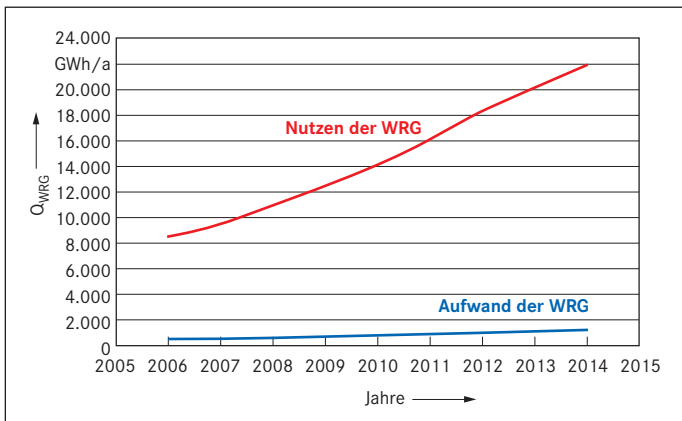


Optimierung von Wärmerückgewinnungssystemen im Kontext volks- und betriebswirtschaftlicher Rahmenbedingungen (Teil 1)

Christoph Kaup

Die Wärmerückgewinnung zählt zu den wirtschaftlichsten Maßnahmen der Energieeffizienzsysteme. Daher erschien es geboten, die Wärmerückgewinnung verpflichtend festzuschreiben. Diese Festlegung ist nun mit der EU-Verordnung 1253/2014 erfolgt. Im ersten Teil dieses Artikels werden die relevanten Bedingungen theoretisch betrachtet, während im zweiten und letzten Teil (im nächsten Heft) dann Beispielberechnungen folgen.



1 Nutzen und Aufwand der Wärmerückgewinnung als Energiemengen in Nichtwohngebäuden

Effizienz der Wärmerückgewinnung

Die Güte eines Wärmerückgewinnungssystems wird maßgeblich durch den Temperaturänderungsgrad, auch als Rückwärmzahl (Φ) bezeichnet, bestimmt. Neben dem Temperaturänderungsgrad wird die Effizienz der Wärmerückgewinnung (WRG) auch durch die Druckverluste auf den Medienseiten beeinflusst. Deshalb spielen die medienseitigen Widerstände der Wärmerückgewinnung eine große Rolle.



Der Autor

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup, Honorarprofessor am Umwelt-Campus Birkenfeld, Hochschule Trier, für Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung
Geschäftsführender Gesellschafter von HOWATHERM Klimatechnik GmbH
Mitglied des Vorstands des Fachverbands Gebäude-Klima e. V.
Mitglied in verschiedenen Normungsgremien wie EN 16798, EN 13779, EN 308, EN 13053 und EN 1886 sowie in verschiedenen Richtlinien Ausschüssen wie VDI 6022 und VDI 3803. Vorsitzender der VDI 3803 Blatt 1

Gesetzliche Anforderungen zur Wärmerückgewinnung aus EU 1253/2014

Am 7. Juli 2014 verabschiedete die Europäische Kommission die Verordnung EU Nr. 1253/2014, die die Durchführung der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG /1/ regelt. Diese Richtlinie bestimmt die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsgeräten. Danach müssen seit dem 1. Januar 2016 die spezifischen Ökodesign-Anforderungen der Verordnung in Anhang III Nummer 1 und ab dem 1. Januar 2018 die in Anhang III Nummer 2 erfüllt werden.

Entwicklung der Effizienz der Wärmerückgewinnung

In Deutschland werden Wärmerückgewinnungssysteme (nicht erst seit Einführung der Ökodesignverordnung) seit Jahren zur Verringerung des benötigten thermischen Primärenergiebedarfs in RLT-Geräten und -Anlagen in Nichtwohngebäuden (NWG) eingesetzt.

