



ENERGIEEFFIZIENZ DURCH
LECKAGEFREIE LÜFTUNGSANLAGEN

Verbesserung der Dichtheit von
europäischen Luftleitsystemen

ENERGIEEFFIZIENZ DURCH LECKAGEFREIE LÜFTUNGSANLAGEN

Verbesserung der Dichtheit von europäischen Luftleitsystemen

Seit Jahren spielen Lüftungs- und Klimaanlagen eine immer wichtigere Rolle bei der Gewährleistung eines ausreichenden Luftaustauschs in Gebäuden. In den letzten Jahren wurden Gebäude immer luftdichter, um unnötige Energieverluste durch unkontrollierte Luftlecks zu vermeiden. Um dennoch eine gute Raumluftqualität zu gewährleisten, werden vermehrt mechanische Lüftungssysteme installiert. Was in der Theorie ein guter Ansatz ist, scheitert in der Praxis bisher oft an undichten Luftleitungen – europaweit. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass das Bewusstsein für die Bedeutung der Dichtheit von Luftleitungen in den meisten europäischen Ländern gering ist, obwohl undichte Luftleitungen den Energieverbrauch, die Raumluftqualität und auch die Lärmerzeugung negativ beeinträchtigen.

Eine ressourceneffiziente, zeit- und kostensparende Lösung der Probleme bietet das weltweit patentierte Aero-seal-Verfahren [Abbildung 1]. Einsetzbar bei neuen Luftleitungssystemen als auch bei bestehenden undichten Luftleitungssystemen, die nicht der erwarteten oder vorgegebenen Luftpichtigkeitsklasse entsprechen, basiert die Abdichtung mit dem Aero-seal-Verfahren auf der Injektion von Aerosolen. Innerhalb von kurzer Zeit und ohne vorherige Lecksuche können Undichtigkeiten in Luftleitungssystemen mit dem Aero-seal-Verfahren von innen heraus abgedichtet werden. Dabei werden Leckagen mit Spalten oder Durchmessern von bis zu 15 mm mit einem nach VDI 6022 zertifizierten Dichtstoff dauerhaft beseitigt. In der Theorie und in der Praxis, wie u.a. fast 700 erfolgreiche Abdichtungsprojekte in Europa seit 2015 belegen.



Abbildung 1: Funktionsprinzip des Aero-seal-Verfahrens (Aero-seal LCC, USA)

Sieben Länder, sieben Gebäude, eine Lösung

Um die Leistungsfähigkeit des Aero-seal-Verfahrens unter Beweis zu stellen und aufzuzeigen, welche Dichtheitsklassen (ausgehend von verschiedenen Dichtigkeiten vor der Abdichtung) erzielbar sind, führte die MEZ-TECHNIK GmbH im Jahr 2021 zusammen mit ihren Aero-seal-Partnern eine Feldstudie in sieben Ländern durch. Untersucht wurden Gebäude in Deutschland, Frankreich, Irland, der Tschechischen Republik, den Niederlanden, Polen und der Schweiz. Als Aero-seal-Partner beteiligt, waren Air Innovators B.V. (Niederlande), Energy Air Sp. Z.o.o. (Polen), Ventilace EU a.s. (Tschechische Republik), Lippuner Energie- und Metallbautechnik AG (Schweiz), MapClim(Frankreich), SpectrumEngineering Ltd. (Irland) und Windmüller Technik GmbH (Deutschland).

Um ein möglichst breites Spektrum abzudecken, wurden Gebäude mit Unterschieden in der Nutzungsart, dem Baujahr und der Fläche [Tabelle 1], der verbauten und abzudichtenden Luftleitungssysteme sowie der Leckagerate und Luftpichtigkeitsklasse vor der Abdichtung untersucht. Die Nutzungsart reichte von Wohnen über Büro, Gewerbe, Schule bis hin zu Produktion und Reinraum, die Flächen lagen zwischen 5.000 m² und 42.000 m², die Baujahre bewegten sich zwischen 1980 und heute. Die Luftvolumenströme lagen zwischen 6.000 m³/h und 301.407 m³/h, die Anzahl der (abgedichteten) Lüftungsanlagen zwischen 2 und 52.

