

Leckagekennzahlen nach VDI 3803 Blatt 5

Die Übertragung von Teilmassenströmen von einem Luftstrom auf den anderen wird als (interne) Leckage bezeichnet. Sie entsteht durch Undichtigkeiten als Folge einer Druckdifferenz (Dichtungsleckage) oder ist funktionsbedingt, wie beispielsweise die Mitrotation bei einem Rotor. Während die Leckage bei Plattenwärmeübertrager, Wärmerohren und Kreislaufverbundsystemen vernachlässigbar klein ist, kann sie bei Rotationswärmeübertrager und Umschalt Speicher zu deutlichen Veränderungen der Nennmassenströme führen; dies ist bei Planung und Ausführung zu berücksichtigen. Darauf wird in der Richtlinie VDI 3803 Bl. 5 hingewiesen. Zugleich werden Kennzahlen definiert, die Grösse und Art der Leckage angeben.

Leckage hat vielfache Auswirkungen

Durch die interne Leckage werden die Massenströme von Abluft/Fortluft und Aussenluft/Zuluft verändert; die Planwerte (= ohne Leckage) werden nicht mehr erreicht. Dies hat vielfache Auswirkungen:

- Die Abluft- und Aussenluftmassenströme müssen so korrigiert werden, dass die notwendigen und deshalb so geplanten Zuluft- und Fortluftmengen (= ohne Leckage) erreicht werden. Dies scheint selbstverständlich zu sein, wird aber – bis heute – kaum gemacht.
- Erhöhte Luftleistung der Ventilatoren
Um die Nennleistungen von Abluft und Zuluft realisieren zu können, muss - je nach Ventilatoranordnung - mindestens ein Ventilator, oft aber beide, zusätzlich die Leckage fördern. Das bedeutet mehr Antriebsleistung und damit höheren Stromverbrauch. Es ist deshalb sinnvoll, größere Strömungsquerschnitte im Lüftungsgerät und in den Kanälen zu wählen, um die Druckverluste und damit die Betriebskosten zu reduzieren.
- Geminderte Zuluftqualität
Gibt es eine Übertragung/Leckage von der Abluft in die Zuluft, kann diese dadurch in der Qualität verschlechtert werden. Darauf wird in der VDI 6022 Bl.1 hingewiesen: „Kann eine solche Übertragung nicht ausgeschlossen werden, dürfen diese Wärmerückgewinnungssysteme nur eingesetzt werden, wenn auch die Verwendung von Umluft in der Anlage hygienekonform ist.“

- **Veränderte Daten der Wärmerückgewinnung**

Durch die Leckage ändern sich die Auslegungskonditionen des Wärmerückgewinners und damit dessen technische Daten (Rückwärmzahl, Druckverlust). Um dies berücksichtigen zu können, müssen allerdings nicht nur die Grösse, sondern auch der Ort der Leckageströme bekannt sein. Dies führt in der Praxis zu Problemen, so dass ein vereinfachtes Modell sinnvoll ist. **Es wird angenommen, dass alle Leckagen vor dem Wärmeaustauscher – in Strömungsrichtung des abgebenden Stromes gesehen – übertragen werden.** Der dadurch entstehende Fehler ist akzeptabel.

Auf Grund dieser Auswirkungen ist die Leckage so klein wie möglich zu halten; dazu können der Planer durch ein geringes Druckgefälle (von der Aussenluft zur Fortluft) und der WRG-Hersteller mit qualitativ hochwertigen Dichtungssystemen entscheidend beitragen. Am Beispiel des Rotationswärmeübertragers wird nachfolgend versucht, den komplexen Übertragungsmechanismus der Leckage zu erklären. Dieser gilt sinngemäss auch für den Umschalt Speicher, wobei die Klappen den Dichtungen (Dichtungsleckage) und das Luftvolumen des Speichers der Mitrotation (Funktionsleckage) entsprechen.