Der mittlere Temperaturübertragungsgrad stieg laut Studie des Umwelt-Campus Birkenfeld /2/ von 60 % in 2006 auf 69,1 % in 2013. Im Jahr 2014 stieg der Übertragungsgrad erneut auf $\Phi = 70,2$ %. Auch die Verwendung von WRG-Systemen in Anlagen für Nichtwohngebäude hat sich bis 2014 deutlich erhöht. Allerdings kann seit 2013 eine Sättigung der Verwendung von Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung festgestellt werden. Mittlerweile werden 73,9 % (2013: 78,6 %) dieser möglichen RLT-Geräte (80,8 % sämtlicher Geräte) tatsächlich mit WRG-Systemen ausgestattet.

Neben dem Nutzen der Wärmerückgewinnung muss der elektrische Aufwand zum Betrieb der WRG betrachtet werden. Dieser Aufwand wird im Wesentlichen durch den Druckabfall der WRG-Systeme hervorgerufen, aus dem sich ein höherer Ventilatorleistungsbedarf ergibt. Insgesamt wurde in Deutschland in Nichtwohngebäuden im Jahr 2014 ein Zuluftvolumenstrom von rund 449 Mio. m^3/h installiert. Berücksichtigt man nun den spezifischen Wärmebedarf zur Zulufterwärmung von 8,4 kWh/(m^3/h)/a bei einer durchschnittlichen Laufzeit der Anlagen von 2.350 h/a, so ergeben sich unter Berücksichtigung einer Sanierungsquote (Austausch von Altgeräten) von 6,4 % die in Bild 1 dargestellten Energiemengen.

Mittlerweile liegt die zurückgewonnene Wärmemenge in Deutschland bei 22,0 TWh/a (2014 siehe Bild 1). Der dafür notwendige elektrische Aufwand liegt demgegenüber lediglich bei 1,2 TWh/a. Legt man für die Erzeugung der elektrischen Leistung einen Primärenergiefaktor von 2,6 und für die Wärmeerzeugung (Heizöl oder Gas) einen Primärenergiefaktor von 1,1 zugrunde, ergibt sich eine zurückgewonnene Primärenergiemenge von 21,0 TWh/a netto.

In 2014 wurde eine CO₂-Reduktion von 6.918.980 t/a erreicht, die sich seit dem Jahr 2008 verdoppelt hat. Berücksichtigt man für die zukünftige Entwicklung bis 2020 als Effizienzkriterium der WRG die Mittelwerte der letzten drei Jahre 2012 bis 2014, so kann eine zurückgewonnene Wärmemenge von 32,8 TWh/a (brutto) oder 31,6 TWh/a (netto unter Berücksichtigung des elektrischen Aufwands) abgeschätzt werden. Die Verringerung des CO₂-Ausstoßes würde unter diesen Voraussetzungen im Jahr 2020 bei rund 10.381.160 t/a liegen.

Die Wärmerückgewinnung hat sich demnach in Deutschland positiv entwickelt und sehr erfolgreich etabliert. In den nächsten Jahren wird sich diese Entwicklung fortsetzen, da alte und weniger effiziente Anlagen durch neue und effizientere Anlagen ersetzt werden. Die bereitgestellten Wärmemengen der Wärmerückgewinnung allein aus NWG lagen im Jahr 2014 mit 22 TWh/a in etwa auf dem Niveau, das Wärmepumpen (8,5 TWh/a¹⁾, die Solarthermie (6,8 TWh/a²⁾ und Geothermie (9,5 TWh/a³⁾ zusammen mit 24,8 TWh/a bereitstellen.

Beurteilung der Entwicklung unter volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen

Die Wärmerückgewinnung hat sich sicherlich in Deutschland sehr positiv entwickelt. Sie zählt zu den wirtschaftlichsten Maßnahmen der Energieeffizienzsysteme. Daher erschien es in der Tat geboten, die Wärmerückgewinnung verpflichtend festzuschreiben. Diese Festlegung ist nun mit der EU-Verordnung EU 1253/2014 erfolgt. Diese EU-Verordnung erhält in jedem Mitgliedsstaat der europäischen Gemeinschaft Rechtskraft und bedarf zu ihrer Umsetzung keines weiteren nationalen Rechtsaktes.