Standort	Gebäudetyp	Baujahr	Fläche	Grund für die Abdichtung
Zürich (CH)	Bürogebäude	Neubau	29.045 m ²	<ul style="list-style-type: none"> Luftdichtheitsklasse nicht erreicht Geruchsbelästigung Optimierung der Leistung
Prag (CZ)	Mehrfamilienhaus	2016	12.714 m ²	Geruchsbelästigung
Leinfelden-Echterdingen (DE)	Bürogebäude	Neubau	42.000 m ²	<ul style="list-style-type: none"> Luftdichtheitsklasse nicht erreicht Probleme mit der Luftverteilung Belüftungsleiste nicht richtig gebaut
Saint-Denis (FR)	Schulgebäude (Gymnasium)	2017	15.500 m ²	Luftdichtheitsklasse nicht erreicht
Tipperary (IE)	Reinraum (Hersteller medizintechnische Geräte)	1980	30.000 m ²	<ul style="list-style-type: none"> Anforderungen an Dichtigkeit Luftleitungssystem erfüllen Hygienische Probleme in Reinräumen
Niederlande (NL)	Fabrik (LKW-Hersteller)	2006	30.000 m ²	<ul style="list-style-type: none"> Luftdichtheitsklasse nicht erreicht Hygienische Probleme Geruchsbelästigung
Krakau (PL)	Bürogebäude	2008	5.000 m ²	<ul style="list-style-type: none"> Luftdichtheitsklasse nicht erreicht Hygienische Probleme Lärmbprobleme Geruchsbelästigung

Tabelle 1: Eckdaten der Gebäude, in denen eine Abdichtung der Luftleitungssysteme durchgeführt wurde (@W. Reinhardt)

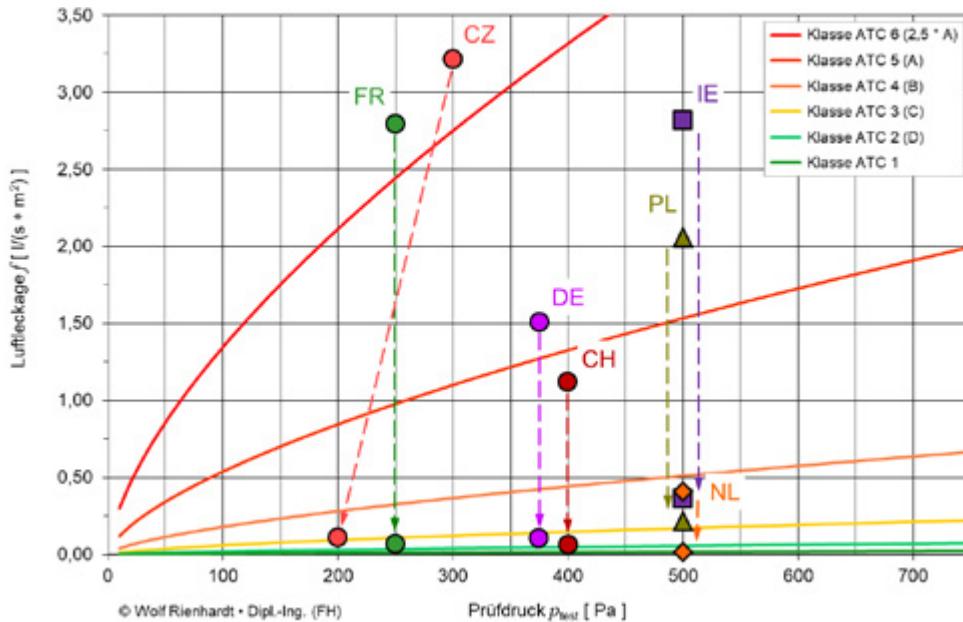


Abbildung 2: Leckageraten und Dichtheitsklassen vor und nach der Abdichtung mit dem Aeroseal-Verfahren (@W. Reinhardt)

