GEG zwischen der auf das Fördervolumen bezogenen elektrischen Leistung des Einzelventilators und der auf den gewichteten Mittelwert der auf das jeweilige Fördervolumen bezogenen elektrischen Leistung aller Zu- und Abluftventilatoren. Je nach Einsatzzweck (z. B. beim Einsatz von Gas- und Schwebstofffiltern) kann der Grenzwert für die spezifische Ventilatorleistung um Zuschläge gemäß DIN EN 16798: 2017-11 erweitert werden [6].

VDI-Richtlinienreihe 6022

Die VDI-Richtlinienreihe 6022 stellt seit 1998 das Standardwerk für die Anforderungen an den hygienischen Betrieb von Raumluftanlagen dar. Hier gilt die VDI 6022 für Aufenthaltsräume, in welchen die Aufenthaltsdauer einer bestimmten Person mehr als 30 Tage im Jahr beträgt oder regelmäßig mehr als 2 Stunden pro Tag. In diesem Sin-

ne definiert die VDI 6022 z. B. auch Arbeitsplätze in Büro- oder Industriegebäude als in Aufenthaltsräumen befindlich.

In diesem Zusammenhang empfiehlt die VDI 6022 mit dem Ausgabestand 01-2018 zum ersten Mal Dichtheitsklassen für die verwendeten Luftleitungen. Während Luftleitungen zur Versorgung von Büros, Hotels, Schulen oder allgemeinen Bereichen in Krankenhäusern die Luftdichtheitsklasse C nach DIN EN 12237 für runde Luftleitungen und DIN EN 1507 für eckige Luftleitungen besitzen sollen, ist für Laboratorien, Behandlungsbereiche in Krankenhäusern und andere Räume mit erhöhten Anforderungen an die Raumluftqualität die Luftdichtheitsklasse D gemäß DIN EN 12237 oder DIN EN 1507 zu erfüllen [12].

Als Richtlinie hat die VDI 6022 lediglich empfehlenden Charakter. Ihre Empfehlungen werden jedoch als anerkannte Regeln der Technik betrachtet und befinden sich somit stets nah an den aktuellen technischen Entwicklungen.

► Autor



M.Sc. Jörg Schönfelder

M.Sc. Jörg Schönfelder fungiert seit 2015 Inhaber der Gesa Hygiene-Gruppe und seit 2019 ebenfalls Geschäftsführender Gesellschafter der Hypeconn GmbH. Er ist Autor mehrerer wissenschaftlicher Publikationen im Bereich Innovationsmanagement und Fachautor für die Bereiche Raumlufthygiene, Reinraumhygiene und hygienische Prävention in Industriebetrieben und der öffentlichen Gesundheit. Außerdem kann er Expertise als zertifizierter Reinraumtechniker (IHK) und Sachkundiger nach VDI 6022 Kat. A (Hygiene in Raumlufttechnischen Anlagen) vorweisen. Aktuell durchläuft er seine Ausbildung zum staatlich geprüften Desinfektor.

Tabelle 1

Vergleich der Luftdichtheitsklassen gemäß DIN EN 16798-3 und EN13779.

DIN EN 16798-3	ATC6	ATC5	ATC4	ATC3	ATC2	ATC1
EN 13779	2,5 x A	A	B	C	D	nicht definiert

Tabelle 2

Berechnung der maximalen Leckluftraten je Dichtheitsklasse gemäß DIN EN16798.

Dichtheitsklasse	Grenzwert der Leckluftrate
ATC6	$0,0675 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$
ATC5	$0,027 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$
ATC4	$0,009 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$
ATC3	$0,003 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$
ATC2	$0,001 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$
ATC1	$0,00033 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$

DIN EN 16798

Wie im GEG angedeutet stellt die DIN EN 16798 die maßgebliche Bezugsgröße für den energieeffizienten Betrieb einer RLT-Anlage dar. Die DIN EN 16798 ersetzt als europäische Norm die EN 13779. Im Kontext des Beitrags spielen v. a. die geänderten Luftdichtheitsklassen eine entscheidende Rolle. Definierte die EN 13779 insgesamt 4 Dichtheitsklassen (A D), so erweiterte die EN 16798 diese auf insgesamt 6 (ATC1–ATC6). Die aktuellen Klassifikationen und das entsprechende Pendant können Tab. 1 entnommen werden [1].

