

Die Bewertung von Wärmerückgewinnung und Regenerativen Energien in RLT-Anlagen für Nichtwohngebäude nach EEWärmeG

Das Erneuerbare Energien Wärmegesetz (EEWärmeG) regelt seit 1. Januar 2009 die Verwendung von Regenerativen Energien (Heizen und Kühlen) in neuen Gebäuden. Die Nutzung der Abwärme aus Gebäuden in Wärmerückgewinnungssystemen (WRG) in Raumlufthechnischen (RLT) Anlagen wurde gemäß § 7 Absatz 1.a) als Ersatzmaßnahme zur Erfüllung der geforderten Quoten definiert.

Die Anforderungen des EEWärmeG mit Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen sind erfüllt, wenn mindestens 50 % des Wärmeenergiebedarfs des Gebäudes daraus gedeckt werden. Damit wird bei den meisten Gebäudetypen die Wärmerückgewinnung als alleinige Maßnahme nicht ausreichen. Das Gesetz lässt hier aber alle Arten von Kombinationen zwischen Erneuerbaren Energien und Ersatzmaßnahmen zu.

Randbedingungen für die WRG in RLT-Anlagen

Gemäß Anlage IV können WRG-Systeme in RLT-Anlagen als Ersatzmaßnahme zugelassen werden, wenn

- Der Wärmerückgewinnungsgrad der Anlage mindestens 70 % beträgt und
- die Leistungszahl, die aus dem Verhältnis von der aus der WRG stammenden Wärme zum Stromeinsatz für den Betrieb der RLT-Anlage ermittelt wird, mindestens 10 beträgt.
- bei Einsatz von Luft-Luft-Wärmepumpen muss die Jahresarbeitszahl mindestens 3,5 betragen. (Nachweis: Wärmemengen- und Stromzähler)

Berücksichtigung der Kühlung im EEWärmeG

Auch die zur Kühlung des Gebäudes notwendige Energie muss anteilig mit Regenerativen Energien gedeckt werden, § 2 Abs. 2 Nr. 4.

Damit muss auch dieser Energiebedarf bei der Berechnung des Energiebedarfs zugrunde gelegt und der Nutzungspflicht des EEWärmeG entsprechend anteilig mit Erneuerbaren Energien gedeckt werden.

Der Kältebedarf des Gebäudes kann also mit Anlagen gedeckt werden, die selbst Erneuerbare Energi-

en nutzen oder dieser Anteil kann zusätzlich durch die Wärmeerzeugung aus regenerativen Quellen kompensiert werden.

Sofern der Kältebedarf durch Einsatz von elektrischen Kompressionskältemaschinen gedeckt wird, ergibt sich der Wärmeenergiebedarf nach § 2 Abs. 2 Nr. 4 durch Addition der Erzeugernutzwärmeabgaben für Raumwärme und Warmwassererzeugung sowie der elektrischen Energie, die zur Erzeugung, Speicherung und Verteilung der Kälte (inklusive Verluste) benötigt wird. Wird der Kälteenergiebedarf durch wärmebetriebene Kälteerzeuger gedeckt, dann wird die hierfür benötigte Erzeugernutzwärmeabgabe zu den Wärmebedarfen für Raumwärme und Warmwassererzeugung addiert.

In jedem Fall muss der Wärmeenergiebedarf (Kühlung, Warmwasser, Raumwärme) jedoch zu den vorgeschriebenen Anteilen mit regenerativer Energie im Sinne des EEWärmeG gedeckt werden:

- Solarthermie 15 % (f_{Solar})
- Geothermie und Umweltwärme 50 % (f_{Geor})
- Feste und flüssige Biomasse 50 % ($f_{\text{Bio,fe,fl}}$)
- Gasförmige Biomasse 30 % ($f_{\text{Bio,gas}}$)
- Wärmerückgewinnung oder KWK 50 % (f_{KWK})

Ein beliebige Kombination ist nach der folgenden Berechnungsmethodik möglich:

$$\frac{f_{\text{Solar}}}{15\%} + \frac{f_{\text{Geo}}}{50\%} + \frac{f_{\text{Bio,fe,fl}}}{50\%} + \frac{f_{\text{Bio,gas}}}{30\%} + \frac{f_{\text{WRG}}}{50\%} + \frac{f_{\text{KWK}}}{50\%} \geq 100\%$$

