

Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen – Abwärmenutzung oder erneuerbare Energie?

Claus Händel

Technischer Referent

Fachverband Gebäude-Klima e.V.



Berlin, 28./29. Januar 2021

Definitionen „Erneuerbare Energie“

■ Definition in 2018/2001/EU:

- (1) „**Energie aus erneuerbaren Quellen**“ oder „erneuerbare Energie“
Energie aus **erneuerbaren, nichtfossilen Energiequellen**, das heißt Wind, Sonne (Solarthermie und Photovoltaik), geothermische Energie, Umgebungsenergie, Gezeiten-, Wellen- und sonstige Meeresenergie, Wasserkraft, und Energie aus Biomasse, Deponiegas, Klärgas und Biogas;
- (2) „**Umgebungsenergie**“ natürlich vorkommende thermische Energie und in der Umwelt innerhalb eines begrenzten Gebiets angesammelte Energie, **die in der Umgebungsluft, mit Ausnahme von Abluft**, oder in Oberflächengewässern **oder Abwässern gespeichert sein kann**;

■ Was ist bei Abwasser anders als bei Abluft ???

- (9) „**Abwärme und -kälte**“ unvermeidbare Wärme oder Kälte, die als Nebenprodukt in einer Industrieanlage, in einer Stromerzeugungsanlage oder im tertiären Sektor anfällt und die ungenutzt in Luft oder Wasser abgeleitet werden würde, **wo kein Zugang zu einem Fernwärmesystem oder einem Fernkältesystem** besteht, in dem ein Kraft-Wärme- Kopplungsprozess genutzt wird, genutzt werden wird oder in dem Kraft-Wärme-Kopplung nicht möglich ist.

■ Die Erneuerbare Energie ist politisch definiert!



Definitionen „Erneuerbare Energie“

■ Definitionen GEG 2020

- (2) Erneuerbare Energien im Sinne dieses Gesetzes ist oder sind
 - Geothermie, Umweltwärme,
 - die technisch durch im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude stehenden Anlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie oder durch solarthermische Anlagen zur Wärme- oder Kälteerzeugung nutzbar gemachte Energie,
 - die technisch durch gebäudeintegrierte Windkraftanlagen zur Wärme- oder Kälteerzeugung nutzbar gemachte Energie, die aus fester, flüssiger oder gasförmiger Biomasse erzeugte Wärme; die Abgrenzung erfolgt nach dem Aggregatzustand zum Zeitpunkt des Eintritts der Biomasse in den Wärmeerzeuger; oder
 - Kälte aus erneuerbaren Energien
- Kälte aus erneuerbaren Energien“ die dem Erdboden oder dem Wasser entnommene und technisch nutzbar gemachte oder aus Wärme nach Absatz 2 Nummer 1 bis 5 technisch nutzbar gemachte Kälte
- 1. „Abwärme“ die Wärme oder Kälte, die aus technischen Prozessen und aus baulichen Anlagen stammenden Abluft- und Abwasserströmen entnommen wird,



Definitionen „Erneuerbare Energie“

■ Definitionen GEG 2020

■ § 37 Nutzung von Geothermie oder Umweltwärme

- Die Anforderung nach § 10 Absatz 2 Nummer 3 ist erfüllt, wenn durch die Nutzung von Geothermie, Umweltwärme oder **Abwärme aus Abwasser**, die mittels elektrisch oder mit fossilen Brennstoffen angetriebener Wärmepumpen technisch nutzbar gemacht wird, der Wärme- und Kälteenergiebedarf zu mindestens 50 Prozent aus den Anlagen zur Nutzung dieser Energien gedeckt wird.

■ § 42 Nutzung von Abwärme

- (1) Anstelle der anteiligen Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs durch die Nutzung erneuerbarer Energien kann die Anforderung nach § 10 Absatz 2 Nummer 3 auch dadurch erfüllt werden, dass durch die Nutzung von Abwärme nach Maßgabe der Absätze 2 und 3 der Wärme- und Kälteenergiebedarf direkt oder mittels Wärmepumpen zu mindestens 50 Prozent gedeckt wird.
- (2) Sofern Kälte genutzt wird, die durch eine Anlage technisch nutzbar gemacht wird, der Abwärme unmittelbar zugeführt wird, ist § 41 Absatz 3 und 4 entsprechend anzuwenden.
- (3) **Sofern Abwärme durch eine andere Anlage genutzt wird, muss die Nutzung nach dem Stand der Technik erfolgen.**