ATC6 stellt hierbei aktuell die schlechteste Dichtheitsklasse dar und entspricht dem 2,5-fachen Leckageverlust der bisherigen Luftdichtheitsklasse A. In relativen Zahlen entspricht dies in etwa einem Luftverlust von ca. 15 % des durch die Anlage bereitgestellten Volumenstroms. Es ist zu erwähnen, dass diese 15 % als sog. Default-Wert angenommen werden, falls keine Dichtheitsmessung durchgeführt wurde. Die durch die VDI 6022 geforderte Dichtheitsklasse D ent-

spricht nun der Dichtheitsklasse ATC2, was einen maximalen Leckageverlust von 0,22 % bedeutet.

Die Formeln zur Errechnung der jeweiligen Leckluftraten können Tab. 2 entnommen werden. Die Variable p_t beschreibt hierbei den Prüfdruck [1].

Theoretische Bedeutung

Welchen Einfluss die Leckluftrate und die damit verbundenen Einbußen im Luftvolumenstrom haben, zeigt sich an der Leistungsaufnahme des Ventilators. Ebenfalls zeigt sich, dass eine Volumenstromänderung von 10 % eine um 33 % höhere Leistungsaufnahme des Ventilators bedeutet. Ein weiterer, wichtiger Parameter zur Betrachtung der Energieeffizienz einer RLT-Anlage ist die spezifische Ventilatorleistung (SFP-Wert). Dieser ändert sich mit der zweiten Potenz der Volumenstromänderung [10]. Dieser Zusammenhang wird in Abb. 1 deutlich.

Nimmt man diese Werte in ein theoretisches Rechenbeispiel, ergibt sich folgendes Szenario.

Eine RLT-Bestandsanlage soll einen Nennvolumenstrom von 10 000 m³/h fördern. Die Dichtheitsklasse wurde nicht bestimmt. Somit ist mit einer Leckluftrate von 15 % zu rechnen. Dies bedeutet, dass die Anlage ca. 1 500 m³/h „vergeblich“ produziert, da diese Luftmenge innerhalb des Lüftungssystems verloren geht und nicht an ihren Zielort gelangt. Dies geht mit einem gesteigerten Leistungsbedarf des Ventilators von ca. 39 % einher. Erreichte die besagte Anlage die geforderte Klasse ATC3, betrüge die Leckluftrate nur noch 0,67 %. Dies bedeutet, es gingen lediglich 67 m³/h verloren. Der gesteigerte Leistungsbedarf des Ventilators zum Ausgleich des Verlusts betrüge hier nur ca. 2,01 %.

Neben der wirtschaftlichen Betrachtungsweise sind v. a. auch die operativen Parameter eines Reinraums entscheidend. Ein konstanter Luftwechsel soll sicherstellen, dass dem Reinraum ausreichend Luft zugeführt wird und gleichzeitige Stoffe und thermische Lasten effektiv abgeführt werden.

Folgt man der Kontinuitätsgleichung

- $A_1 \times w_1 \times p_1 = A_2 \times w_2 \times p_2 = m = \text{const.}$
- A: Querschnitt der Stromröhre
- w: mittlere Geschwindigkeit in einem Querschnitt der Stauröhre
- p: Dichte des Fluids
- m: Massenstrom,

so kann bei einer leckagefreien Luftleitung davon ausgegangen werden, dass der Volumenstrom, der die Anlage verlässt, gleich dem Volumenstrom ist, der am Zuluftauslass ankommt[3]. Jeglicher Verlust an Volumenstrom kann somit bei *ceteri-paribus*-Bedingungen auf Leckagen in der Luftleitung zurückgeführt werden. Zwar können frequenzgesteuerte Ventilatoren etwaige Leckageverluste noch bis zu einem bestimmten Grad ausgleichen, diese Ausgleichsfähigkeit ist jedoch durch die maximale Leistung des Ventilators eingeschränkt.