Grundsätzlich ist die Einführung der Verordnung zu begrüßen. Dies zeigt auch die Entwicklung der Effizienzkriterien, die sich aus den begleitenden Studien ergeben hat. Wobei auch festgestellt werden muss, dass die Verordnung erst mit Gültigkeit der zweiten Stufe ab 2018 eine signifikante Verbesserung (min. 73%) erwirken wird, da bereits seit 2011 ein mittlerer Temperaturübertragungsgrad von 68% statistisch erreicht wurde.

Nichtsdestotrotz stellt sich immer häufiger die Frage, ob die generellen Mindestanforderungen auch in allen Einzelfällen sinnvoll sind und zu positiven Ergebnissen führen, denn die Grund-

- ¹⁾ Quelle BWP Branchenstudie 2013
(Wert interpoliert aus den Werten 2010 und 2015)
²⁾ Quelle ZSW AGEE-Stat 2013
³⁾ Quelle ZSW AGEE-Stat 2013

Vermeiden Sie bis zu 2.500 € Bußgeld!

Beugen Sie Schadensersatzansprüchen vor und hängen Sie das Buch mit dem aktuellen Rechtsstand in Ihrem Betrieb aus.

Mit praktischer Lochung für den schnellen Aushang!

Sonderkonditionen:

Ab 5 Expl. = 16,06 €/Stück
Ab 10 Expl. = 15,21 €/Stück
Ab 25 Expl. = 14,37 €/Stück
Ab 50 Expl. = 13,52 €/Stück
Ab 100 Expl. = 12,68 €/Stück
Weitere Stückzahlen auf Anfrage

Hrsg. Redaktion
Arbeit und Arbeitsrecht
Aushangpflichtige Gesetze
6., akt. und erw. Auflage
168 S., Broschur
Bestell-Nr. 3-349-01160-9
16,90 €

Aktualisierte
Auflage 2016

Neu



idee der Verordnung basiert ja auf dem politischen Willen Energie einzusparen. Und sie darf nicht dazu führen, dass es in den jeweiligen Einzelfällen zur Verschwendung von Energie kommt. Aus diesem Grund soll eine Verordnung nicht nur aus volkswirtschaftlicher Sicht, sondern auch aus betriebswirtschaftlichen Erwägungen eine optimale Wirtschaftlichkeit gewährleisten. Denn die Summe aus betriebswirtschaftlichen Optima führt zwangsläufig zu einem volkswirtschaftlichen Optimum.

Das betriebswirtschaftliche Optimum der Wärmerückgewinnung auf Basis der Jahresenergiebetrachtung

Um Wärmerückgewinnungssysteme im Einzelfall wirtschaftlich bewerten zu können, müssen die Erträge, die durch die WRG erzielt werden, den Aufwänden gegenübergestellt werden. Dazu werden insbesondere die Hilfsenergien in Form von elektrischer Energie und weitere Kosten (auch Kapitalkosten) für den Betrieb der Systeme im Verhältnis zum erhaltenen Nutzen in Form von thermischen Energien bewertet. Dabei kann neben den gesetzlichen Forderungen auch mit Hilfe einer Jahressimulation die Effizienz der Wärmerückgewinnung im individuellen Projekt aussagekräftig betriebswirtschaftlich dargestellt und optimiert werden.

Auf Basis von Jahresenergieberechnungen können auch weitere Bewertungsgrundlagen der WRG gebildet werden. Letztlich muss eine Wirtschaftlichkeitsberechnung auf Jahrestemperaturverlaufswerten die entscheidenden Kennwerte liefern, die zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der WRG in jedem Einzelfall herangezogen werden müssen. Hier bietet es sich an, z. B. auf Basis der in DIN 4710 /3/ vorliegenden meteorologischen Temperaturverteilung für den betreffenden Aufstellungsort der WRG die Jahresenergieberechnungen durchzuführen. In der DIN 4710 sind die Stundenverteilungen für mehrere deutsche Städte für 24 Stunden dargestellt. Diese Tabellen sind auch für den Tagesbetrieb (6:00 bis 18:00 Uhr) hinterlegt.