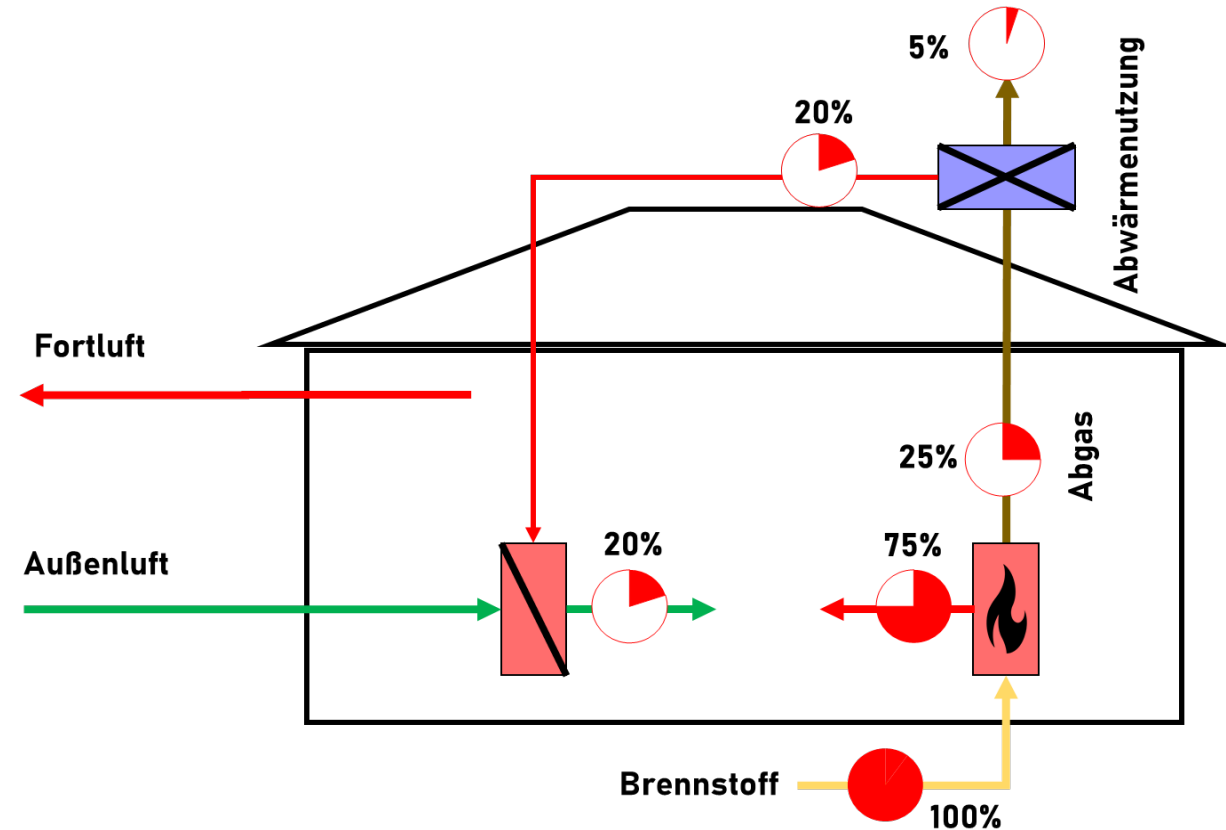
Was ist Abwärmenutzung

■ Wird das Gebäude mit einem fossilen Kessel beheizt

- dann stehen in diesem Beispiel vielleicht nur 75 % für die Heizung zur Verfügung,
- 25 % gehen über den Abgasstrom nach außen.
- Über einen Abgaswärmeübertrager werden bei einer Effizienz der Abwärmenutzung von vielleicht 80 % etwa 20 % der im Kessel eingesetzten Energie zurückgewonnen, und dementsprechend gehen nur 5 % der Energie mit dem Abgas nach außen.

■ Dies ist eine Abwärmenutzung aus einem Verbrennungsprozess für ein Gebäude.

- Die Abwärme kann nur **ein einziges Mal**, genau wie die Energie des Brennstoffs, genutzt werden.