Wie oben erwähnt, begrenzt das GEG die spezifische Ventilatorleis-

Zur Verwendung mit freundlicher Genehmigung des Verlages / For use with permission of the publisher

Änderung der Leckluftrate, des SFP und des Ventilatorleistungsbedarfs

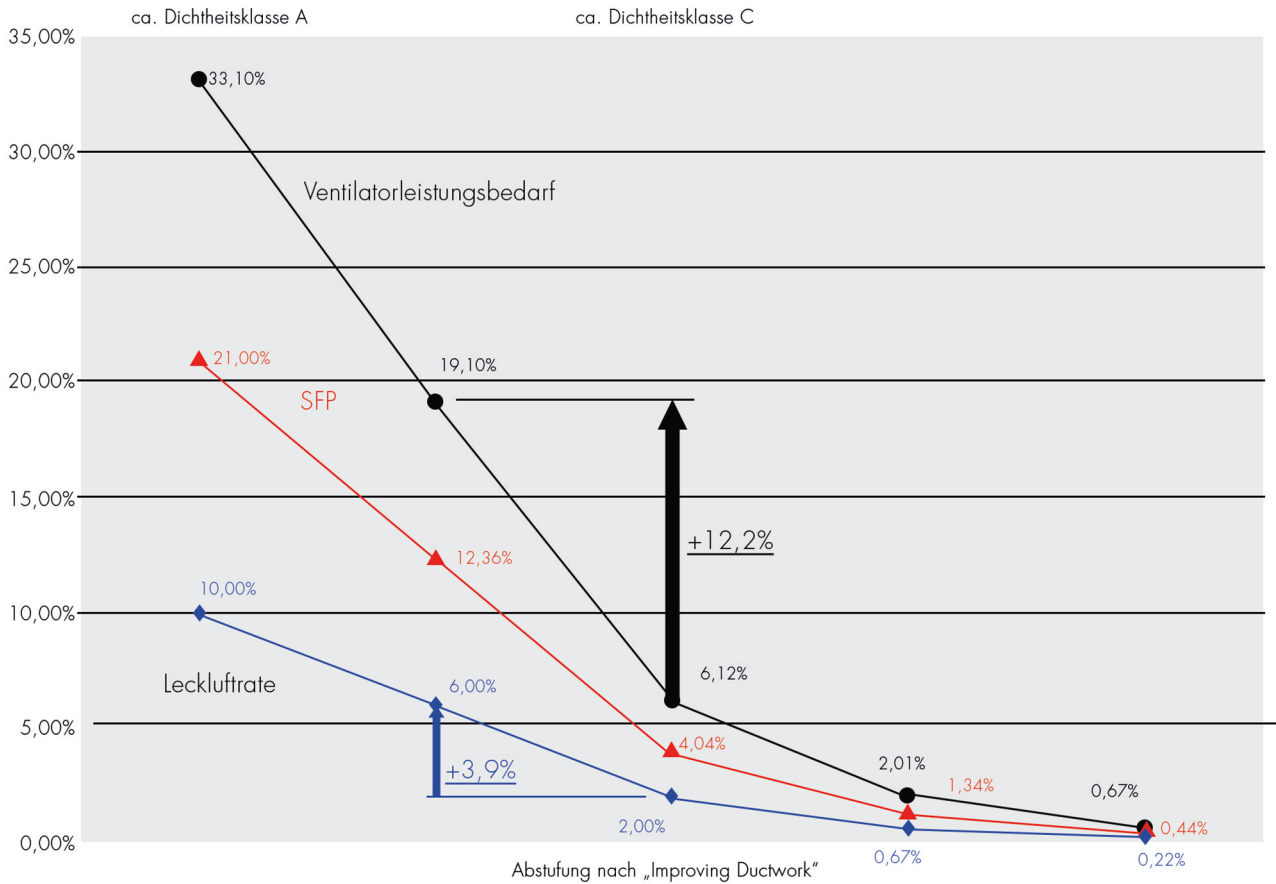


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Leckluftrate, Ventilatorleistungsbedarf und SFP [10] (Quelle aller Abbildungen: Gesec Hygiene + Instandhaltung).

Zur Verwendung mit freundlicher Genehmigung des Verlages / For use with permission of the publisher

tion und führt letztlich bei zu großen Leckagen zu einem verminderten Volumenstrom. In der Praxis zeigt sich, dass zu geringe Volumenströme in Reinraumbereichen meist durch die Drosselung des Volumenstroms in angeschlossenen Bereichen erreicht werden sollen. Zwar kann diese Vorgehensweise erfolgreich sein, jedoch können bereits grenzwertige Raumbedingungen durch die Verringerung des Zuluft-Volumenstroms u.U. noch verschlechtert werden. Ein Volumenstromausgleich ausschließlich über eine gesteigerte Leistung des Ventilators erweist sich somit als fragwürdige Strategie.

Dieses theoretische Beispiel zeigt den engen Zusammenhang zwischen einem effektiven, ökologischen und ökonomischen Betrieb eines Reinraums und der RLT-Anlage,

welche die entsprechenden Bereiche versorgt.