Nachweise zur Erfüllung des EEWärmeG

Zur Ausstellung von Nachweisen sind Sachkundige berechtigt. Sachkundig ist jede Person, die nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) Energieausweise ausstellen kann. Dazu können je nach Aus- und Weiterbildung Schornsteinfeger, Architekten, TGA- und Bauingenieure, Maschinenbauer und Elektrotechniker sowie Anlagenhersteller und Brennstofflieferanten gehören. Die Nachweise sind drei Monate nach Inbetriebnahme den nach Landesrecht zuständigen Behörden vorzulegen. Wie dieser Nachweis für RLT-Anlagen geführt werden kann, wird im Folgenden definiert.

Nachweisführung für die Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen für Nichtwohngebäude

Berechnung der Leistungszahl der WRG

Im Nichtwohngebäude berechnet sich die Leistungszahl als die **Leistung der Wärmerückgewinnung im Referenzbetriebszustand gemäß DIN EN 308** bei einem ausgeglichenen Massenstromverhältnis von 1:1 bezogen auf den **Anteil der aufgenommenen elektrischen Leistung der Ventilatoren und Nebenantriebe wie Pumpen, Verdichter bei Wärmepumpen und Rotorantriebe**, der zum Betrieb der Wärmerückgewinnungsanlage(n) notwendig ist. Der Wärmerückgewinnungsgrad muss bei ausgeglichenen Massenströmen (Zuluftmenge gleich Abluftmenge) mindestens 70 % (trocken) betragen.

Beispiel Wärmeübertrager:

$$P_{SFP} = \frac{P_{Vent}}{q_V} = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta_{tot}}$$

Zuluftventilator: SFP _{Zu}	2.000 W/m ³ /s
Systemwirkungsgrad:	65%
Gesamtdruck: p _{tZu}	1.300 Pa
Druckverlust WRG:	350 Pa
Anteil WRG und ggf. zugehöriger Druckverluste	27%
	538 W/m ³ /s
Abluftventilator: SFP _{Ab}	1.250 W/m ³ /s
Systemwirkungsgrad:	65%
Gesamtdruck: p _{tZu}	813 Pa
Druckverlust WRG:	320 Pa
Anteil WRG und ggf. zugehöriger Druckverluste:	39%
	492 W/m ³ /s
P _{Vent,anteil}	1.030 W/m ³ /s
P _{Neben}	0 (keine Nebenantriebe)
P _{el,WP}	0 (kein Kompressor)

Beispiel Plattenwärmeübertrager nach EN 308:

$$\eta_{WRG} = 70\%$$

$$\dot{Q}_{WRG} = \dot{V} \times \rho_{Luft} \times c_{pLuft} \times \Delta t \times \eta_{WRG}$$

$$\dot{Q}_{WRG} = 1 \times 1,2 \times 1.004 \times 20 \times 0,70 = 16.867 \text{ W/m}^3/\text{s}$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{WRG}}{P_{Vent,anteil} + P_{Neben} + P_{el,WP}} = \frac{16.867}{1.030 + 0 + 0} = 16 \geq 10$$

Beispiel Wärmeübertrager plus Wärmepumpe:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{WRG+WP}}{P_{Ventanteil} + P_{Neben} + P_{el,WP}} = \frac{189 \text{ kW}}{3,2 \text{ kW} + 0 + 15,5 \text{ kW}} = 10,1 \geq 10$$

Jetzt muss als nächster Schritt der Anteil der Wärmerückgewinnung am Gesamtwärmebedarf festgestellt werden.