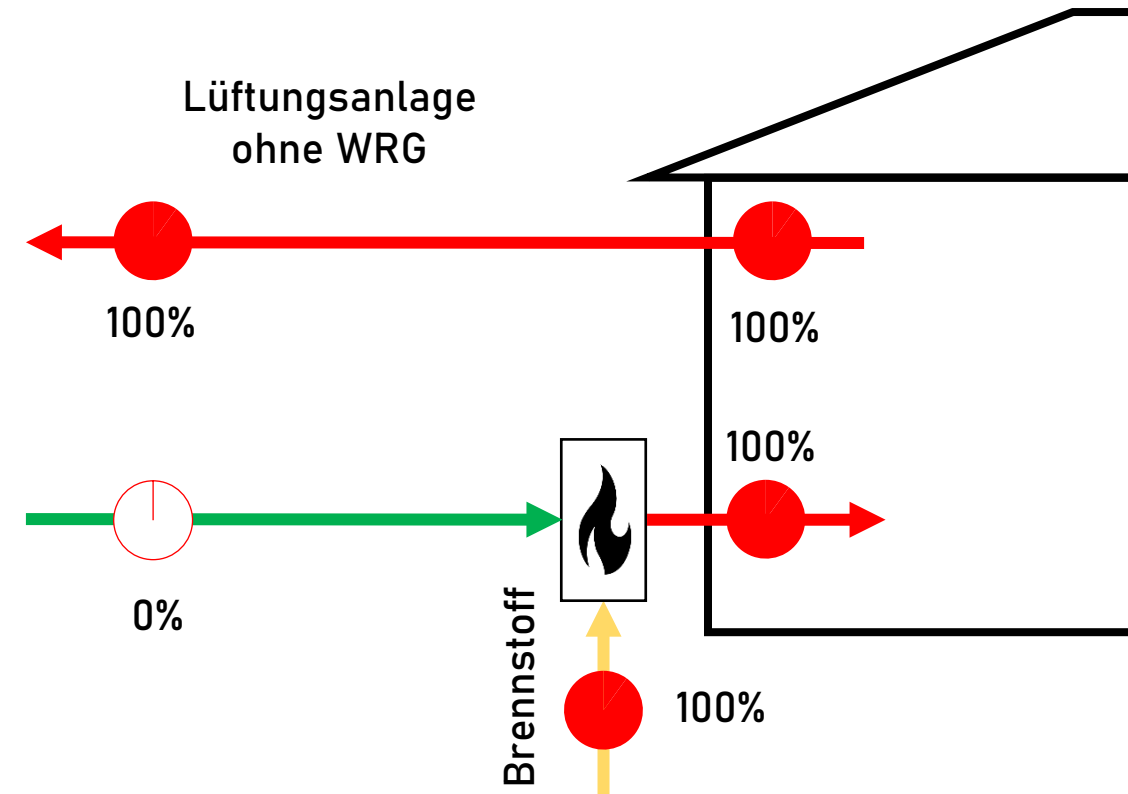


Was ist Wärmerückgewinnung in einem Lüftungssystem

Was ist Wärmerückgewinnung in einem Lüftungssystem

■ Wärmerückgewinnung in einer Lüftungsanlage:

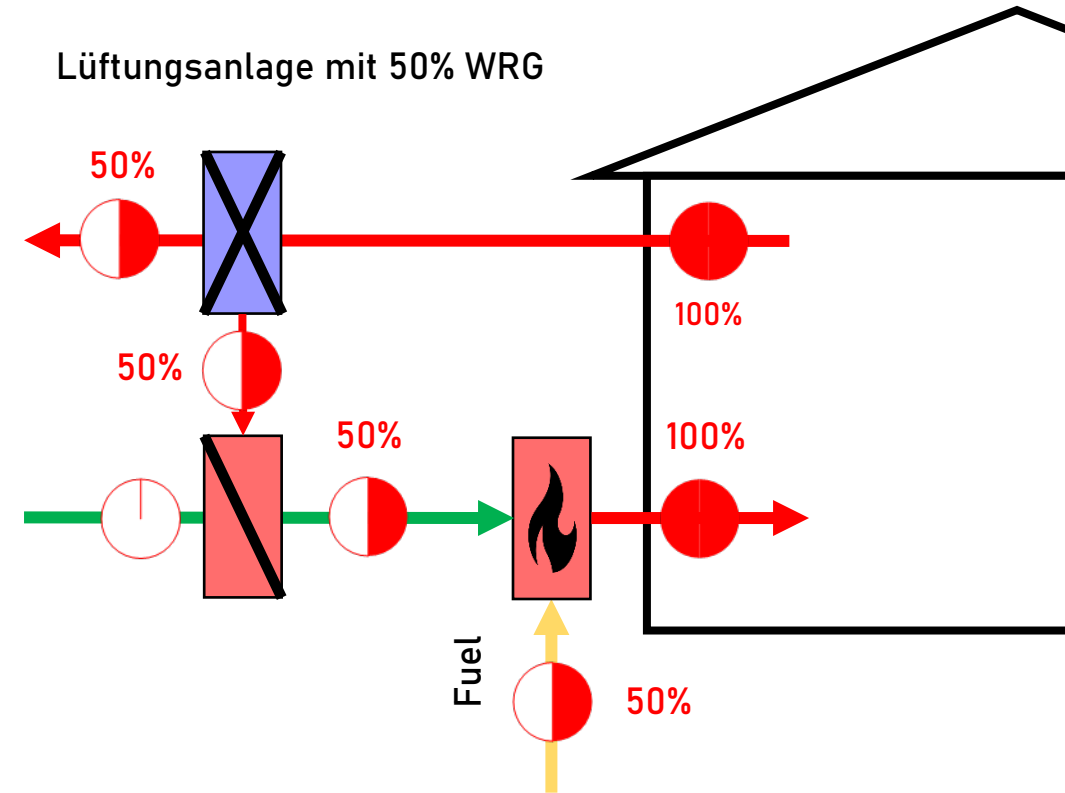
- Betrachtet man nun nur die Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung, so geht die gesamte Wärme der Heizung über die Abluft verloren



Was ist Wärmerückgewinnung in einem Lüftungssystem

■ Wärmerückgewinnung in einer Lüftungsanlage:

- Betrachtet man nun nur die Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung, so geht die gesamte Wärme der Heizung über die Abluft verloren
- Bei einer Wärmerückgewinnung in einer Lüftungsanlage ist die zurückgewonnene Wärme nun wieder im Kreislauf und steht erneut zur Wärmerückgewinnung zur Verfügung.
- Ein Teil der zurückgewonnenen Energie regeneriert sich also immer wieder neu.



