

Rückwärmzahlen: Definitionen und Anforderungen

In Verordnungen, Normen und Richtlinien wurden im Laufe der Zeit verschiedene Kennzahlen der Wärmerückgewinnung definiert; einige davon sind auch als Mindestanforderungen formuliert. Leider sind diese Definitionen, z. B. für die Rückwärmzahl RWZ oder die für den Betrieb notwendige zulässige Hilfsenergie, oft unterschiedlich, was die betroffenen Fachleute irritiert und was zu Unsicherheiten führt. Erschwert wird die richtige Verwendung zusätzlich durch die Unterscheidung in Wohnungslüftung und Nicht-Wohnungslüftung. Unterschiedliche geographische Geltungsbereiche (national und international) sorgen für weitere Verwirrung. Eine Analyse der in Europa, besonders aber in den deutschsprachigen Ländern, existierenden Definitionen soll helfen, dieses Wirrwarr zu ordnen und einen Überblick zu schaffen.

Geografische Geltungsbereiche

In der Praxis sind heute folgende Regeln betroffen:

- **Europäische Verordnung** (z. B. EU 1253 – 2014)
Diese muss in allen EU-Ländern direkt umgesetzt werden; der Geltungsbereich ist also die gesamte EU.
- **Nationales Gesetz** (z. B. EEWärmeG in Deutschland)
Es hat Gesetzeswirkung im entsprechenden Land.
- **Europäische Norm** (z. B. EN 13053)
Diese ist von den CEN-Mitgliedern in eine nationale Norm überzuführen; der Geltungsbereich ist deshalb grösser als die EU. Normen geben normalerweise den Stand der Technik wider; sie einzuhalten ist deshalb ratsam, aber nicht Pflicht.
- **Nationale Richtlinie** (z. B. VDI 3803 Bl.5)
Sie gelten im entsprechenden Land und geben den Stand der Technik wider. Sie einzuhalten ist ratsam, aber nicht Pflicht.

Die Bedeutung einer Verordnung/Norm/Richtlinie hängt somit vom geographischen Geltungsbereich und von deren Durchsetzbarkeit ab. Von dem oben aufgezeigten Schrifttum sind deshalb europäische Verordnungen (EU) und europäische Normen (EN) besonders wichtig und entsprechend zu beachten.

Europäische Verordnung EU 1253 (2014) hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen

In dieser Verordnung wird eine Mindest-Effizienz (Mindest-RWZ) der Wärmerückgewinnung gefordert. Gleichzeitig wird die Hilfsenergie, die für das Betreiben notwendig ist, limitiert.

Mindest-Rückwärmzahl η_{t_NWLA} ¹⁾

Die RWZ wird hier auch als „thermischer Übertragungsgrad eines Nichtwohnraum-Wärmerückgewinnungssystems η_{t_NWLA} “ bezeichnet:

$$\eta_{t_NWLA} = (t_2'' - t_2') / (t_1' - t_2') \quad (01)$$

- t_1' Ablufttemperatur (vor der WRG)
- t_2' Aussenlufttemperatur (vor der WRG)
- t_2'' Zulufttemperatur (nach der WRG)

¹⁾ Im deutschen Amtsblatt der EU ist die Verwendung der Bezeichnungen nicht konsequent. Es gibt deutsche und englische Abkürzungen für den gleichen Begriff, was verunsichert. Der η_{t_NWLA} wird beispielsweise auch als η_{t_nrvu} (non residential ventilation unit) bezeichnet.

Seit 1.1.2018 beträgt die Mindest-RWZ für KV-Systeme 68 %, für alle anderen WRS 73 %.

Dies gilt für

- Nicht-Wohnraumlüftungsanlagen NWLA
- Anlagen mit zwei Richtungen ZLA → zwei Ventilatoren
- Luftleistungen q_{nom} von
 - > 1000 m³/h immer
 - 250 > q_{nom} > 1000 m³/h, wenn als NWLA deklariert

Da an die RWZ Mindestanforderungen gestellt werden (z. B. 73 %), sind für die Vergleichbarkeit Randbedingungen definiert:

- Beide Massenströme sind gleich gross → $m_1 = m_2$
- Der Temperaturunterschied ($t_1' - t_2'$) ist 20 K
- Es gibt keine Kondensation → „trocken“
- Es gibt keine Temperaturänderung durch Ventilatorwärme und Leckage

