

HERZLICH WILLKOMMEN

zum ONLINE-VORTRAG mit Boris Wollscheid

Kennzahlen

Wie beurteile ich die WRG richtig?

Kennzahlen der Wärmerückgewinnung

Die für die **Beurteilung einer Wärmerückgewinnung** benötigten Kennzahlen unterteilen sich in die Leistungskennzahlen und die Energiekennzahlen.

Grundsätzlich dienen die Leistungskennzahlen zur **Vergleichbarkeit der Systeme** unter fest definierten Betriebsbedingungen.

Energiekennzahlen bilanzieren Kenngrößen einer Wärmerückgewinnung über mindestens ein Jahr. Energiekennzahlen können zur **Beurteilung der Wirtschaftlichkeit** verwendet werden.

Leistungskennzahlen

- Temperaturänderungsgrad Φ_t
(Rückwärmzahl)
- Leistungszahl ε
- Wirkungsgrad η_{WRG}

- Feuchteänderungsgrad ψ
(Rückfeuchtezahl)
- Wärmebereitstellungsgrad

Energiekennzahlen

- Jahresarbeitszahl ε_a
- Jahresdeckungsgrad N_a
- Jahrestemperaturänderungsgrad Φ_a
- Jahreswirkungsgrad η_a

Leistungskennzahlen

Die **Güte** einer Wärmerückgewinnung wird unter **trockenen Bedingungen** durch den Temperaturänderungsgrad **bezogen auf die Außenluft** bestimmt.

Zum Vergleich von Systemen und hinsichtlich der Forderungen der DIN EN 13053 sind die Leistungskennzahlen unter **Referenzbedingungen** in Anlehnung an die DIN EN 308 anzugeben.

Referenzbedingungen

- Luftmassenstromverhältnis ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$) $\dot{q}_{m2} / \dot{q}_{m1} = 1$
- Außenlufttemperatur $t_{21} = 5 \text{ °C}$
- Ablufttemperatur $t_{11} = 25 \text{ °C}$
- keine Taupunktunterschreitung auf der Fortluftseite und somit keine Kondensatbildung (sensible Wärmeübertragung)
- ohne Wärmeeinkopplung
- ohne Wärmeauskopplung
- ohne Umluftanteil
- ohne Leistungsreduzierung (Regelung)

Temperaturänderungsgrad ϕ_t

$$q_{m2} / q_{m1} = 1$$

Verhältnis der Temperaturänderung der Außenluft zur maximal möglichen Temperaturänderung, der Differenz zwischen Außenluft- und Ablufttemperatur

$$\phi_t = \phi_{t\ 1:1} = \frac{(t_{ZUL} - t_{AUL})}{(t_{ABL} - t_{AUL})} = \frac{(t_{22} - t_{21})}{(t_{11} - t_{21})}$$

Mindestanforderungen EU 1253:2014

(unter Referenzbedingungen bzw. DIN EN 13053 und DIN EN 308)

Kreislaufverbundsystem: **68 %** bzw. $t_{22} = 18,6 \text{ °C}$

sonstige WRG-Systeme: **73 %** bzw. $t_{22} = 19,6 \text{ °C}$

Auslegung bei unausgeglichenen Luftmassenströmen DIN EN 13053:2020

$$q_{m2} / q_{m1} \neq 1$$

$$\varnothing_{t\ 1:1} = \frac{\varnothing_t \cdot \left(1 + \frac{q_{m2}}{q_{m1}}\right)}{2} \qquad \varnothing_t = \frac{2 \cdot \varnothing_{t\ 1:1}}{\left(1 + \frac{q_{m2}}{q_{m1}}\right)}$$

Temperatur- änderungsgrade EU 1253:2014	Fortluft > Außenluft		=	Außenluft > Fortluft	
	q _{m2} / q _{m1}				
	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
KVS	75,6 %	71,6 %	68,0 %	64,8 %	61,8 %
sonstige WRG	81,1 %	76,8 %	73,0 %	69,5 %	66,4 %