Berechnung WRG-Anteil am Heizwärmebedarf

Die Berechnung des Anteils am Heizwärmebedarf ist nicht losgelöst vom Gebäude möglich. Der „Wärmeenergiebedarf“ nach EEWärmeG bezieht sich anteilig auf die Erzeugernutzwärmeabgabe für das Heizsystem nach DIN V 18599 Teil 1 als Summe der Bedarfswerte für das Heizsystem, die Trinkwassererwärmung und die Kältebereitstellung (Absorptionskältesysteme) und die Wärmemenge für die Dampfbefeuchtung.

$$Q_{H,outg} = Q_{h,outg} + Q_{h^*,outg} + Q_{w,outg} + Q_{m^*,outg}$$

Der Anteil der genutzten Abwärme in einer Wärmerückgewinnung berechnet sich als Verhältnis der Erzeugernutzwärmeabgabe der Gebäude mit WRG zu denen ohne WRG.

$$f_{WRG} = \frac{Q_{H,outg,ohneWRG} - Q_{H,outg,mitWRG}}{Q_{H,outg,ohneWRG}}$$

Q_{H,outg}: Erzeugernutzwärmeabgabe DIN V 18599

Index: h Heizung, h* RLT Heizung, w Trinkwasser, m* Befeuchtung

Die Berechnung ist zweimal komplett nach DIN V 18599, einmal mit und einmal ohne Wärmerückgewinnung, auszuführen. Dabei ist wie folgt vorzugehen: Im Falle ohne WRG ist die gleiche Anlage mit den gleichen Parametern ohne WRG anzusetzen. Die Stromaufnahme für die Ventilatoren geht an dieser Stelle nicht ein. Dies ist eine Nebenanforderung (siehe oben).

Beispiel Bürogebäude:

A _{NGF} :	3654 m ²	100 % Gruppenbüro
Fensterflächenanteil:		26 %
NT-Kessel Erdgas E		
Auslegungstemperatur:		70/55°C

Lüftungsanlage:

Zuluft	P _{SFP} =	2.000 W/m ³ /s
Abluft	P _{SFP} =	1.250 W/m ³ /s
Außenluftvolumenstrom:		4 m ³ /hm ²
Zulufttemperatur:		18°C

WRG	Q _{h,outg} [kWh/m ²]	f _{WRG}
0%	108	0%
45%	76	30%
60%	67	38%
70%	62	43%

Dieses Beispiel zeigt, dass in einem Bürogebäude der durch die WRG zurückgewonnene Wärmeanteil sehr hoch sein kann und in Gebäudetypen mit höherem Luftvolumenstrom dominiert. Bei einem Gebäude mit 100 % Büronutzung und Mindestluftwechsel kann bis zu 43 % der Heizwärme aus der WRG stammen. Zur Erfüllung der Quote von 50 % müssen nur 7 % aus anderen Maßnahmen stammen.

Nachweisführung für die Klimakälte in RLT-Anlagen für Nichtwohngebäude

Regenerativanteil bei der Kälteerzeugung

Bei der Kälteerzeugung werden üblicherweise Außenluft, Oberflächenwasser, Grundwasser oder das Erdreich als Wärmesenke verwendet. Alle diese Wärmesenken sind per Definition Regenerative Energiequellen. Der Regenerativanteil der Kälteerzeugung berechnet sich für die verschiedenen Erzeugungstypen wie folgt:

Berechnung für elektrische Kälteerzeugung

Bei der elektrischen Kälteerzeugung berechnet sich der regenerative Anteil mit der Methodik der DIN V 18599 zu:

$$\frac{Q_{reg,C}}{Q_{C,outg}} = \left(1 - \frac{f_{pri,Strom}}{SEER_{eff}}\right)$$

Der Faktor $SEER_{eff}$ beinhaltet alle elektrischen Aufwendungen für die Erzeugung (Kälteerzeugung und Rückkühlung) und die Verteilung (Pumpen bei Kaltwassersystemen). Er berechnet sich zu:

$$SEER_{eff} = \frac{Q_{C,outg}}{Q_{C,f,el.} + Q_{C,f,R,el.} + Q_{Z,aux,d,el.}}$$

- $Q_{C,outg}$: Erzeugernutzkälteabgabe DIN V 18599
- $Q_{C,f,el.}$: Endenergie für das Kühlsystem (Strom)
- $Q_{C,f,R,el.}$: Hilfsenergie für die Rückkühlung
- $Q_{Z,aux,de,el.}$: Hilfsenergie Kalt- und Kühlwasserpumpen

Gemäß EnEV 2009 und DIN V 18599-100 wird der Primärenergiefaktor für den nichtregenerativen Anteil der Stromerzeugung $f_{pri} = 2,6$ angesetzt.