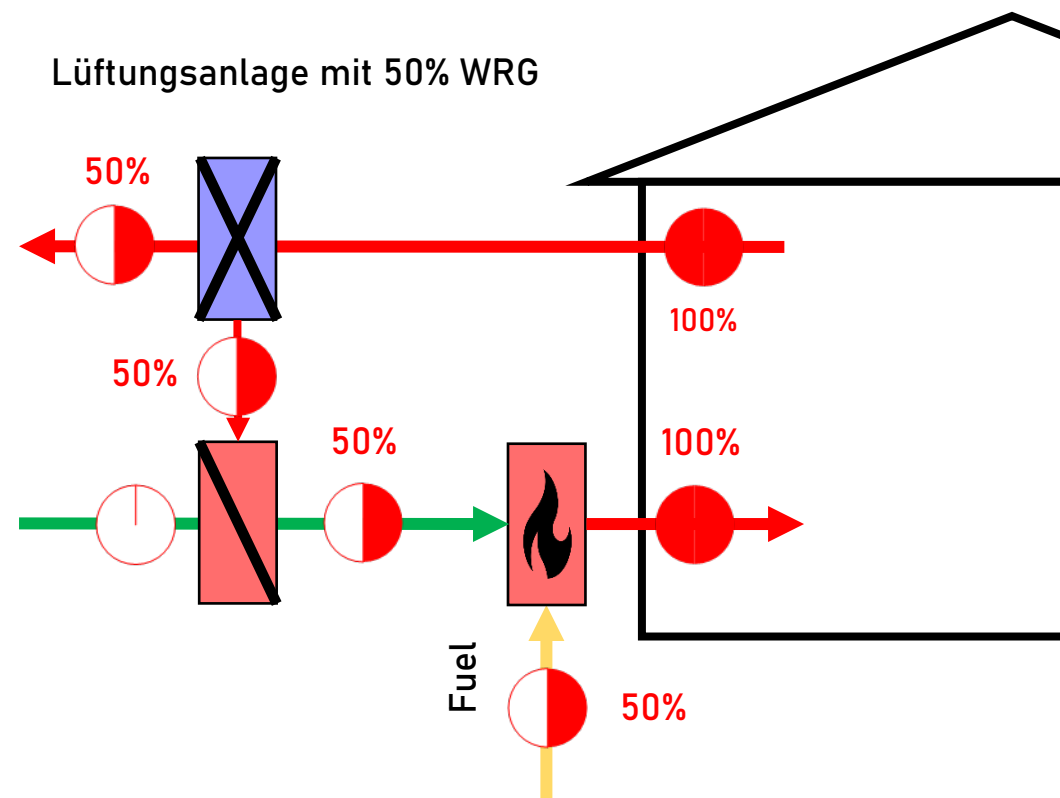
Was ist Wärmerückgewinnung in einem Lüftungssystem

■ Wärmerückgewinnung in einer Lüftungsanlage:

- Betrachtet man nun nur die Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung, so geht die gesamte Wärme der Heizung über die Abluft verloren
- Bei einer Wärmerückgewinnung in einer Lüftungsanlage ist die zurückgewonnene Wärme nun wieder im Kreislauf und steht erneut zur Wärmerückgewinnung zur Verfügung.
- Ein Teil der zurückgewonnenen Energie regeneriert sich also immer wieder neu.

■ Dieser Anteil ist per Definition erneuerbare Energie.

- Hätten wir eine Wärmerückgewinnung mit 100 % Wirkungsgrad, würde die gesamte Energie zurückgewonnen und wieder zurückgewonnen werden (sich selbst erneuern).
- Per Definition erneuerbare Energie.