Auslegung bei unausgeglichenen Luftmassenströmen DIN EN 13053:2020

$$q_{m2} / q_{m1} \neq 1$$

$$\varnothing_{t\ 1:1} = \frac{\varnothing_t \cdot \left(1 + \frac{q_{m2}}{q_{m1}}\right)}{2} \qquad \varnothing_t = \frac{2 \cdot \varnothing_{t\ 1:1}}{\left(1 + \frac{q_{m2}}{q_{m1}}\right)}$$

Zuluft- Temperaturen EU 1253:2014	Fortluft > Außenluft		=	Außenluft > Fortluft	
	q_{m2} / q_{m1}				
	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
KVS	20,1 °C	19,3 °C	18,6 °C	18,0 °C	17,4 °C
sonstige WRG	21,2 °C	20,4 °C	19,6 °C	18,9 °C	18,3 °C

Leistungszahl ϵ

$$q_{m2} / q_{m1} = 1$$

Verhältnis der thermischen Leistung und der elektrischen Leistung zum Betrieb der WRG unter Referenzbedingungen

$$\epsilon = \frac{\text{thermische Leistung}}{\text{elektrische Leistung}} = \frac{\dot{Q}_{WRG}}{P_{el}}$$

$$\dot{Q}_{WRG} = q_{m2} \cdot c_p \cdot (t_{22} - t_{21})$$

$$P_{el} = \frac{q_{v2} \cdot \Delta p_2}{\eta_2} + \frac{q_{v1} \cdot \Delta p_1}{\eta_1} + P_{zus}$$

Wirkungsgrad η_{WRG}

$$q_{m2} / q_{m1} = 1$$

Kombination aus Temperaturänderungsgrad ϕ_t und Leistungszahl ε
Wird zur Klassifizierung der Wärmerückgewinnung gemäß DIN EN 13053 verwendet

$$\eta_{\text{WRG}} = \phi_t \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right) = \phi_t \cdot \left(1 - \frac{P_{\text{el}}}{\dot{Q}_{\text{WRG}}}\right)$$