Maximal zulässige spezifische Ventilatorleistung SVL_{int}

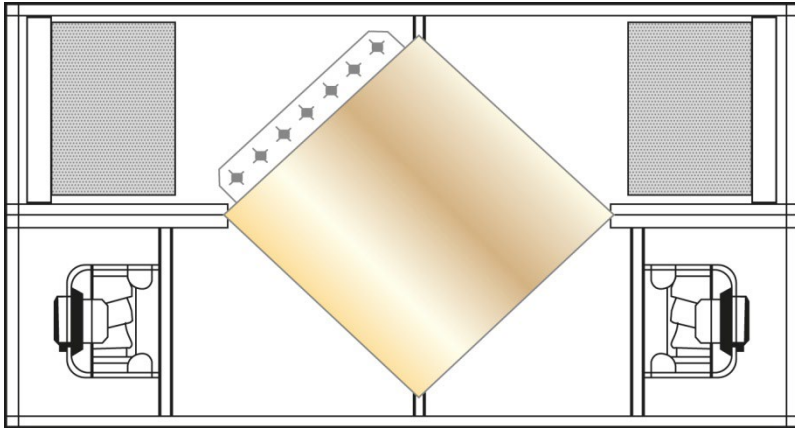


Bild 1: Bezugskonfiguration nach EU 1253

Die EU 1253 limitiert die spezifische Ventilatorleistung der Bezugskonfiguration (= WRS und Filter), die durch den internen Druckverlust Δp_{int} und dem Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoren η_{fan} bestimmt ist.

$$SVL_{int} = \Delta p_{int} / \eta_{fan} \quad (02)$$

Interessant ist, dass die Vorgabe für Nenn-Volumenströme in grösser und kleiner $2 \text{ m}^3/\text{s}$ unterteilt ist. Vermutlich soll damit den geringeren Ventilator-Wirkungsgraden bei kleinen Luftleistungen Rechnung getragen werden.

$$SVL_{int \text{ limit}} = 1100 - 150 \cdot q_{nom} + E - F \quad (03) \quad \text{für } q_{nom} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$SVL_{int \text{ limit}} = 800 + E - F \quad (04) \quad \text{für } q_{nom} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Die maximal zulässige innere spezifische Ventilatorleistung $SVL_{int \text{ limit}}$ wird um den Effizienzbonus E erhöht, wenn die tatsächliche RWZ den Mindestwert überschreitet. Grund für diesen Bonus ist die Annahme, dass eine höhere RWZ auch einen höheren Druckverlust verursacht bzw. benötigt. Deshalb werden pro Prozent RWZ-Erhöhung $30 \text{ W} / \text{m}^3/\text{s}$ zusätzlich aufgenommene Elektroleistung zugestanden. Bei einem üblichen Ventilator-Wirkungsgrad sind das etwa 20 Pa zusätzlicher Druckverlust für die Wärmerückgewinnung, also ca. 10 Pa pro Luftstrom.

$$E = (\eta_t - 0.73) \cdot 3000 \quad (05)$$

Die maximal zulässige spezifische Ventilatorleistung $SVL_{int \text{ limit}}$ kann in Abhängigkeit der Filterbestückung korrigiert werden (\rightarrow Filterkorrektur F: Kein Filter = weniger $SVL_{int \text{ limit}}$).

Beurteilung

Mit der Vorgabe von Mindest-RWZ und spezifischer Antriebsleistung werden beide Möglichkeiten der Energieeinsparung genutzt. Hinzuweisen ist auf Folgendes:

- Mit der Mindest-RWZ von 0.73 bzw. 0.68 gibt es eine klare Vorgabe, über die nicht diskutiert werden kann.
- Durch den Effizienzbonus E kann man sich mit höheren RWZ bei der $SVL_{int\ limit}$ etwas Spielraum verschaffen. Der Anreiz ist mit $30\ W/m^3/s$ aber gering. Nichtberücksichtigt wird die Art der verwendeten Primärenergie (Wasser, Kohle usw.).
- Für die $SVL_{int\ limit}$ gibt es mehrere Stellschrauben
 - Druckverlust WRS
 - Druckverlust Filter
 - Effizienz Ventilator, Motor, Antrieb und Steuerungderen Werte bei der Planung und in der Angebotsphase nicht/kaum bekannt sind. Es stellt sich deshalb die Frage, ob nicht durch konkrete Vorgaben dafür die Bearbeitung erleichtert würde.
- Die Unterteilung der $SVL_{int\ limit}$ in zwei Massenstrombereiche ist erstaunlich, da der Einfluss bzw. die Auswirkung vor allem bei $< 2\ m^3/s$ doch recht gross ist.
- Für RWZ und Ventilatorleistung gibt es vorgegebene Randbedingungen, die in der Praxis nicht immer eingehalten werden. Welche Werte sind dann zu nehmen?
- Bei üblicher Auslegung erhält man als zulässigen Druckverlust des WRS ca. 300 Pa (für beide Luftströme). Das ist – verglichen mit den Werten der EN 13053 – relativ niedrig.