Berechnung des regenerativen Anteils der Wärmerückgewinnung – Beispiel 50%

- Dieser Prozess kann mathematisch durch eine unendliche Reihe dargestellt werden:

$$Q_{\text{useable}} = Q_{\text{end}} + Q_{\text{end}} \times \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots \right) \quad (3)$$

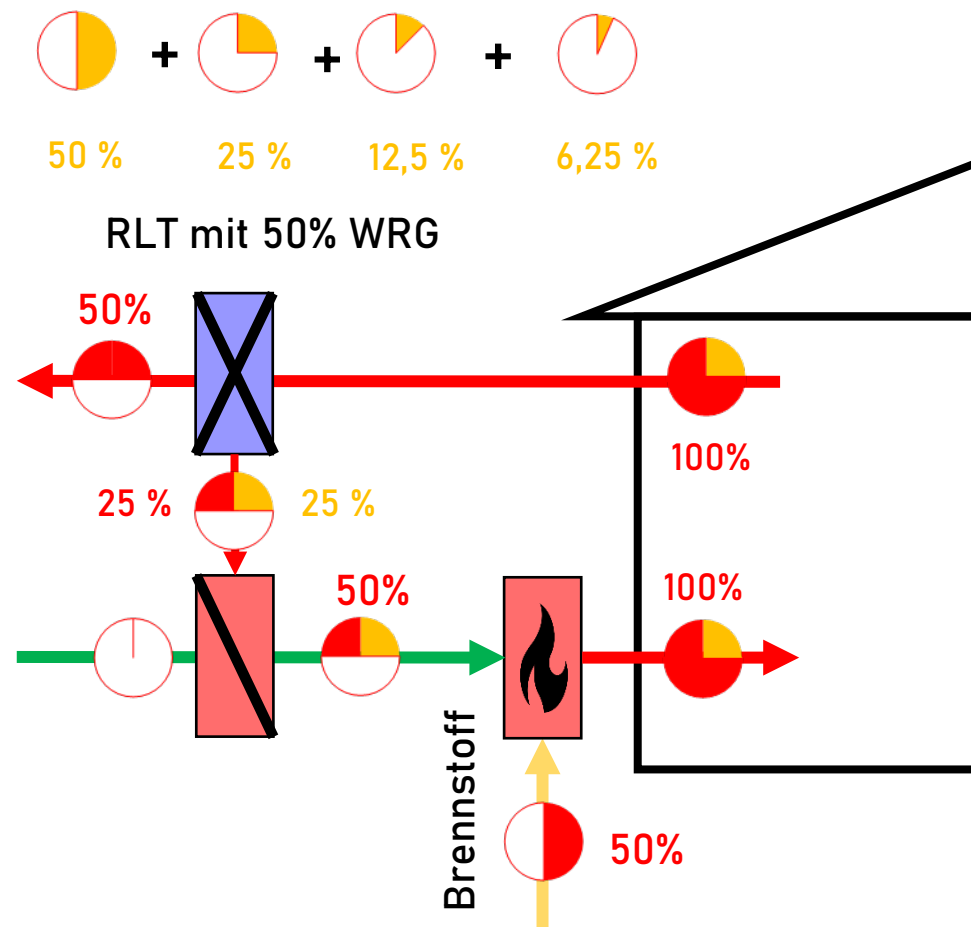
- Konvergente geometrische Reihe:

$$S_n = \sum_{k=1}^n a \times q^{k-1} = a + a \times q + a \times q^2 + \dots + a \times q^{n-1} = a \times \frac{(1-q^n)}{(1-q)} \quad (4)$$

- nutzbare Energie für die Wärmerückgewinnung aus der eingesetzten Endenergie für n Perioden:

$$Q_{\text{usable}} = Q_{\text{end}} \times \frac{(1-\eta_t^n)}{(1-\eta_t)} \quad \text{or} \quad (5)$$

$$COP = \frac{Q_{\text{usable}}}{Q_{\text{end}}} = \frac{(1-\eta_t^n)}{(1-\eta_t)}$$



Berechnung des regenerativen Anteils der Wärmerückgewinnung – Beispiel 50%

- In Analogie zu einer Wärmepumpe und unter Berücksichtigung der Belüftung als kontinuierlichen Prozess haben wir eine unendliche Anzahl der Perioden:

$$COP = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{(1 - \eta_t^n)}{(1 - \eta_t)} \right) = \left(\frac{1}{(1 - \eta_t)} \right) \quad (6)$$