$$\eta_{\text{WRG}} < \phi_t$$

Wärmerückgewinnungsklasse

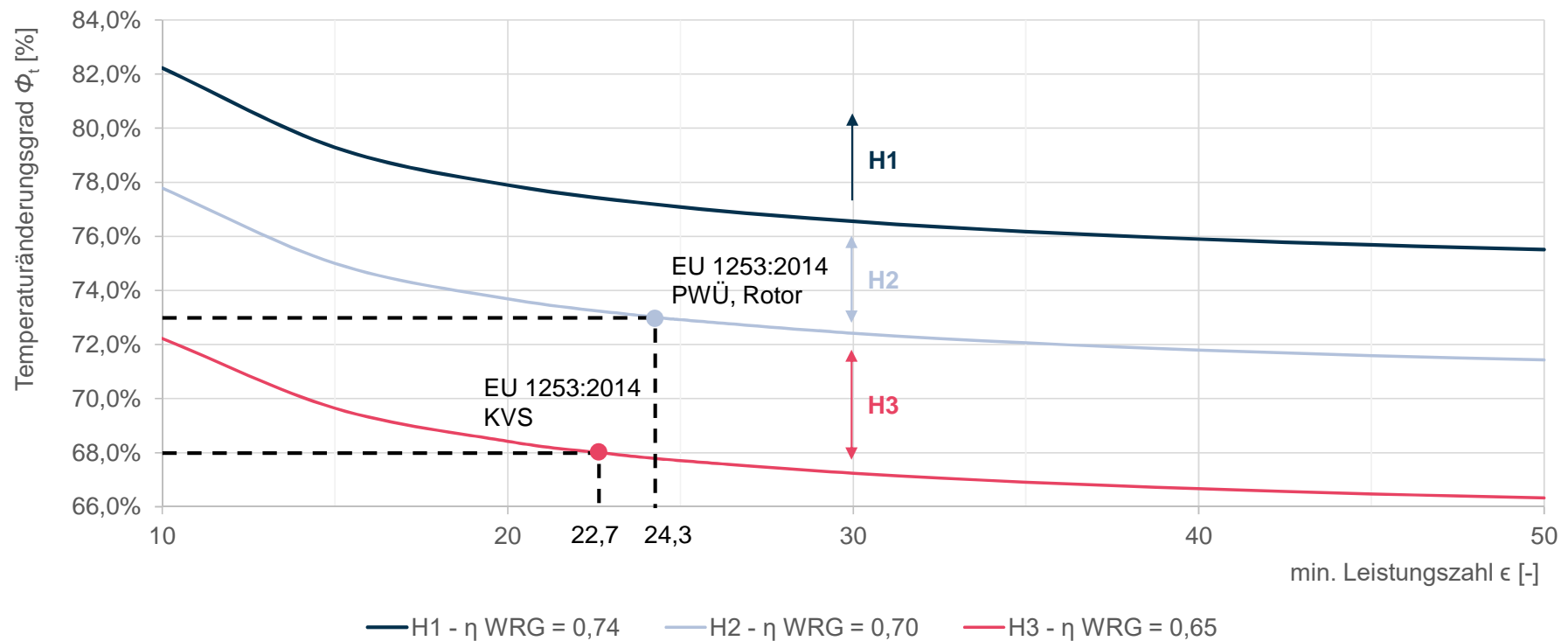
$$q_{m2} / q_{m1} = 1$$

Klassifizierung erfolgt mit dem Wirkungsgrad η_{WRG}

DIN EN 13053 Grenzwerte		Beispiele Auslegungsdaten		
Klasse	$\eta_{WRG \min}$	ϕ_t	Δp	ϵ
H1	$\geq 74 \%$	$\geq 78 \%$	2 x 300 Pa	18,8
H2	$\geq 70 \%$	$\geq 73 \%$	2 x 240 Pa	22,0
H3	$\geq 65 \%$	$\geq 68 \%$	2 x 190 Pa	25,9
H4	$\geq 60 \%$	$\geq 63 \%$	2 x 150 Pa	30,4
H5	$< 60 \%$	-	-	-