Prinzipiell kann die gewünschte Luftdichtigkeit mit jeder Abdichtungsmethode erreicht werden. Gängige Methoden zur Abdichtung von Luftleitsystemen waren bisher der Einsatz von manuell eingebrachtem Dichtmittel, die Verwendung spezieller Abdichtklebebander sowie der Einsatz von Vorlegebändern an den Übergängen zwischen Kanalbauteilen.

Eine solche Abdichtung ist dann wirtschaftlich sinnvoll, wenn das gesamte Luftleitsystem gut zugänglich ist. Diese Zugänglichkeit wird z. B. seitens der VDI 6022:1-2018 gefordert, jedoch zeigt sich in der Praxis, dass dies selbst heute noch nicht vollständig gegeben ist. Gerade in älteren Anlagen ist eine Zugänglichkeit zu Luftleitsystemen oft nicht

mehr gegeben (z. B. durch Einmauern der Kanäle) – die Abdichtung von Undichtigkeiten ist somit nur an punktuellen Stellen möglich.

Abdichtung bestehender Luftleitsysteme mit der AeroSeal-Technologie

Die Technologie und das Verfahren wurden 1990 von Dr. Mark Modera entwickelt, Professor am Lehrstuhl für Mechanical und Aerospace Engineering sowie aktueller Direktor des Western Cooling Efficiency Centers (WCEC) an der University of California in Davis. Auf dem kommerziellen Markt hat sich dieses Verfahren als AeroSeal-Verfahren etabliert.

Während des Abdichtungsvorgangs wird in das abzudichtende Luftleitsystem neben einem künstlich erzeugten Trägerluftstrom auch

Tabelle 3**Messdaten der Zuluft vor Abdichtung.**

	Ist	Soll
MP 1 (Zuluft)	138,50 l/s	18,68 l/s
MP 2 (Zuluft)	128,00 l/s	24,22 l/s
MP 3 (Zuluft)	153,20 l/s	14,06 l/s
TOTAL	419,20 l/s	56,96 l/s