In Abhängigkeit von der Außentemperatur in °C können die Häufigkeitswerte des Auftretens der Luftzustände je Stunde entnommen werden. Nun müssen in einem Jahresgang-Berechnungsverfahren für jeden Außenluftzustand die Zustände der WRG und der Sollwerte berechnet werden.

Nach der Auslegung einer beliebigen Wärmerückgewinnung kann unter den gegebenen projektspezifischen Rahmenbedingungen ein diskretes betriebswirtschaftliches Optimum für die Effizienz gefunden werden. Dabei wird die ausgelegte Wärmerückgewinnung mit ihrer Rückwärmzahl (Φ) in eine korrespondierende dimensionslose Wärmeübertragerkennzahl NTU umgewandelt. Die Kennzahl NTU ist somit bei konstanter k-Zahl und konstantem Massenstrom der Luft (\dot{W}) proportional zur Fläche der WRG und repräsentiert somit die Fläche als dimensionslose Kennzahl. Sie errechnet sich im Gegenstrom bei $\mu = 1$ aus:


$$NTU = \Phi / (1 - \Phi)$$

Unter der Voraussetzung, dass sich Aufwände und Erträge der Wärmerückgewinnung entweder proportional zur Fläche (NTU) oder zur Rückwärmzahl (Φ) verhalten, kann durch diskrete Berechnung das Optimum der WRG gefunden werden. Dabei wird aus den einzelnen NTU_i des zu untersuchenden Bereichs der korrespondierende Temperaturübertragungsgrad (Φ_i) bei $\mu = 1$ bestimmt:

$$\Phi = NTU / (NTU + 1)$$

Zu den einzelnen Werten werden dann sowohl der jeweilige Aufwand als auch der Nutzen bestimmt. Dabei muss zwischen NTU- und Φ -abhängigen Kosten und Erträgen unterschieden werden:

- NTU-abhängig
 - Kosten der Wärmerückgewinnung
 - Kapitalkosten
 - Wartungs- und Unterhaltungskosten
 - Druckabfall der Wärmerückgewinnung
- Φ -abhängig
 - Wärmeertrag (Nutzen)
 - Wärme
 - Kälte
 - mehrfachfunktionale Nutzung der WRG (z. B. Freie Kälte)
 - Minderinvestition der WRG
 - Verringerung der Wärmeerzeugung und -verteilung
 - Verringerung der Kälteerzeugung und -verteilung.

Jeder Rückwärmzahl (Φ) wird eindeutig der Aufwand als auch der Nutzen zugeordnet. Der Ertrag für jede Rückwärmzahl ergibt sich nun aus der Differenz zwischen dem Nutzen und dem entsprechenden Aufwand. Der höchste Ertrag bestimmt dann das Optimum der Wärmerückgewinnung. Damit steht fest, welcher Temperaturübertragungsgrad der optimale Temperaturübertragungsgrad unter den gegebenen Bedingungen ist. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen würde somit eine WRG mit geringerer, aber auch mit höherer Rückwärmzahl einen geringeren Ertrag erwirtschaften /4/. 

Literatur

- /1/ Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte. Veröffentlicht am 31. 10. 2009
- /2/ Kaup, C.: Studie zur Entwicklung des Energiebedarfs in RLT-Anlagen. In: UCB 2015
- /3/ DIN 4710: Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen in Deutschland: 2003-01
- /4/ Kaup, C.: Wirtschaftliche Bewertung und Optimierung von Wärmerückgewinnungssystemen. Springer-VDI Verlag. In: HLH 06/2012