Auslegungsbereich - Grenzwerte

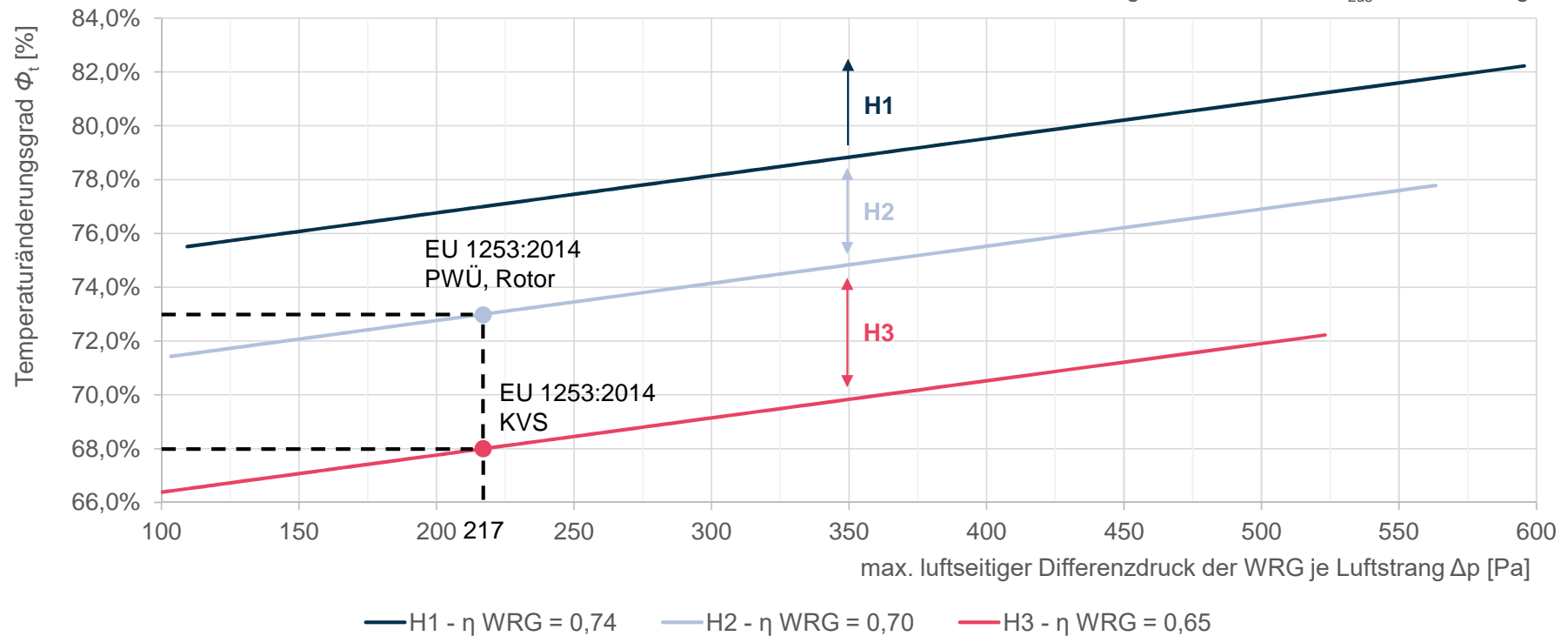
$$q_{m2} / q_{m1} = 1$$



Auslegungsbereich - Grenzwerte

$$q_{m2} / q_{m1} = 1$$

Leistungsziffer 10 bis 50 - P_{zus} vernachlässigt



Kreislaufverbundsystem	System 1	System 2	System 3	System 4
Temperaturänderungsgrad	0,700	0,700	0,730	0,730
Luftmenge ($q_{v2} = q_{v1}$)	20.000 m ³ /h	20.000 m ³ /h	20.000 m ³ /h	20.000 m ³ /h
Technologie (Wärmeübertrager)	Rundrohr	Ovalrohr	Ovalrohr	Ovalrohr
Luftseitiger Widerstand	2 x 200 Pa	2 x 120 Pa	2 x 140 Pa	2 x 140 Pa
Wasserseitiger Widerstand	2 x 100 kPa	2 x 110 kPa	2 x 128 kPa	2 x 128 kPa
zusätzlicher Widerstand	-	-	-	2 x 15 kPa
Wärmeeinspeisung	nein	nein	nein	ja
Kälteeinspeisung	nein	nein	nein	ja
Verdunstungskühlung (Abluft)	nein	nein	nein	ja

Kreislaufverbundsystem	System 1	System 2	System 3	System 4
Temperaturänderungsgrad	0,700	0,700	0,730	0,730
thermische Leistung \dot{Q}_{WRG}	93,9 kW	93,9 kW	97,9 kW	97,9 kW
elektrische Leistung P_{el}	4,28 kW	2,86 kW	3,33 kW	3,41 kW
Leistungszahl ϵ	21,9	32,8	29,4	28,7
Wirkungsgrad η_{WRG}	0,668	0,679	0,705	0,704
Klasse DIN EN 13053:2020	H3	H3	H2	H2

Energiekennzahlen

Die Energiekennzahlen können zu Aussagen über die **Wirtschaftlichkeit** und den **tatsächlichen Nutzen** einer WRG herangezogen werden.

Dazu müssen Energie- und Wärmeströme über ein Jahr bilanziert werden.

Die Energiekennzahlen werden aus den kumulierten Energien ermittelt und sind somit **repräsentative Beurteilungskriterien** für die WRG.