Tabelle 4**Messdaten der Abluft vor Abdichtung.**

	Ist	Soll
MP 1 (Abluft)	33,50 l/s	19,70 l/s
MP 2 (Abluft)	68,90 l/s	21,49 l/s
MP 3 (Abluft)	59,80 l/s	16,38 l/s
TOTAL	162,20 l/s	57,57 l/s

ein zerstäubtes Dichtungsmittel auf Polyvinylacetat-Basis eingetragen. Der Trägerluftstrom dient zum ei-

nen dazu, das Dichtmittel durch die Luftleitung zu transportieren, zum anderen soll er innerhalb des Kanalnetzes einen Überdruck erzeugen. Eine erhitzte Zerstäuberdüse versetzt das Dichtmittel zunächst in einen gasförmigen Zustand, worauf sich dieses Gas wieder an der Luft abkühlt und verfestigt. Passieren die Dichtmittelpartikel eine Leckage, werden diese durch den im Kanal herrschenden Überdruck in Richtung der Leckage gedrückt. Dort haften sich die Partikel an der Leckage an und verschließen das Leck über Zeit.

Durch die Messung des Luftdrucks in den Leitungen und der Geschwindigkeit des Luftstroms wird somit permanent die effektive Leckagerate des Luftleitungssystems überwacht. Der Abdichtungsvorgang endet, sobald die gewünschte Dichtigkeitsklasse (ausgedrückt in der Lecklufrate) erreicht wird oder der Träger-Luftstrom so langsam wird, dass ein effektiver Transport der Dichtstoffpartikel nicht mehr gewährleistet ist. Um eine unerwünschte Kontamination zu vermeiden, werden während des Abdichtungsvorgangs sämtliche Luftauslässe verschlossen und nicht verwendete Dichtmittelpartikel über einen Bypass wieder aufgenommen [13].

Mithilfe der Aerosol-Technologie können Spaltmaße bis zu einer Größe von 15 mm abgedichtet werden (Abb. 2). Nach Herstellerangaben halten diese verschlossenen Leckagen nach dem Aushärtungsvorgang einem Druck von bis zu 2 000 pa stand [10].

Hinsichtlich gesundheitsgefährdender Stoffe oder möglicher hygienischer Risiken verfügt das verwendete Dichtmittel über Nachweise bzgl. flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) in Deutschland, Frankreich und Belgien. Ebenfalls erfüllt es die Anforderungen an die mikrobiologische Inertheit im Sinne der VDI 6022 [10].

Fallstudie

Beim betrachteten Objekt handelt es sich um ein Bürogebäude, welches über mehrere RLT-Anlagen versorgt wird, die sowohl über einen Zuluftals auch einen Abluftstrang verfügten. Gemäß Bauplanung war für die Luftleitsysteme in Zu- und Abluft eine Dichtheitsklasse C nach EN 13779 bzw. ATC3 nach DIN EN 16798 ausgeschrieben.

Nach Einbau der Lüftungsleitungen und mehreren manuellen Abdichtungsversuchen konnten die bodenverlegten Leitungen nicht abge-

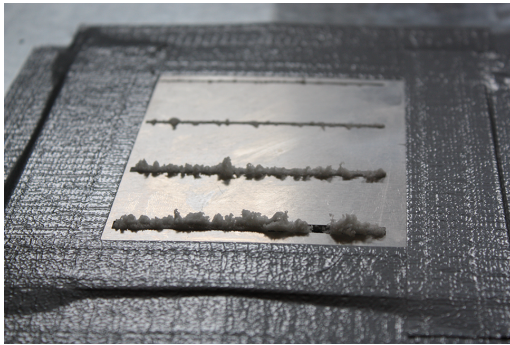


Abbildung 2: Spaltmaße während des Abdichtungsvorgangs.

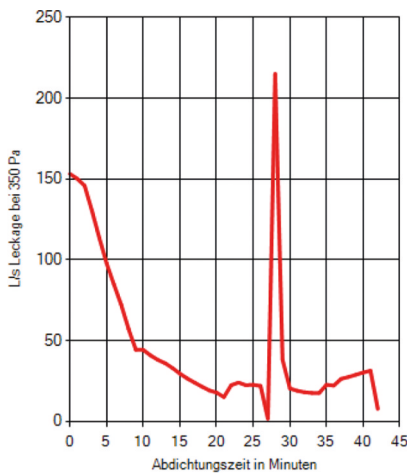


Abbildung 3: Abdichtung MP 3 Zuluft.