Mit Leckageraten vor der Abdichtung zwischen 326 l/s und 7.743 l/s bzw. 0,4 % bis 52,8 % (durchschnittlich 21,9 %) lagen die Luftdichtheitsklassen vor der Abdichtung im Bereich von >2,5 * A bis B (bzw. ATC 6 bis ATC 4 gemäß DIN EN 16798-3). Nach der Abdichtung mit dem Aeroseal-Verfahren lagen die Leckageströme im Bereich von 13,8 l/s und 992 l/s bzw. 0,02 % bis 3,69 % (durchschnittlich 1,4 %), was Luftdichtheitsklassen von mindestens B (bzw. ATC 4) entspricht. Die geringste Leckage rate (und zugleich beste Dichtheitsklasse) wurde bei dem bereits vor der Abdichtung relativ dichten Luftleitungssystem (NL) erreicht. Doch auch bei wenig dichten Luftleitungssystemen (z.B. CZ oder FR) konnten sehr gute Dichtheitsklassen (C bis D) und geringe Leckageraten erreicht werden [Abbildung 2].

Energieeinsparungen durch die Abdichtung von Luftleitungssystemen

Die erheblich verbesserte Dichtheit der Luftleitungssysteme (in allen Ländern und Gebäuden) bedeutet, dass weniger Luft durch Undichtigkeiten verloren geht. Stattdessen kommt ein erheblich größerer Teil der Luft in den zu versorgenden Innenräumen an. Damit muss insgesamt weniger Luft transportiert werden, um eine gute Luftqualität sicherzustellen, was wiederum für eine geringere Ventilatorleistung und damit Energieeinsparungen steht.

Zur Abschätzung der Energieeinsparungen, die aus der geringeren Ventilatorleistung resultieren, wurde angenommen, dass die Ventilatorsysteme, die durch die Leckagen verursachten Verluste vollständig kompensieren. Sprich, dass so viel mehr an Luft von den Ventilatoren gefördert und trotz der Verluste (in Zwischendecken etc.) in den Räumen eine ausreichende Luftwechselrate sichergestellt wird. Real wird zusätzlich zur Ventilatorleistung weitere Energie eingespart. Grund ist, dass nach der Abdichtung mit dem Aeroseal-Verfahren wesentlich mehr der thermodynamisch behandelten Luft (geheizt, gekühlt, be- oder entfeuchtet) in den Räumen ankommt, in denen sie benötigt wird. Aus einem Mangel an detaillierten Daten (z.B. Fläche des Luftleitungssystems in den von der Lüftungsanlage nicht versorgten Räumen, Lage der Luftleitung im Vergleich zur Dämmschicht etc.) wurden diese Einsparungen im Folgenden [Tabelle 2] nicht berücksichtigt. Nichtsdestotrotz liegt die Menge an einzusparender elektrischer Energie (reine Ventilatorleistung ohne Heizen/Kühlen) für die sieben Projekte zwischen 0,57 kW und 37,8 kW bzw. 1,1 % bis 65,4 % (durchschnittlich 40 %). Die große Bandbreite an eingesparter Ventilatorenergie ist auf die stark unterschiedlichen technischen Daten der Gebäude und Lüftungsanlagen (z.B. Nennleistung der Ventilatoren) sowie die große Differenz der Leckageraten vor der Abdichtung zurückzuführen.