EN 13053 Entwurf 2017

Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumlufthtechnische Geräte – Leistungskennndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten

In diesem Entwurf wird die RWZ η_t mit der benötigten Hilfsenergie korrigiert. Folgende Definitionen gelten:

$$\eta_t = (t_{22} - t_{21}) / (t_{11} - t_{21}) \quad (06)$$

η_t	Temperaturänderungsgrad (Rückwärmzahl)
t_{22}	Temperatur Zuluft
t_{21}	Temperatur Aussenluft
t_{11}	Temperatur Abluft

Mit der Leistungszahl ε kann man die benötigte elektrische Leistungsaufnahme P_{el} berücksichtigen:

$$\varepsilon = Q_{HRS} / P_{el} \quad (07)$$

Leistung der WRG Q_{HRS}

$$Q_{HRS} = (t_{22} - t_{21}) \times q_{V2} \times \rho_A \times c_{pA} \quad (08)$$

Elektrische Leistungsaufnahme.

$$P_{el} = (q_v \times \Delta p_{HRS}) / \eta_D + P_{el\ aux} \quad (09)$$

q_{V2}	Volumenstrom Aussenluft m^3/s
ρ_A	Luftdichte kg/m^3
c_{pA}	spez. Wärmekapazität Luft $J/kg.K$
q_v	Volumenstrom Luft m^3/s
Δp_{HRS}	Druckverlust WRG (Zu- und Abluft) in Pa
η_D	Systemwirkungsgrad Antrieb (z. B. Ventilator)
$P_{el\ aux.}$	Zusätzliche el. Leistung (z. B. Pumpe)

Für einen Vergleich müssen Randbedingungen festgelegt werden:

- Beide Massenströme sind gleich gross $\rightarrow m_1 = m_2$
- Die Luftdichte ρ_A ist 1.2 kg/m^3
- Die Aussenlufttemperatur t_{21} ist $5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Die Fortlufttemperatur t_{11} ist $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Es gibt keine Kondensation \rightarrow „trocken“
- Der Gesamtwirkungsgrad des Antriebs η_D ist 0.6

Mit den thermischen und elektrischen Leistungen kann jetzt der Wirkungsgrad einer WRG, die Energieeffizienz η_e , definiert werden:

$$\eta_e = \eta_t \times (1 - 1/\varepsilon) = \eta_t \times (1 - P_{el}/Q_{HRS}) \quad (10)$$

Mit ihr können jetzt Mindestwerte für die verschiedenen Klassen gefordert werden:

Klasse	H1	H2	H3	H4
Mindest-Energieeffizienz η_e	0.74	0.70	0.65	0.60

Mit bekanntem Druckverlust kann daraus der notwendige Temperaturübertragungsgrad η_t errechnet werden:

$$\eta_t = \eta_e + \Delta p_{HRS} / (c_{pA} \times \rho_A \times (t_{11} - t_{21}) \times \eta_D) \quad (11)$$

Beurteilung

Die Verknüpfung der thermischen und elektrischen Leistungen ist eine interessante Idee, deren Ergebnis aber weitgehend von der Definition der Randbedingungen abhängt. Die Bedeutung dieser europäischen Norm, die leider immer noch nur als Entwurf veröffentlicht ist, hat aber mit dem Inkrafttreten der EU 1253 abgenommen. Hinzuweisen ist weiter auf Folgendes:

- Die Energieeffizienz η_e der gewählten Klasse kann mit einer beliebigen Kombination des Temperaturübertragungsgrades η_t und des Druckverlustes der WRG Δp_{HRS} erreicht werden. Dabei überwiegt der Einfluss der RWZ im Vergleich zur EU 1253 deutlich. Während dort pro % RWZ nur ca. 20 Pa Druckverlust über den Effizienzbonus erhältlich sind, beträgt die zulässige Erhöhung bei der EN 13053 ca. 140 Pa.

- Mit der Leistungszahl ε erhält man einen Wert analog zum COP (coefficient of performance): Erhaltene Leistung zur eingebrachten Leistung. Dies benutzt man im deutschen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz EEWärmeG, in dem für eine anrechenbare WRG eine RWZ von mindestens 0.7 bei einer Leistungsziffer von mindestens 10 gefordert wird.
- Gültigkeitsbereich sind alle CEN-Länder, wobei in der EU die EU 1253 wohl Priorität hat. Trotzdem kann man aber mit der Klasse 1 auch hier erhöhte Anforderungen stellen. (Klasse 2 entspricht ungefähr EU 1253).
- Als Basiswerte erhält man beim Druckverlust der WRG für die vergleichbaren Klassen H1 und H2 600 bzw. 480 Pa und damit wesentlich mehr als die ca. 300 Pa bei der EU 1253.