Bei klimatisierten Gebäuden mit elektrischen Kälteanlagen wird der regenerative Anteil der Kälteerzeugung negativ, wenn $SEER_{eff} < 2,6$ ist. Dieser Anteil ist bei der Berechnung des gesamten regenerativen Anteils des Gebäudes durch andere Maßnahmen zu kompensieren.

Wenn $SEER_{eff} > 2,6$, wird der regenerative Anteil der Kälteerzeugung positiv. Dieser Anteil ist dann bei der Berechnung des gesamten regenerativen Anteils des Gebäudes gutzuschreiben.

Berechnung für thermische Kälteerzeugung

Für die thermische Kälteerzeugung wird der Anteil der Wärme, der für die Regeneration notwendig ist, zur Wärme für den Heizbetrieb addiert. Die Bewertung erfolgt dann analog zur Heizungstechnik. Der Stromanteil für die Hilfsenergien (Pumpen, Antriebe usw.) wird, ebenfalls entsprechend der Heizungs-systeme, nicht betrachtet. Sorptionsklimasysteme und solare Klimasysteme können ebenfalls auf diese Art bewertet werden.

Regenerative Kälteerzeugung

In Klimaanlage und Klimakälteanlagen gibt es eine große Anzahl weiterer regenerativer Verfahren zur Nutzkälteerzeugung:

- Freie Kühlung über Kühlturm
- Nutzung geothermischer Energie als Wärmesenke für Luft und Kühlwasser
- Grund- und Oberflächenwasserkühlung
- Direkte und indirekte Verdunstungskühlung

Alle diese Verfahren sind gemäß Definition Regenerative Energien. Hinzu kommt der Anteil der „Kälterückgewinnung“, der über die WRG aus der Abluft zurückgewonnen werden kann. Dieser ist als Ersatzmaßnahme ebenfalls anteilig anrechenbar. Bei der Berechnung der regenerativen Anteile kann wie folgt vorgegangen werden:

Freie Kühlung über Kühlturm

Der Anteil der Kälteerzeugung über freie Kühlung f_{fk} ist vereinfacht in Tabelle 1 angegeben. Dieser Anteil ist gleichzusetzen mit dem regenerativen Anteil der Kühlung. Der Aufwand für die Hilfsenergien (Pumpen, Antriebe usw.) wird an dieser Stelle nicht bewertet. Ebenfalls nicht bewertet wird an dieser Stelle der Wasserbedarf für den Betrieb der Kühltürme. Die anteilige Bewertung erfolgt analog der Wärme.

Geothermische Energie für Kühlung

Sofern die Kälteversorgung ausschließlich über geothermische („Erdkälte-“) Systeme bereitgestellt wird, ist dieser Anteil zu 100 % als regenerativ anzusetzen. Der Aufwand für die Hilfsenergien (Pumpen, Antriebe usw.) wird an dieser Stelle ebenfalls nicht bewertet. Sofern die Kälteversorgung anteilig über geothermische Systeme bereitgestellt wird, ist dieser Anteil anhand von Jahresdauerlinien plausibel nachzuweisen und entsprechend anzusetzen. Die weitere Bewertung erfolgt analog der Freien Kühlung.

Grund- und Oberflächenwasserkühlung

Die Berechnung erfolgt analog der geothermischen Kühlung.

Wärmerückgewinnung

Der Anteil der „Kälterückgewinnung“ mit der WRG kann nach DIN V 18599 Teil 3 durch Vergleich des Kälteenergiebedarfs mit und ohne WRG analog dem Wärmeenergiebedarf berechnet werden. In den meisten Fällen wird dieser Anteil bezogen auf die Arbeit gering sein. Für die Leistung ist dieser Anteil relevant.

Direkte und indirekte Verdunstungskühlung:

Der regenerative Anteil der Verdunstungskühlung durch Versprühen von Wasser in RLT-Geräten ist wie folgt zu berechnen:

Gemäß DIN V 18599 Teil 3 Anhang C kann der Energiebedarf von RLT-Anlagen durch geeignete Simulationswerkzeuge berechnet werden. Der regenerative Anteil der Verdunstungskühlung ist dabei durch Vergleich des Kälteenergiebedarfs mit und ohne Verdunstungsbefeuchtung bei sonst gleichen Zulufttemperaturen zu berechnen.