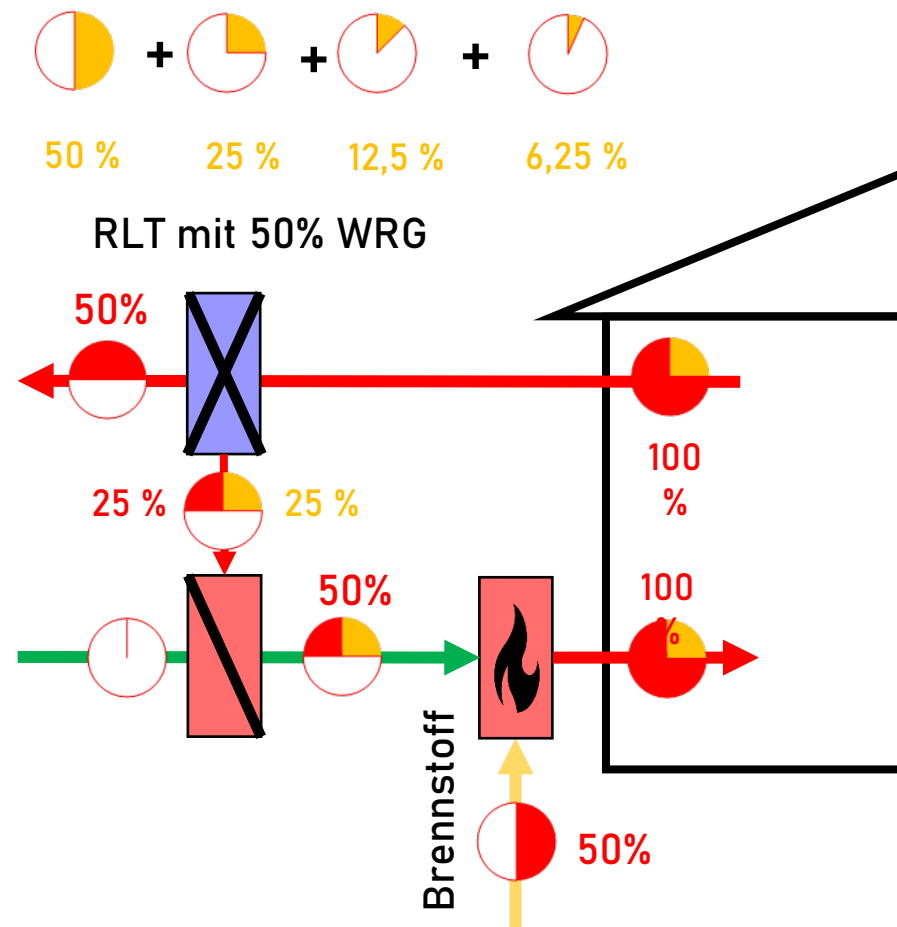
- EU RES definiert den erneuerbaren Anteil in Annex VII:

$$E_{RES} = Q_{usable} * \left(1 - \frac{1}{SPF} \right) \quad (1)$$

- SPF: Seasonal Performance Factor (Heat Pump)

$$Q_{usable} = Q_{end} + Q_{RES} \text{ or } Q_{RES} = Q_{usable} - Q_{end} \quad (8)$$

$$Q_{RES,HR} = Q_{usable,WRG} * \left(1 - \frac{1}{COP} \right) \text{ or } Q_{RES,HR} = Q_{usable,HR} * \eta_t \quad (10)$$



Zusammenfassung Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen

- Was bedeutet Gleichung (10) für die Bewertung der WRG?

- In der WRG Energie in Lüftungsanlagen steckt immer ein Teil erneuerbare Energie:

$$Q_{RES,HR} = Q_{usable,HR} * \eta_t$$

- Und ein Teil Abwärmenutzung aus der Heizenergie.

$$Q_{Waste,HR} = Q_{usable,HR} * (1 - \eta_t)$$

- Alle Berechnungen berücksichtigen nicht, dass es in dem belüfteten Gebäude noch andere erneuerbare Wärmequellen geben kann, wie z. B:

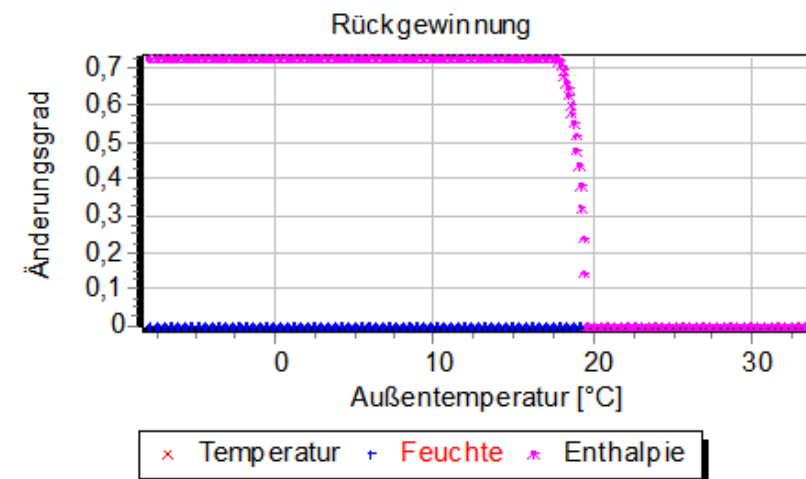
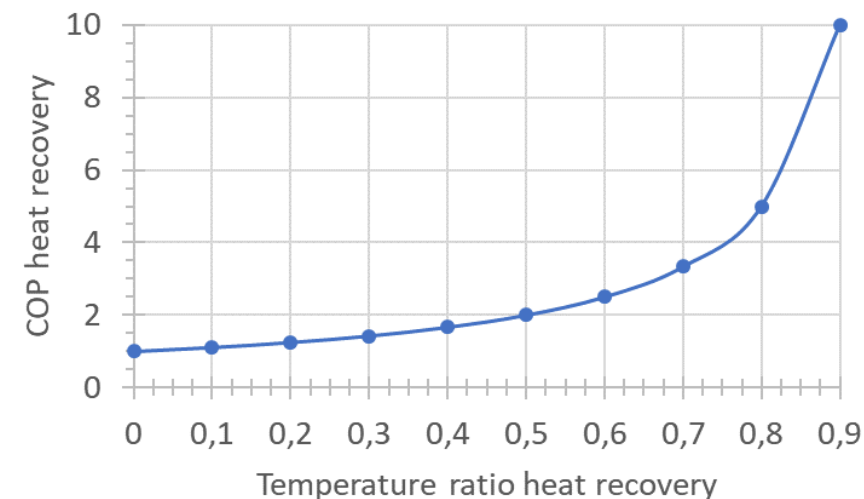
- passive solare Gewinne, Menschen oder