Leckage durch Dichtungen

Der Rotor ist beidseitig (Luftein- und -austritt) zum Gehäuse hin abgedichtet. Dazu sind eine Querdichtung am Trennungssteg und eine Radialdichtung am Rotorumfang installiert, die aber die Dichtungsleckage nicht komplett verhindern können. Diese hängt ab von der Druckdifferenz, dem Rotordurchmesser, der Dichtungsart, der Rotorqualität (Schlag = der Rotor läuft in axialer und radialer Richtung nicht exakt plan) und der Einstellung der Dichtung (Wartung).

m_{D1-2} = Dichtungsleckage von der Abluft auf die Zuluft (kg/h)

m_{D2-1} = Dichtungsleckage von der Aussenluft auf die Fortluft (kg/h)

Die Richtung der Übertragung wird durch das Druckgefälle bestimmt; es sollte idealerweise von der Aussenluft zur Fortluft gehen, um eine Übertragung von der Abluft auf die Zuluft zu verhindern (Bild 1).

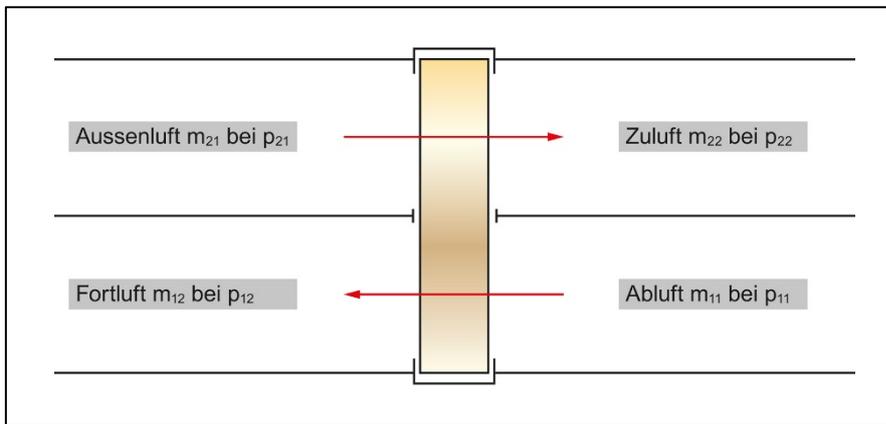


Bild 1: Massenströme und Drücke beim Rotor

1. Index

1 = Abluft, Fortluft

2 = Aussenluft, Zuluft

2. Index

1 = Eintritt in den Wärmerückgewinner

2 = Austritt aus dem Wärmerückgewinner

Bezüglich der Dichtungsqualität gibt es Unterschiede:

- **Schleifdichtung**

Die Radialdichtung z. B. aus Kunststoff ist beweglich gelagert und schleift so dauernd am Rotor; es gibt trotz (unvermeidlichem) Schlag des Rotors keinen Spalt. Dadurch ist der Wartungsaufwand sehr gering und die Wirkung ist konstant.

- **Fixdichtung**

Die Dichtung aus Kunststoff oder Profilmgummi ist so nahe wie möglich am Rotor installiert; sie berührt also gerade beim grössten Schlag. Dadurch entsteht konstruktionsbedingt immer ein (geringer) Spalt, der die Leckage im Vergleich zur Schleifdichtung erhöht. Der Wartungsaufwand ist gering und die Wirkung ist konstant.

- **Bürstendichtung**

Diese Dichtung wird in der Regel so eingestellt, dass die flexible Bürste (meist mit zusätzlichem Kunststoffband) den Rotorschlag aufnimmt. Im Betrieb entsteht dann aber durch Abnützung trotzdem ein Spalt. Es ist deshalb laufende Wartung/Nachstellung erforderlich.

Übliche Werte für die Dichtungsleckage bei mittlerem Durchmesser und gut eingestellter Dichtung sind 2 – 8 % des Massenstroms. Bei geringer Dichtungsqualität und/oder schlechter Wartung (Einstellung) können die Werte auf das 2 – 3-fache ansteigen. Für die Bestimmung der Dichtungsleckage müssen die Drücke p_{11} , p_{12} , p_{21} , p_{22} bekannt sein.