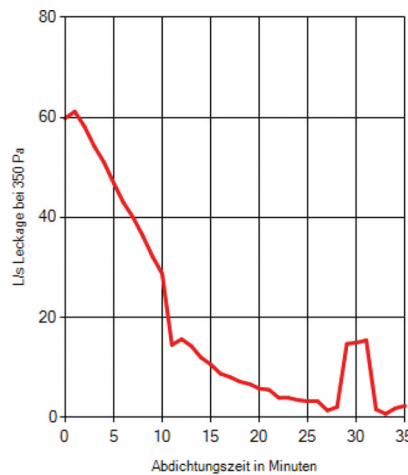


Abbildung 4: Abdichtung MP 3 Abluft.

Tabelle 5
Messdaten Zuluft nach Abdichtung.

	Ist	Soll
MP 1 (Zuluft)	3,74 l/s	18,68 l/s
MP 2 (Zuluft)	8,00 l/s	24,22 l/s
MP 3 (Zuluft)	5,81 l/s	14,06 l/s
TOTAL	17,55 l/s	56,96 l/s

Tabelle 6
Messdaten Abluft nach Abdichtung.

	Ist	Soll
MP 1 (Abluft)	4,30 l/s	19,70 l/s
MP 2 (Abluft)	13,15 l/s	21,49 l/s
MP 3 (Abluft)	2,59 l/s	16,38 l/s
TOTAL	20,04 l/s	57,57 l/s

dichtet werden. Die Messdaten sind in Tab. 3 und Tab. 4 zu finden [4].

Es zeigt sich, dass die verbauten Kanäle in der Zuluft im besten Fall Luftdichtheitsklasse ATC4 (ehemals B) erreichten, obwohl eine

Luftdichtheitsklasse ATC3 vorgeschrieben war. In den Abluftsträngen ergab sich ein ähnliches Bild. Die Bestimmung der Leckluftraten erfolgte mit einem Dichtheitsprüfgerät Wöhler DP700 gemäß der Nor-

men DIN EN 1507, DIN EN 12599 und DIN EN 16798-3.

Wie aus den Daten ersichtlich ist, verloren die RLT-Anlagen zuluftseitig 419,20 l/s und abluftseitig 162,21 l/s. Somit konnte der gewünschte Luftwechsel in den Räumen nicht mehr erreicht werden. An einigen Luftauslässen konnte z. B. mittels einer Volumenstromhaube mit verbautem Prüfgerät Testo 400 keine Volumenströme mehr festgestellt werden.

Nach den bisherigen manuellen Abdichtungsversuchen wurde als letzte Alternative zu einem kompletten Rückbau des Luftleitungssystems eine Abdichtung mit dem Aeroseal-Verfahren in Betracht gezogen.

Der Abdichtungsprozess wurde gemäß dem zuvor beschriebenen Verfahren durchgeführt. Über einen Trägerluftstrom wurde in den Luftleitungssystemen ein Überdruck erzeugt und das verdampfte Dichtmittel eingebracht. Der exemplarische Verlauf des Abdichtungsprozesses für die einzelnen Messpunkte wird in Abb. 3 und Abb. 4 anhand des Messpunkts 3 dargestellt [4].

Die Arbeiten an mehreren hundert Metern Kanalnetz konnten binnen 2 Werktagen abgeschlossen werden. Die Messdaten nach dem Abdichtungsprozess können aus Tab. 5 und Tab. 6 entnommen werden [4].