- Regenerative Heizsysteme die den erneuerbaren Anteil der Wärmerückgewinnung erhöhen, indem auch diese Quellen wieder genutzt werden.

- Das gleiche gilt für die Kälte- und Feuchterückgewinnung.

Beispiel

- Die vorher gemachten Angaben gelten zunächst nur für eine sensible Wärmerückgewinnung und die Transportenergie für den Luftstrom ist nicht berücksichtigt (dies wird im folgenden Kapitel behandelt). Dies hilft aber für das prinzipielle Verständnis.
- Bei Verwendung von Gleichung (6) für typische Wärmerückgewinnungssysteme nach der Ökodesign-Verordnung 1253/2014
 - (Kreislaufverbundsysteme $\eta_{t,min}=0,67$ und andere $\eta_{t,min}=0,73$), oder etwas besser
- finden wir einen thermischen COP von 3...5, der im gleichen Bereich wie die elektrische Leistungszahl einer Wärmepumpe liegt
 - Wärmerückgewinnungssysteme müssen über ein thermisches Regelsystem verfügen. Abhängig von den Zulufttemperaturen und den klimatischen Bedingungen ist das durchschnittliche Temperaturverhältnis im Betrieb niedriger als das Auslegungstemperaturverhältnis.
 - Für die Berechnung des erneuerbarer Anteils ist das durchschnittliche Temperaturverhältnis für die Wärmerückgewinnung im Betrieb oder eine beliebige Stunden- oder BIN methode zu verwenden.



Primärenergiebasierter Ansatz für den Anteil an erneuerbarer Energie

- **EU RES spezifiziert den erneuerbaren Anteil einer Wärmepumpe in Annex VII.**

$$E_{RES} = Q_{usable} * \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad (1)$$

- Q_{usable} : Die durch Wärmepumpen erzeugte gesamte Nutzwärme. Nur Wärmepumpen mit $SPF > 1,15 * 1/\eta$ werden berücksichtigt;

- **Minimum Coefficient of Performance:**

$$SPF * \eta = \frac{SPF}{f_{pri}} = COP_{pri} = SPF_{pri} > 1.15 \quad (2)$$

- $\eta_{is} = 1/f_{pr}$ das Verhältnis zwischen der gesamten Bruttoelektrizitätserzeugung und dem Primärenergieverbrauch für die Elektrizitätserzeugung.

- Mit (1) erhalten wir:

Einen vollständig technologieoffenen Ansatz für die Berechnung erneuerbaren Energien inkl. Wärmerückgewinnung in Lüftungsgeräten.

- **Wenn 15 % mehr Nutzenergie von einer Maschine erzeugt wird, als Primärenergie in diese Maschine gesteckt wird, dann ist dies ein Beitrag zu erneuerbaren Energien (2).**

- Nach der Richtlinie [3] beträgt der Systemwirkungsgrad für elektrische Wärmepumpen $\eta_{is} = 0,45$ und für thermische Wärmepumpen $\eta_{is} = 1,0$. Der Mindest-SPF für elektrische Systeme beträgt 2,55 und für thermische Systeme 1,15



Primärenergiebasierter Ansatz für den Anteil an erneuerbarer Energie

- Den Ansatz der EU RES kann man verallgemeinern:

$$COP_{pri} = \frac{\sum Q_{usable}}{\sum (Q_f * f_{pri,f}) + \sum (W_f * f_{w,f})} \quad (15)$$

- Q_{usable} : Erzeuger Nutzwärme
- Q_f : Erzeuger Endenergiebedarf
- W_f : Erzeuger Hilfsenergiebedarf
- f : Primärenergiefaktoren für die Teilenergien

- und zum erneuerbaren Anteil r definieren:

$$r = \frac{E_{RES}}{Q_{usable}} = \left(1 - \frac{1}{COP_{pri}}\right) \quad (16)$$

- Dann erhalten wir einen einfachen Parameter zur Bewertung des erneuerbaren Anteils.