Berechnungsverfahren

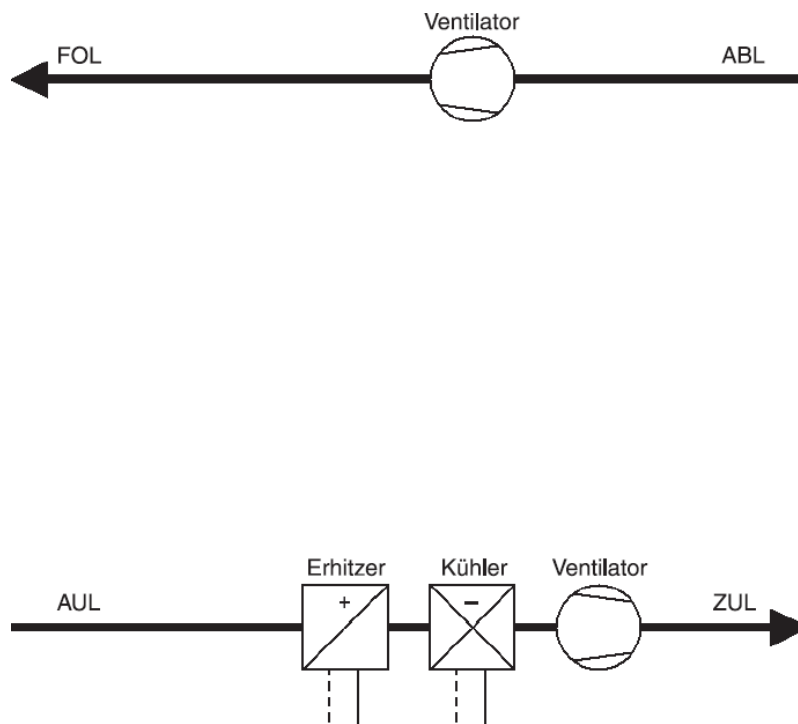
auf Basis von Summenhäufigkeiten von Temperatur und Feuchte der Außenluft:

- Wetterdatensatz des Standortes (DIN 4710 oder VDI 4710)
- Betriebszeiten der Anlage
- Luftmengen (z. B. zur Berücksichtigung von Teillast)
- Abluftzustände (z. B. für Heiz- und Kühlbetrieb)
- Sollwerte der Anlage (z. B. für Heiz- und Kühlbetrieb)

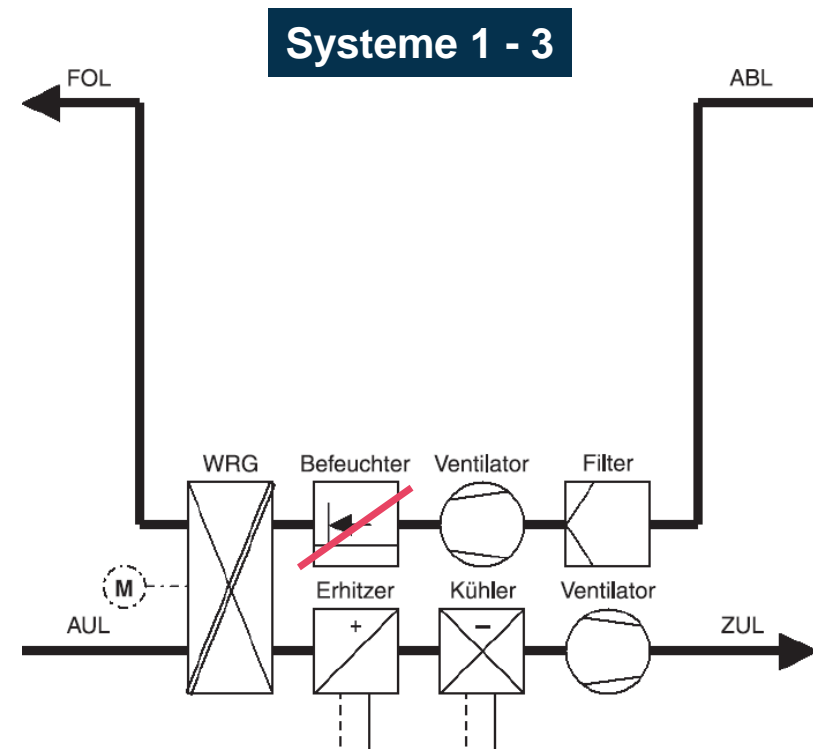
Erfassung aller thermischen und elektrischen Energien des WRG-Systems
innerhalb der **festgelegten Bilanzgrenze**