Es zeigt sich, dass nach dem Abdichtungsprozess die vorgegebene Dichtheitsklasse ATC3 erreicht bzw. überwiegend sogar mit der Dichtheitsklasse ATC4 übertroffen wurde. Ebenso konnten auch die geforderten Volumenströme bereits vor Eingeregulierung der RLT-Anlage bis um Faktor 45 erhöht werden.

Schlussfolgerung

Die ökonomischen und ökologischen Anforderungen an den Betrieb eines Reinraums und der angeschlossenen RLT-Anlage wurden über die letzten Jahre hinweg sowohl seitens des Gesetzgebers als auch seitens der anerkannten Regeln der Technik verschärft. Für

die Zukunft kann erwartet werden, dass sich diese Regelungen noch verschärfen werden. Umso wichtiger ist es, dass gerade beim Neubau von Reinräumen streng auf die Einhaltung der gesetzlichen und normativen Vorgaben geachtet wird. Gleichzeitig dürfen auch bestehende Anlagen hinsichtlich ihrer Effektivität und ihrer Energieeffizienz nicht vernachlässigt werden. Bereits bestehende Anlagen stellen hierbei eine besondere Herausforderung in der Erreichung dieser Effektivitäts- und Effizienzziele dar. Somit sollten diese Anlagen regelmäßig überprüft und bei Bedarf nachträglich abgedichtet werden. Im Vergleich zu manuellen Methoden stellt das AeroSeal-Verfahren für bereits installierte Luftleitsysteme eine zuverlässige Methode zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung dar.

► Literatur

- [1] Deutsches Institut für Normung (DIN). DIN EN 16798 – Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 3, Berlin: Beuth Verlag, 2018, S. 47.
- [2] Ernst C., & Kreck, G. (2018). Systeme und Konzepte der Reinraumtechnik. In: Gail, L., & Gommel, U. (Hrsg.), *Reinraumtechnik* (4. Auflage, S. 1–2). Berlin: Springer Vieweg.
- [3] Flurl, B. (2021). Kontinuitätsgleichung. In: Joachim Herz Stiftung (Hrsg.), *LEIFI-physik*. Berlin: Joachim Herz Stiftung.
- [4] Gesa Hygiene-Gruppe (2021). Auswertungsdaten Abdichtungsvorgang AeroSeal, Augsburg: Gesa Hygiene-Gruppe, 2021.
- [5] Förster, B., & Engelhardt, M. (2018). Qualifizierung von Lüftungsanlagen und Reinräumen. In: Gail, L., & Gommel, U. (Hrsg.), *Reinraumtechnik* (4. Auflage, S.855). Berlin: Springer Vieweg.
- [6] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (GEG) (2020). <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/index.html> (zuletzt geprüft am 14.09.2021).
- [7] International Organization for Standardization (ISO) (2016). DIN EN ISO 14644 – Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche – Teil 1, Berlin: Beuth Verlag, 2016, S. 7.
- [8] International Organization for Standardization (ISO) (2020). DIN EN ISO 14644 – Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche – Teil 3, Berlin: Beuth Verlag, 2020, S. 6.
- [9] Kreck, G., & Ernst, C. (2018). Reinraum – Prozessplanung- und betrieb. In Gail L., & Gommel, U. (Hrsg.), *Reinraumtechnik* (4. Auflage, S. 795). Berlin: Springer Vieweg.
- [10] MEZ-Technik GmbH (2021), Die neue Dichtheitsklasse für Luftsysteme, Reutlingen: MEZ-Technik GmbH, 2021, S. 13.
- [11] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2006). VDI 2083 – Reinraumtechnik – Blatt 4.1, Berlin: Beuth Verlag, 2006, S. 7.
- [12] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2018). VDI 6022 – Raumlufttechnik und Raumluftqualität – Blatt 1, Berlin: Beuth Verlag, 2018, S. 5–13.
- [13] Western Cooling Efficiency Center (WCEC) (2014). Speed Program Demonstration for Sealing Duct Leaks Using AeroSeal, Davis: Western Cooling Efficiency Center, 2014, S. 5.