Direkte Verdunstungskühlung

Der Sollwert der Zuluftfeuchtigkeit bei direkter Luftbefeuchtung ist dabei auf maximal 11 g/kg_{trLuft} zu begrenzen. Dies bedeutet, dass die direkte Verdunstungskühlung nur bis zu einer maximalen Außenluftfeuchtigkeit von 11 g/kg_{trLuft} wirksam ist. Es ist zu beachten, dass die resultierende Raumluftfeuchtigkeit bei Nutzung der direkten Verdunstungskühlung höher ist.

Indirekte Verdunstungskühlung

Bei indirekter Verdunstungskühlung hängt der Nutzungsgrad insbesondere vom Wärmerückgewinnungsgrad der WRG und von der Bauart der indirekten Verdunstungskühlung ab.

Tabellen und Hilfsmittel:

Tabelle 1: Nutzungsgrade freie Kühlung über Kühlturm für Trockenrückkühler und Verdunstungsrückkühler

		Nutzungsgrade freie Kühlung f_{FK}					
		Trockenrückkühler			Verdunstungsrückkühler		
Systemtemperaturen (Übergabe Raum)		6/12°C	10/16°C	14/20°C	6/12°C	10/16°C	14/20°C
Nutzung DIN V 18599	Nr.						
Büro, Besprechung, Arztpraxen ¹	1, 2, 3, 4, 5, 38, 41	3 %	6 %	14 %	6 %	13 %	27 %
Hotel ¹	11	1 %	4 %	11 %	4 %	12 %	31 %
Bettzimmer, Labor ¹	10, 37, 39, 40	0 %	1 %	5 %	1 %	8 %	25 %
Schule ¹	8	0 %	3 %	10 %	3 %	11 %	29 %
Einzelhandel, Kaufhaus, Bibliotheken Museen	6, 7, 28, 29, 30	0 %	1 %	8 %	1 %	9 %	30 %
Küche	14, 15	0 %	1 %	6 %	1 %	6 %	26 %
Kantine, Restaurant ¹	12, 13	0 %	2 %	8 %	2 %	7 %	25 %
Sporthalle	31, 35	0 %	0 %	5 %	1 %	7 %	25 %
Ausstellung, Messen, Hörsäle	9, 26	3 %	8 %	19 %	7 %	17 %	37 %
Theater ¹	23, 24	0 %	3 %	14 %	2 %	12 %	34 %
Bühne ¹	25	0 %	1 %	6 %	2 %	8 %	26 %
Rechenzentren, Server hochbelastet	21	14 %	28 %	41 %	14 %	30 %	48 %
Rechenzentren, Server mittel	21	11 %	20 %	32 %	16 %	27 %	44 %

¹leichte Gebäudebauweisen

Beispiele:

Freie Kühlung über Kühlturm

Hochbelastetes Rechenzentrum oder Serverraum mit Trockenrückkühler. Raumkühlsysteme mit 14° C Vorlauftemperatur.

f_{FK} : 41 % (nach Tabelle 1)

Regenerativanteil Kühlung 41 %

Direkte Luftbefeuchtung

Vergleichsanlage Nr. 3 nach DIN V 18599 Teil - Anhang A (Standardrandbedingungen 18° C Zulufttemperatur, 4.380 h pro Jahr Betriebszeit, WRG 60 %):

Kühlenergiebedarf ohne Befeuchtung: 1.913 Wh/m³/h
Kühlenergiebedarf mit Befeuchtung: 1.575 Wh/m³/h

Regenerativanteil Kühlung 18 %

Indirekte Luftbefeuchtung

Vergleichsanlage Nr. 4 nach DIN V 18599 Teil - Anhang A (Standardrandbedingungen 18°C Zulufttemperatur, 4.380 h pro Jahr Betriebszeit, WRG 75 %):

Kühlenergiebedarf ohne Befeuchtung: 1.913 Wh/m³/h
Kühlenergiebedarf mit Befeuchtung: 801 Wh/m³/h

Regenerativanteil Kühlung 58 %

Weitere Hinweise

Internetseite des BMU zum EEWärmeG mit Fragen und Antworten:

<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/40512/>