Bilanzgrenze - vereinfacht

Anlage ohne WRG-System

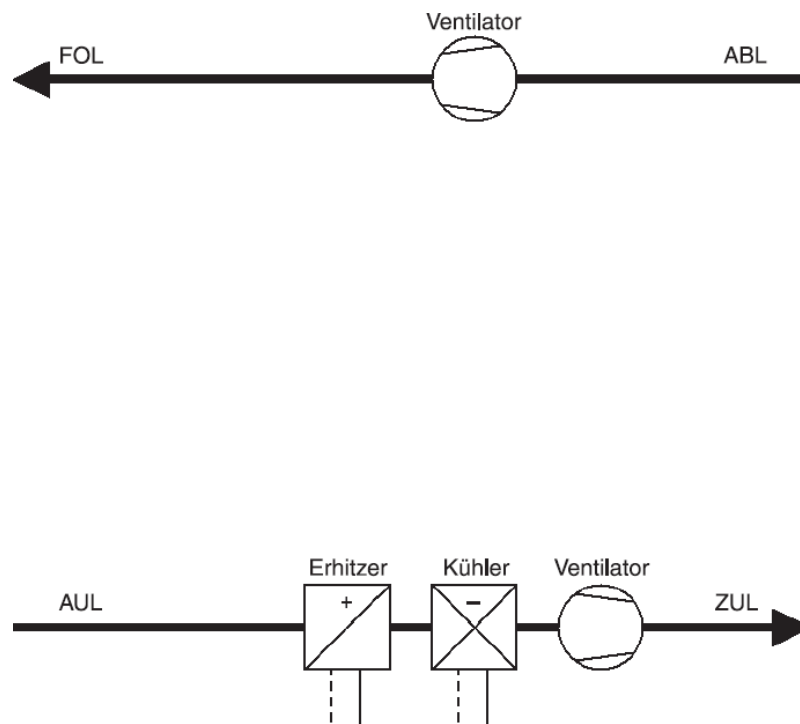


Anlage mit WRG-System

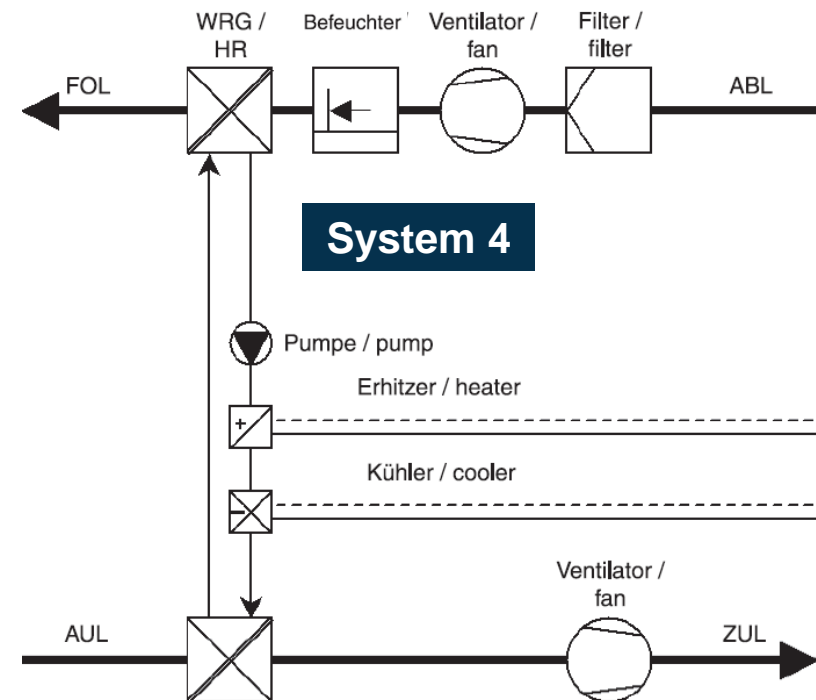


Bilanzgrenze - vereinfacht

Anlage ohne WRG-System



Anlage mit mehrfachfunktionaler WRG



Jahresarbeitszahl ϵ_a

$$\epsilon_a = \frac{\text{thermische Nutzenergie}}{\text{elektrischer Energieaufwand}} = \frac{Q_{\text{WRG}}}{W_{\text{el}}}$$

$$\epsilon_a = \frac{\int_0^{8760} |\dot{Q}_{\text{WRG}}| \cdot dt}{\int_0^{8760} P_{\text{el}} \cdot dt}$$

$$\epsilon_a < \epsilon$$

Jahresdeckungsgrad N_a

Beschreibt den Energieanteil der WRG am Gesamtwärmebedarf der RLT-Anlage

$$N_a = \frac{\text{thermische Nutzenergie}}{\text{thermischer Energiebedarf}} = \frac{Q_{WRG}}{Q_{RLT}}$$

$$N_a = \frac{\int_0^{8760} |\dot{Q}_{WRG}| \cdot dt}{\int_0^{8760} |\dot{Q}_{RLT}| \cdot dt}$$

Jahrestemperaturänderungsgrad Φ_a

$$\Phi_a = \frac{\text{thermische Nutzenergie}}{\text{thermisches Energiepotential}} = \frac{Q_{WRG}}{Q_P}$$

$$\Phi_a = \frac{\int_0^{8760} |\dot{Q}_{WRG}| \cdot dt}{\int_0^{8760} |q_{m2} \cdot c_p \cdot (t_{21} - t_{11})| \cdot dt}$$

$$\Phi_a < \Phi_t$$

Jahreswirkungsgrad η_a

$$\eta_a = \frac{\text{(thermische Nutzenergie – elektrischer Energieaufwand)}}{\text{thermisches Energiepotential}} = \frac{(Q_{\text{WRG}} - W_{\text{el}})}{Q_{\text{P}}}$$