Funktionsbedingte Leckage (z.B. Mitrotation)

Funktionsbedingt wird Luft, während sie den Rotor durchströmt, von einem Luftstrom in den anderen gedreht; dies bezeichnet man als Mitrotation. Sie hängt nur von der Rotordrehzahl, dem Rotordurchmesser und der Rotortiefe ab, also nicht von der Druckdifferenz. Bei einer Rotortiefe von 200 mm, einer Luftdichte von 1.2 kg/m^3 und bei Vernachlässigung des Speichervolumens gilt:

$$m_{F1-2} = 11.3 * n * d^2$$

$$m_{F2-1} = 11.3 * n * d^2$$

m_{F1-2} = Funktionsleckage von der Abluft auf die Zuluft (kg/h)

m_{F2-1} = Funktionsleckage von der Aussenluft auf die Fortluft (kg/h)

n = Rotordrehzahl in U/min

d = Rotordurchmesser in m

Man erkennt, dass die Mitrotation im Rotor zweimal - gleich gross - auftritt:

- einmal von der Abluft auf die Zuluft
- einmal von der Aussenluft auf die Fortluft

Übliche Werte sind für eine Drehzahl von 10 U/min 2 – 4 %, für eine Drehzahl von 20 U/min 4 – 8 % des Massenstroms. Bei geeigneten Druckverhältnissen (Druckgefälle von p_{22} nach p_{11}) kann die Übertragung auf die Zuluft durch eine Spülkammer verhindert werden; m_{F1-2} wird dann Null. Die Spülkammer muss aber exakt für den Anwendungsfall dimensioniert sein. Die Mitrotation auf die Fortluft m_{F2-1} bleibt weiterhin bestehen. (Bei ungeeigneten Druckverhältnissen können Hilfsventilatoren eingesetzt werden, die die Funktion sicherstellen, jedoch zusätzliche Investitionen und Betriebskosten erfordern.)

Gesamtleckage

Die Dichtungsleckage und die Funktionsleckage zusammen ergeben die Gesamtleckage von einem Luftstrom zum anderen:

$$m_{1-2} = m_{D1-2} + m_{F1-2} \quad \text{Umluftleckage von der Abluft 1 auf die Zuluft 2}$$

$$m_{2-1} = m_{D2-1} + m_{F2-1} \quad \text{Kurzschlussleckage von der Aussenluft 2 auf die Fortluft 1}$$

Beide gegengerichteten Leckagen treten gleichzeitig, aber nicht am gleichen Ort auf; sie dürfen deshalb nicht gegeneinander aufgerechnet werden. Dies ist bei der beidseitigen

Mitrotation wichtig. Um eine klare und verständliche Darstellung zu erhalten, wird angenommen, dass die Leckagen jeweils vor dem Rotor (vom abgebenden Luftstrom aus gesehen) übertragen werden (Bild 2). Dies ist nicht ganz korrekt, vermeidet aber aufwändige Berechnungen und liefert trotzdem ausreichend genaue Ergebnisse.

Leckagezahlen

Es werden zwei Leckagezahlen definiert, die die Massenströme im Verhältnis zum leckagefreien Betrieb angeben:

$$L_1 = m_{11} / (m_{11} - m_{1-2}) = m_{11} / m_1 \quad \text{Leckagezahl Fortluft}$$

$$L_2 = m_{21} / (m_{21} - m_{2-1}) = m_{21} / m_2 \quad \text{Leckagezahl Aussenluft}$$

m_1 = leckagefreier Fortluftstrom

m_2 = leckagefreier Aussenluftstrom

Zusätzlich beschreibt die Umluftzahl U den Umluftanteil in der Zuluft:

$$U = m_{1-2} / (m_{21} - m_{2-1}) = m_{1-2} / m_2 \quad \text{Umluftzahl}$$

Mit diesen drei Kennzahlen ist ein Wärmerückgewinner in Hinblick auf Leckagen umfassend definiert; die Werte sollten als Spezifikation immer angegeben werden.

Auslegungskorrekturen

Mit den bekannten Leckagen müssen die Leistungen der Ventilatoren so korrigiert werden, dass die geplanten Werte für Fortluft und Aussenluft erreicht werden.

$$m_{11} = m_1 + m_{1-2}$$

$$m_{12} = m_1 + m_{2-1}$$

$$m_{21} = m_2 + m_{2-1}$$

$$m_{22} = m_2 + m_{1-2}$$

Dabei sind (in der Regel) die leckagefreien Luftströme Planerdaten und die Leckagen Angaben des WRG-Herstellers. Zur Sicherstellung der erforderlichen Leistungen sind die Auswirkungen der Leckagen zu kompensieren:

- Mit der Annahme, dass die Leckagen jeweils vor dem Wärmerückgewinner übertragen werden, kann die Auslegung des Wärmerückgewinners (Rückwärmzahl, Druckverlust)

mit den leckagefreien Luftleistungen m_1 und m_2 erfolgen. Die daraus resultierenden geringen Abweichungen von den echten Werten sind vertretbar.