Einsparung bei Ventilatorsystemen	CH	CZ	DE	FR	IE	NL	PL
Eingesparte Leistung insgesamt	3,9 kW	0,57 kW	5,94 kW	10,3 kW	37,8 kW	1,6 kW	11,5 kW
	2,6 %	40,7 %	64,0 %	65,4 %	27,1 %	1,1 %	38,1 %

Tabelle 2: Erzielte Einsparungen an Ventilatorleistung durch die Abdichtung der Luftleitungssysteme (@W. Reinhardt)

Berechenbare Kosteneinsparungen und geringe Amortisationszeiten

Die Beurteilung der erzielbaren Kosteneinsparungen aufgrund der Energieeinsparungen (an Ventilatorenergie) wurde basierend auf den jährlichen Betriebszeiten und der nationalen Strompreise berechnet. Für eine bessere Vergleichbarkeit der sieben Projekte (und weil die jährliche Betriebszeit bei vielen Projekten nicht bekannt war) wurde ein ganztägig betriebenes Ventilatorsystem angesetzt (= 8.760 Betriebsstunden pro Jahr; was mindestens in Irland der Realität entspricht). Die berechneten erzielbaren Einsparungen durch die geringere Ventilatorleistung liegen zwischen 5.000 kWh/a und 331.000 kWh/a bzw. bis zu 36.000 Euro pro Jahr [Tabelle 3].

Energie-Einsparung bei Ventilatorsystemen	CH	CZ	DE	FR	IE	NL	PL
Injektionszeit Aeroseal	36,1 h	1,4 h	21,1 h	61,5 h	49,6 h	2,1 h	35,9 h
Strompreis (je kWh)	0,204 €	0,180 €	0,228 €	0,110 €	0,110 €	0,178 €	0,150 €
Eingesparte Energie (je a)	34.100 kWh	5.000 kWh	52.000 kWh	90.000 kWh	331.000 kWh	14.000 kWh	100.300 kWh
Eingesparte Energiekosten (je a)	6.956 €	902 €	11.850 €	9.901 €	36.414 €	2.490 €	15.049 €

Tabelle 3: Berechnete Kosteneinsparungen (Basis: 8.760 h/a) durch eine reduzierte Leistungsaufnahme der Ventilatoren nach der Abdichtung mit dem Aeroseal-Verfahren (@W. Reinhardt)

Um für künftige Projekte bereits vor der potenziellen Abdichtung mit dem Aeroseal-Verfahren eine grobe Abschätzung bzgl. der dadurch erzielbaren Einsparung an Ventilatorleistung und Kosten machen zu können, wurden die Daten der sieben Projekte diesbezüglich analysiert und in zwei einfach anwendbaren Formeln zusammengefasst. Der für ein bestimmtes Luftleitungssystem durch eine Abdichtung (mit dem Aeroseal-Verfahren) einzusparende Prozentsatz der Ventilatorleistung PAHU (ausgehend vom Wert vor der Abdichtung), ist etwa doppelt so hoch, wie der Prozentsatz des Leckageluftvolumenstrom QAHU,vor im Vergleich zum gesamten Luftvolumenstrom QLeck,vor (beides vor der Abdichtung). Damit gilt:

$$\left(\frac{P_{\text{AHU, bef}} - P_{\text{AHU, aft}}}{P_{\text{AHU, bef}}} \right) \approx 2 * \frac{Q_{\text{leak, bef}}}{Q_{\text{AHU, bef}}}$$

Die jährlichen Kosteneinsparungen können darauf basierend wie folgt abgeschätzt werden:

$$\text{Einsparung [EUR]} = 2 * P_{\text{AHU, bef}} [\text{kW}] * \frac{Q_{\text{leak, bef}}}{Q_{\text{AHU, bef}}} * t_{\text{AHU, a}} [\text{h}] * \text{Preis}_{\text{elec}} \left[\frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} \right]$$

Basierend auf den berechneten möglichen Kosteneinsparungen, den Kosten für die Aeroseal-Abdichtung und weiteren Faktoren, wie z.B. Betriebsdauer, Luftleckagerate, Systemgröße, regionalen Energiekosten etc. ist dann eine Berechnung der Amortisationszeiten (bzw. ROI: Return of Invest) möglich. Der Return of Invest bei den sieben Projekten liegt zwischen ein und drei Jahren. Lediglich beim Projekt in den Niederlanden war der ROI aufgrund der bereits guten Dichtheit der Luftleitungen vor der Abdichtung (Klasse B bzw. ATC 4) etwas höher. Dabei bleibt anzumerken, dass der ROI angesichts des weltweiten Anstiegs der Energiepreise in Zukunft (tendenziell) noch geringer ausfällt.