$$\eta_a = \frac{\int_0^{8760} (|\dot{Q}_{\text{WRG}}| - P_{\text{el}}) \cdot dt}{\int_0^{8760} |q_{m2} \cdot c_p \cdot (t_{21} - t_{11})| \cdot dt}$$

$$\eta_a < \eta_{\text{WRG}}$$

Eingangsparameter - Systemvergleich

Standort: Mannheim (Zone 12 DIN 4710)

Betriebszeiten: 365 d/a

12 h/d mit 100 % Luftmenge

12 h/d mit 50 % Luftmenge (Nachtabenkung)

Abluft Istwerte: 20 °C im Heizbetrieb

25 °C im Kühlbetrieb

Zuluft Sollwerte: 21 °C im Heizbetrieb

20 °C im Kühlbetrieb

Vereisungsschutz: 3 °C (Sollwert der Fortluft zur Leistungsbegrenzung)

Auszug Kühlbetrieb - System 4

Temperaturen				Wärmerückgewinnung				Leistungen			Energienengen		
AUL	ABL	ZUL	ZUL WRG	Φt	RV1	Status WRG	zus.	\dot{Q} ZUL gesamt	\dot{Q} ZUL WRG	\dot{Q} ZUL zus.	Q ZUL gesamt	Q ZUL WRG	Q ZUL zus.
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	[%]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
30,5	18,6	20,0	22,1	70,7	100	VK	K	-70,4	-56,6	-13,8	1.313	1.056	257
29,5	18,6	20,0	21,7	70,8	100	VK	K	-63,7	-52,0	-11,7	1.688	1.378	310
28,5	18,6	20,0	21,4	71,1	100	VK	K	-57,0	-47,4	-9,6	1.870	1.555	315
27,5	18,6	20,0	21,1	71,3	100	VK	K	-50,3	-42,8	-7,5	2.359	2.006	353
26,5	18,6	20,0	20,8	71,6	100	VK	K	-43,6	-38,2	-5,4	2.494	2.183	310
25,5	18,6	20,0	20,5	72,0	100	VK	K	-36,9	-33,6	-3,3	2.774	2.523	251
24,5	18,6	20,0	20,2	72,6	100	VK	K	-30,2	-28,9	-1,2	2.694	2.583	111
23,5	18,6	20,0	20,0	70,8	97	LRVK		-23,5	-23,5	0,0	2.467	2.467	0