- Bei den Ventilatoren müssen die tatsächlichen Luftströme berücksichtigt werden (Druckverluste, Leistungsaufnahme).

Defaultwerte

Liegen zum Zeitpunkt der Auslegung noch keine projektspezifischen Angaben vor, so sind die leckagefreien Ströme für Fortluft m_1 und Außenluft m_2 um jeweils 10 % zu erhöhen. Die Beispiele zeigen, dass dies durchaus praxismgerechte Werte sind. Wird durch die Leckage Abluft in die Zuluft übertragen, ist darauf hinzuweisen, dass Rotationswärmeübertrager nur dann eingesetzt werden dürfen, wenn die Vorgaben nach VDI 6022 Bl. 1 eingehalten werden.

Beispiele

Die drei in der Praxis üblichen Ventilatoranordnungen in RLT-Anlagen werden bezüglich der Leckagen beurteilt.

a) Abluftventilator drückt – Zuluftventilator saugt

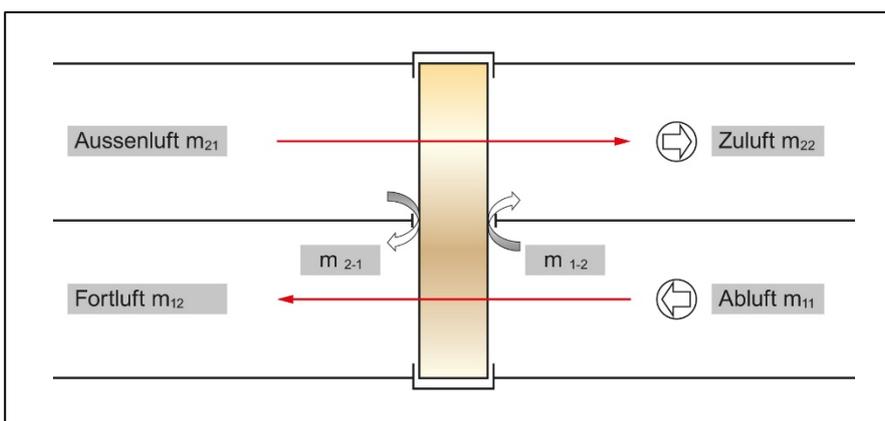


Bild 2: Abluftventilator drückt – Zuluftventilator saugt

Diese Anordnung dominiert in Deutschland; die meisten Anlagen werden so ausgeführt.

In Hinblick auf die Verwendung eines Rotors ist bei dieser Anordnung auf Folgendes hinzuweisen:

- Kompakte Bauweise des Lüftungsgerätes
- Geringe Druckdifferenz → Geringe Dichtungsleckage
- Druckgefälle zur Zuluft → Dichtungsleckage zur Zuluft
- Kontamination der Zuluft
- Keine Spülzone möglich

Fazit: Durch die unvermeidbare Mitrotation als Folge der Druckkonstellation ist die Umluftleckage m_{1-2} trotz der geringen Druckdifferenz mit 5 – 10 % relativ gross. Beide Ventilatoren müssen eine um die Leckage höhere Luftleistung fördern.