Ein Verfahren mit vielen Vorteilen

Alles in allem konnte die Feldstudie in den sieben Ländern eindrücklich die Leistungsfähigkeit des Aeroseal-Verfahrens beweisen – unabhängig von der Art des Gebäudes, der Größe des Luftleitungssystems sowie der Leckagerate vor der Abdichtung. Dies bestätigen u.a. eine durchschnittliche Reduzierung der Leckagen der Luftleitungssysteme von 93 % (Worst Case: 87 %, Best Case: 98 %), eine Reduzierung der aufgenommenen Ventilatorleistung um durchschnittlich 40 % sowie eine verbleibende Leckagerate von durchschnittlich nur 1,4 %.

Neben erheblichen Energie- und Kosteneinsparungen, einer verbesserten Energieeffizienz der Anlagen sowie kurzen Amortisationszeiten profitieren Gebäudebetreiber, deren Lüftungs- oder Klimaanlagen mit dem Aeroseal-Verfahren abgedichtet wurden, von weiteren Vorteilen:

- Der Personaleinsatz für die Abdichtung beschränkt sich meist auf ein bis zwei Personen (Stichwort Fachkräftemangel).
- Die Betriebsunterbrechungen für die Abdichtung der Luftleitungssysteme sind im Vergleich zu herkömmlichen Abdichtungsverfahren erheblich geringer, was im Bereich der Industrie minimierte Einbußen durch Produktionsausfälle bedeutet (konkret betrug die Dauer der Abdichtung mit dem Aeroseal-Verfahren bei den sieben Projekten zwischen 1,4 bis 61,5 Stunden (sprich maximal rund 2,5 Tage)).
- Nach der Abdichtung (mit Ausnahme schwerwiegender technischer Mängel oder Spaltmaßen über 15 mm) ist die Dichtheitsklasse C bzw. ATC 3 garantiert, was in vielen Fällen gesetzliche Mindestvorgaben überschreitet.
- Typische Quellen von Undichtigkeiten, wie z.B. eine mangelhafte Verarbeitung, eine fehlende manuelle Abdichtung, fehlende Luftleitungsklammern, schlechte Rahmenverbindung an der Decke für gedämmte Luftleitungen, Löcher durch Luftdichtheitsprüfgeräte sowie flexible Verbindungen, die sich geöffnet haben, können zuverlässig behoben werden.
- Negative Auswirkungen durch Produkt(ions)probleme, wie eine schlechte Qualität und/oder beschädigte Komponenten, können gemindert oder ausgemerzt werden.
- Verbesserung der Innenraumluftqualität (IAQ = Indoor Air Quality), ein signifikant reduzierter Austritt giftiger Gase, das Verschwinden von unangenehmen Gerüchen sowie weniger Lärm durch eine geringere Drehzahl der Ventilatoren (gemäß der Aussagen der Betreiber der sieben Gebäude).

Ein weiterer Vorteil in Deutschland ist die Möglichkeit, die Abdichtung mit dem Aeroseal-Verfahren über die Bundesförderung effiziente Gebäude als Einzelmaßnahme (BEG EM) finanziell zu fördern. Unter bestimmten Voraussetzungen (Einzelfallprüfung) ist zudem über das Förderprogramm Energieeffizienz und Prozesswärme im Modul 4: Energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen eine Förderung möglich.