Die Berechnung der RWZ η_t ist iterativ und damit etwas umständlich.

VDI 3803 Bl. 5 (2013)

Raumlufttechnik, Geräteanforderungen Wärmerückgewinnungssysteme

Diese Richtlinie ist die Nachfolgerin von VDI 2071 und beschäftigt sich ausschliesslich mit Wärmerückgewinnung. Kennzahlen werden nur definiert; es gibt keine Anforderungen und Grenzwerte bezüglich Effizienz und notwendiger Hilfsenergie.

Temperaturänderungsgrad (Rückwärmzahl) Φ_t

$$\Phi_t = (t_{22} - t_{21}) / (t_{11} - t_{21}) \quad (12)$$

Φ_t Temperaturänderungsgrad (Rückwärmzahl)

t_{22} Temperatur Aussenluft Austritt

t_{21} Temperatur Aussenluft Eintritt

t_{11} Temperatur Abluft Eintritt

Leistungszahl ε

$$\varepsilon = Q_{WRG} / P_{el} \quad (13)$$

Leistung der WRG Q_{WRG}

$$Q_{WRG} = (t_{22} - t_{21}) \times V_{AU} \times \rho_A \times c_{pA} = (t_{11} - t_{21}) \times \Phi_t \times V_{AU} \times \rho_A \times c_{pA} \quad (14)$$

Elektrische Leistungsaufnahme P_{el}

$$P_{el} = (V_{AU} \times \Delta p_{WRG,AU}) / \eta_{AU} + (V_{FO} \times \Delta p_{WRG,FO}) / \eta_{FO} + P_{Zus} \quad (15)$$

V_{AU}	Volumenstrom Aussenluft m ³ /s
V_{FO}	Volumenstrom Fortluft m ³ /s
ρ_A	Luftdichte kg/m ³
c_{pA}	spez. Wärmekapazität Luft J/kg.K
q_v	Volumenstrom Luft m ³ /s
$\Delta p_{WRG,AU}$	Druckverlust WRG Aussenluft Pa
$\Delta p_{WRG,FO}$	Druckverlust WRG Fortluft Pa
η_{AU}	Systemwirkungsgrad Antrieb Aussenluft
η_{FO}	Systemwirkungsgrad Antrieb Fortluft
P_{Zus}	Zusätzliche el. Leistung (z. B. Pumpe)

Wirkungsgrad η_{WRG}

$$\eta_{WRG} = \Phi_t \times (1 - 1/\varepsilon) = \eta_t \times (1 - P_{el}/Q_{WRG}) \quad (16)$$

Damit die Kennzahlen vergleichbar sind, müssen Randbedingungen festgelegt werden:

- Beide Massenströme sind gleich gross $\rightarrow m_1 = m_2$
- Die Luftdichte ρ_A ist 1.2 kg/m³
- Die Aussenlufttemperatur t_{21} ist 5 °C
- Die Fortlufttemperatur t_{11} ist 25 °C
- Es gibt keine Kondensation \rightarrow „trocken“
- Keine Wärmeein- und auskopplung

Beurteilung

Diese Richtlinie gibt Basiswissen der Wärmerückgewinnung wider; kein Wunder, wurde die Urversion (VDI 2071) doch bereits in den 1970er Jahren erarbeitet. Entsprechend oft findet man die hier definierten Kennzahlen in anderen Regeln wieder. Besonders auffällig ist die Ähnlichkeit mit EN 13053 E.

Blickt man auf die früheren Ausgaben, so fallen vor allem zwei Punkte auf:

- Ursprünglich gab es auch eine RWZ, die auf die Abluft bezogen war. Um Verwechslungen zu vermeiden wurde neu - analog zu EN 308 - auf diese Variante verzichtet.
- Die definierten Randbedingungen - notwendig um Vergleiche und Grenzwerte zu ermöglichen - wurden erst später eingeführt. Die Interpretation, die Kennwerte auch ausserhalb dieser Randbedingungen zu benutzen, ist deshalb zulässig und entspricht dem ursprünglichen Sinn.

VDI 3803 Bl. 1 (Entwurf 2018)

Raumluftechnik, Bauliche und technische Anforderungen, Zentrale raumluftechnische Anlagen

Der Entwurf verweist bezüglich der Wärmerückgewinnung auf die EN 13053 aus dem Jahre 2017. Neben der RWZ wird auch die benötigte Hilfsenergie betrachtet und bewertet. Die WRG-Klassen H1 bis H4 der EN 13053 werden übernommen.