b) Aussenluftventilator drückt – Fortluftventilator saugt

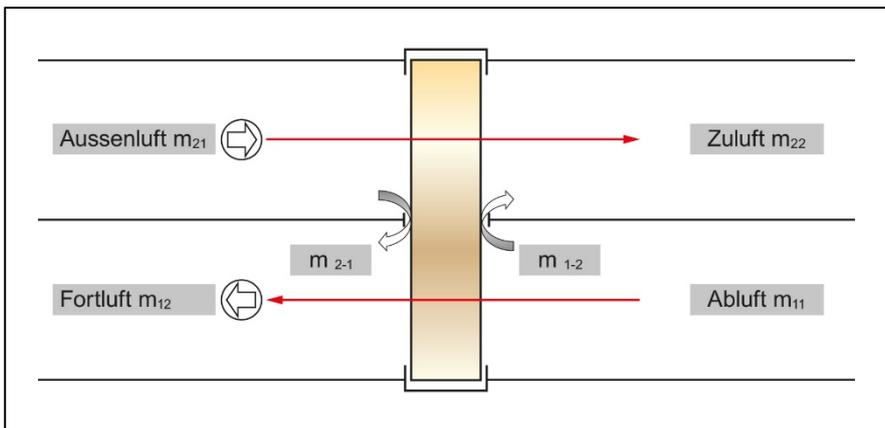


Bild 3: Aussenluftventilator drückt – Fortluftventilator saugt

Bei dieser Anordnung ist keine Dichtungsleckage in die Zuluft möglich; die Druckdifferenz ist allerdings hoch. In Hinblick auf die Verwendung eines Rotors ist bei dieser Anordnung auf Folgendes hinzuweisen:

- Kompakte Bauweise des Lüftungsgerätes
- Druckgefälle zur Fortluft → Dichtungsleckage zur Fortluft
- Spülzone ist möglich → $m_{F1-2} = 0$
- Keine Kontamination der Zuluft
- Grosse Druckdifferenz → Grosse Dichtungsleckage
- Hohe Dichtungsqualität erforderlich

Fazit: Durch die Spülzone gibt es keine Mitrotation m_{F1-2} und damit auch keine Umluftleckage m_{1-2} . Die Kurzschlussleckage m_{2-1} ist aber wegen der grossen Druckdifferenz mit 7 - 17 % recht hoch. Beide Ventilatoren müssen eine um die Leckage höhere Luftleistung fördern.

c) Zuluftventilator saugt – Fortluftventilator saugt

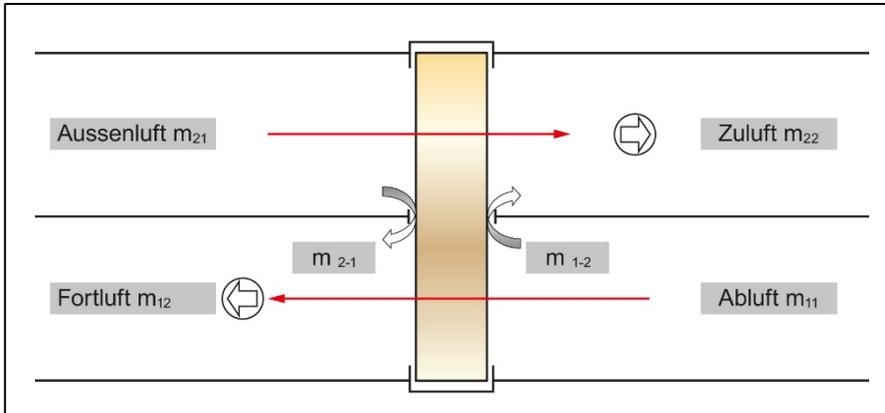


Bild 4: Aussenluftventilator saugt – Fortluftventilator saugt

Auch bei dieser Anordnung entsteht üblicherweise ein Druckgefälle zur Fortluft; im Vergleich zu b) ist die Druckdifferenz allerdings relativ gering.

In Hinblick auf die Verwendung eines Rotors ist bei dieser Anordnung auf Folgendes hinzuweisen:

- Druckgefälle zur Fortluft → Dichtungsleckage zur Fortluft
- Keine Kontamination der Zuluft
- Geringe Druckdifferenz → Geringe Dichtungsleckage
- Spülzone ist möglich → $m_{F1-2} = 0$
- Grosser Platzbedarf

Fazit: Durch die Spülzone gibt es keine Mitrotation m_{F1-2} und damit auch keine Umluftleckage m_{1-2} . Die Kurzschlussleckage m_{2-1} ist wegen der geringen Druckdifferenz mit 5 - 10 % relativ gering. Nur der Fortluftventilator muss eine um die Leckage höhere Luftleistung fördern.

Kontakt für Rückfragen:

Hoval Aktiengesellschaft
 Dipl.-Ing. (FH) Thomas Richter
 Tel. +423 399 24 00
 thomas.richter@hoval.com