- Wenn der Faktor **positiv** ist ($COP_{pri} > 1$), dann gibt es einen **erneuerbaren Anteil** und
- Wenn der Faktor **negativ** ist ($COP_{pri} < 1$), dann gibt es **keinen erneuerbaren Anteil**.

- **Nichts Neues!**
Nur das verallgemeinert was ohnehin schon für Wärmepumpen gilt.

Beispielrechnung für den erneuerbaren Anteil der Lüftungswärmerückgewinnung:

- Lüftungsgerät nach EU 1253/2014 Tier 2:
- $V=10.800 \text{ m}^3/\text{h} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$
- Ventilator Strombedarf Filter, WRG, Gehäuse = $800 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s}) * 3 \text{ m}^3/\text{s} = 2.400 \text{ W}$
SUP fan 1.400 W und EXT Fan 1000 W

- Temperaturverhältnis WRG 0,73
- Primärenergiebedarf Wärme $f_{\text{pri,heat}}=1,0$ ($\eta=1$)
- Primärenergiebedarf Strom $f_{\text{pri,elec}}=2,2$ ($\eta=0,45$)
- SUP Temperatur und Raumtemp. Mind. 20°C

1	2	3	4	5	6	3a
Climate zone		Frankfurt	Helsinki	Barcelona	Athens	Frankfurt
Operation time [h]		8760	8760	8760	8760	8760
Temperature ratio η		0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
$P_{\text{SFP,ges}} [\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})]$		800	800	800	800	1600
average temperture ratio η_{av}	Sim	0.716	0.721	0.705	0.704	0.698
COP	(6)	3,52	3,58	3,39	3,39	3,31
$Q_{\text{usable,HR}} [\text{kWh}]$	Sim	203,045	331,519	119,818	129,781	206,366
$Q_{\text{ren,heat}} [\text{kWh}]$	(9)	145,380	239,025	84,472	91,366	144,043
$Q_{\text{not ren,heat}} [\text{kWh}]$	(12)	57,665	92,494	35,346	38,415	62,323
Elec. Fans [kWh]	Sim	21,024	21,024	21,024	21,024	45,550
$\text{COP}_{\text{pri.WRG.Wärme.reg}}$	(13)	1.954	2.389	1.468	1.533	1.333
r Renewable Share	(16)	49%	58%	32%	35%	25%



Vereinfachte Beispielrechnung für den erneuerbaren Anteil verschiedener Technologien

		Q_{outg}	Q_f	ζ	$f_{\text{pri,f}}$	W	COP / EER	f_w	COP _{Pri}	r
	Heat generation									
1	Air to water heat pump	10000			1	2800	3,57	2,2	1,62	38%
2	Water to water heat pump	10000			1	2500	4,00	2,2	1,82	45%
3	Solar water heater	3000			1	300		2,2	4,55	78%
4	Gas boiler (fossil)	10000	11000	0,91	1	200		2,2	0,87	-14%
5	Thermal heat pump	10000	8000	1,25	1	30		2,2	1,24	19%
6	Gas boiler (biogas)	10000	11000	0,91	0,5	30		2,2	1,80	44%
7	Pellet	10000	12000	0,83	0,2	200		2,2	3,52	72%
	Cold generation									
8	Chiller (electrical)	10000			1	3000	3,33	2,2	1,52	34%
9	Absorptions chiller (fossil)	10000	15000	0,67	1	500		2,2	0,62	-61%
10	Absorptions chiller (biogas)	10000	15000	0,67	0,5	500		2,2	1,16	14%
11	Free geothermal cooling	5000			0	200	25,00	2,2	11,36	91%
12	Free cooling tower	5000			0	500	10,00	2,2	4,55	78%

Zusammenfassung

■ Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen ist anteilig erneuerbare Energie

- Gilt auch für andere, ähnliche Technologien wie
 - Abluftwärmepumpen
 - Abwasser-Wärmepumpen etc.
 - Kälte-/Enthalpierückgewinnung
- In typischen Systemen ist der Anteil der erneuerbaren Energien vergleichbar mit Wärmepumpen (basierend auf einer Jahresenergieleistung)

■ Es bleibt immer ein Anteil Abwärmenutzung.

■ Die Frage ob und wie diese Anteile statistisch gezählt werden können ist keine Begründung für die Nichtbeachtung (z.B. Kälte)

■ Ein auf Primärenergie basierender Ansatz für (S)COP (oder (S)EER)) oder $\eta_{s,h} / \eta_{s,c}$ würde eine vollständig technologieoffene Bestimmung des Anteils erneuerbarer Energien ermöglichen

■ Nutzbarenergie, die nicht durch Primärenergie erzeugt wird, ist erneuerbare Energie!

■ Ein politisches Steuerungselement ist gegeben durch:

- Die Definition von regionalen oder lokalen Primärenergiefaktoren
- Beliebige Schwellenwerte für den Anteil erneuerbarer Energien
- Energieberechnung nach EPBD-Normen oder beliebigen nationalen Berechnungsvorschriften