EN 308 (1997)

Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen

Diese Regel war bezüglich der Wärmerückgewinnung die erste europäische Norm. In Bezug auf Kennzahlen liegt ihre Bedeutung bei der Definition des Temperaturänderungsgrades und den Randbedingungen.

Temperaturänderungsgrad η_t

$$\eta_t = (t_{22} - t_{21}) / (t_{11} - t_{21}) \quad (17)$$

t_{22} Temperatur Zuluft

t_{21} Temperatur Aussenluft

t_{11} Temperatur Abluft

Randbedingungen

- **Luftdichte**
Sie wird mit 1.2 kg/m^3 definiert und trifft (etwa) auf Luft von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und 50 \% rel. Feuchte zu.
- **Messtemperaturen**
Für trockenen Betrieb/Messung gelten
 - Ablufteintritt $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Feuchtkugeltemperatur $< 14 \text{ }^\circ\text{C}$)
 - Zuluft eintritt $5 \text{ }^\circ\text{C}$

Diese Werte hat man (leider) als Randbedingungen für die Leistungszahl ε übernommen. Folge ist eine – auf das Jahr gesehen – zu hohe Bewertung der WRG-Leistung. Der Einfluss des Druckverlustes ist zu gering, was zu falschen Äquivalenten $\text{RWZ}/\Delta p$ führt.

EN 16798-3 (2017)

Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme

In dieser Norm ist die Wärmerückgewinnung nur ein kleines Unterkapitel, in dem vorrangig auf EN 13053 verwiesen wird. Grosszügig gesteht man für die WRG-Klassen H1 und H2 dem zulässigen SFP-Wert $300 \text{ W/m}^3/\text{s}$ mehr zu. Die RWZ heisst hier Temperaturverhältnis und ist nicht auf die Aussenluft bezogen sondern – abweichend von allen anderen Regeln - auf den Kaltluftstrom.

Temperaturverhältnis (Temperatureffizienz) Φ_t bei $m_1 = m_2$

$$\Phi_t = (\theta_{22} - \theta_{21}) / (\theta_{11} - \theta_{21}) \quad (18)$$

- θ_{22} Austrittstemperatur WRG Kaltluftstrom
- θ_{21} Eintrittstemperatur WRG Kaltluftstrom
- θ_{11} Eintrittstemperatur WRG Warmluftstrom

Spezifische Ventilatorleistung P_{SFP}

$$P_{SFP} = P / q_v = \Delta p_{tot} / \eta_{tot} = \Delta p_{stat} / \eta_{stat} \quad (19)$$

- P El. Leistungsaufnahme des Ventilators
- q_v Auslegungsvolumenstrom des Ventilators
- Δp_{tot} Gesamtdruckdifferenz über dem Ventilator
- η_{tot} Gesamtwirkungsgrad des Ventilators basierend auf dem Gesamtdruck
- Δp_{stat} Statische Druckdifferenz über dem Ventilator
- η_{stat} Gesamtwirkungsgrad des Ventilators basierend auf dem statischen Druck

Wenn man bedenkt, dass diese europäische Norm erst 2017 veröffentlicht wurde, so erstaunt, dass – verglichen mit den bereits bestehenden Regeln – neue Begriffe und Kurzzeichen eingeführt/verwendet werden. Die Thematik wird dadurch noch unübersichtlicher!

Zusammenfassung

In nahezu allen Regeln ist die Logik für die Definition der RWZ gleich. (Ausnahme ist EN 16798, in der die Erwärmung der Kaltluft und nicht die der Aussenluft benutzt wird.) Umso mehr erstaunt es, dass dafür nicht der gleiche Begriff und die gleichen Abkürzungen verwendet werden. Die für den Betrieb der WRG notwendige Hilfsenergie wird generell durch die zusätzlich aufgenommene elektrische Leistung abgebildet. Wird eine Kombination von thermischer Effizienz und Druckverlust versucht, so wird das dafür notwendige Äquivalent relativ willkürlich bestimmt; die zulässigen Pascal Druckverlust pro Prozent Rückwärmzahl schwanken zwischen ca. 20 und 140. Es fragt sich, ob nicht zwei voneinander unabhängige Grenzwerte - einer für die Rückwärmzahl und einer für die Hilfsenergie - klarer und einfacher zu nutzen wären.

Ansprechpartner:

Hoval Aktiengesellschaft

Thomas Richter

Leiter Entwicklung Energierückgewinnung

E-Mail: thomas.richter@hoval.com