Q_{RLT}

Thermischer Energiebedarf

Q_{WRG}

Thermische Nutzenergie

Auszug Heizbetrieb - System 4

Temperaturen				Wärmerückgewinnung				Leistungen			Energienmengen		
AUL	ABL	ZUL	ZUL WRG	Φt	RV1	Status WRG	zus.	\dot{Q} ZUL gesamt	\dot{Q} ZUL WRG	\dot{Q} ZUL zus.	Q ZUL gesamt	Q ZUL WRG	Q ZUL zus.
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	[%]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
0,5	20,0	21,0	13,8	68,0	100		E	137,5	88,9	48,6	27.834	18.000	9.834
-0,5	20,0	21,0	13,4	68,0	100		E	144,2	93,5	50,7	17.988	11.667	6.321
-1,5	20,0	21,0	13,1	68,1	100		E	150,9	98,1	52,8	18.304	11.904	6.400
-2,5	20,0	21,0	12,8	68,1	100		E	157,6	102,8	54,9	13.783	8.986	4.797
-3,5	20,0	21,0	12,5	68,1	100		E	164,3	107,4	56,9	10.606	6.930	3.676
-4,5	20,0	21,0	12,2	68,1	100		E	171,0	112,0	59,0	8.423	5.515	2.908
-5,5	20,0	21,0	11,5	66,7	98	VE	E	177,7	114,0	63,7	6.949	4.458	2.491
-6,5	20,0	21,0	10,5	64,2	94	VE	E	184,4	114,0	70,4	5.551	3.432	2.120

Q_{RLT}

Q_{WRG}

Thermischer Energiebedarf

Thermische Nutzenergie

Kreislaufverbundsystem	System 1	System 2	System 3	System 4
Temperaturänderungsgrad	0,700	0,700	0,730	0,730
Elektroenergieaufwand W_{el}	21.090 kWh/a	14.092 kWh/a	16.409 kWh/a	14.043 kWh/a
thermische Nutzenergie Q_{WRG}	356.926 kWh/a	356.926 kWh/a	371.210 kWh/a	373.600 kWh/a
thermischer Energiebedarf Q_{RLT}	498.147 kWh/a	498.147 kWh/a	498.147 kWh/a	498.147 kWh/a
thermisches Energiepotential Q_p	518.134 kWh/a	518.134 kWh/a	518.134 kWh/a	541.954 kWh/a
Jahresarbeitszahl ϵ_a	16,9	25,3	22,6	26,6
Jahresdeckungsgrad N_a	71,7	71,7	74,5	75,0
Jahrestemperaturänderungsgrad ϕ_a	68,9	68,9	71,6	68,9
Jahreswirkungsgrad η_a	64,8	66,2	68,5	66,3

Leistungskennzahlen

- dienen zur **Auslegung** und zum Vergleich der Systeme
- effiziente Systeme sind im direkten Vergleich nicht zwangsläufig erkennbar

Energiekennzahlen

- beschreiben den **tatsächlichen Nutzen** der WRG
- Vorteile **mehrfachfunktionaler Systeme** können abgebildet werden
- Die gewählte **Bilanzgrenze** hat einen entscheidenden Einfluss
- **Grundlage** für Betrachtungen der **Wirtschaftlichkeit** und der **Ökologie**



HOWATHERM 

HERZLICHEN DANK

technikwissen@howatherm.de

ZEIT für Ihre FRAGEN und ANREGUNGEN

