



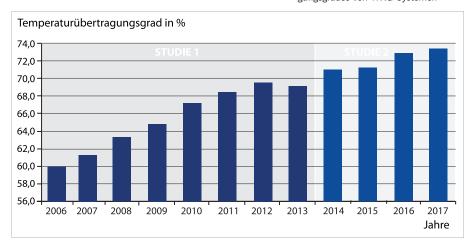
Entwicklung der Wärmerückgewinnung in Deutschland



Entwicklung der Wärmerückgewinnung in Deutschland

Bild 1Entwicklung des Temperaturübertragungsgrades von WRG-Systemen ^{2),3)}

Wärmerückgewinnungssysteme werden seit Jahren zur Verringerung des benötigten thermischen Primärenergiebedarfs in RLT-Geräten und -Anlagen in Nicht-Wohngebäuden (NWG) eingesetzt. Diese Effizienzmaßnahme gehört spätestens seit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 ¹⁾ zum Stand der Raumlufttechnik in NWG der Bundesrepublik Deutschland.



Den Anstieg der Entwicklung des mittleren Temperaturübertragungsgrades (Φ) der Wärmerückgewinnung innerhalb der Jahre 2006 bis 2013 für Deutschland verdeutlicht der linke Teil der Grafik (Bild 1).

Der mittlere Temperaturübertragungsgrad stieg von 60% in 2006 auf 69,5% in 2012. Man erkennt im Jahre 2013 erstmals eine Stagnation des Wertes, der bei $\Phi = 69,1\%$ lag. In den darauffolgenden Jahren 2014 bis 2017 hat sich die WRG jedoch wieder positiv entwickelt.

Autor



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

Der Temperaturübertragungsgrad ist kontinuierlich von 70,9 % in 2014 auf 73,3 % in 2017 gestiegen. Zu dieser anhaltenden Erhöhung der Übertragungsgrade hat sicher die Ökodesignverordnung EU 1253/2014 4) beigetragen, die seit dem 01.01.2016 verpflichtende Mindestübertragungsgrade von aktuell 68 % bei Kreislaufverbundsystemen und 73 % bei allen übrigen WRG-Systemen vorschreibt. In Bild 2 zeichnen sich sowohl bei 63 % (Kreislaufverbundsysteme), als auch bei 67 % (übrige WRG-Systeme) Grenzen ab, die ab 2016 von der Ökodesignverordnung gefordert wurden. Die Darstellung der Grenzwerte ist seit 2016 zu beobachten und war vor Einführung der Ökodesignverordnung noch nicht erkennbar. Es existieren jedoch auch heute immer noch Werte unter den Anforderungen der EU 1253/2014, da WRG-Systeme ohne Ventilatoren (zum Beispiel zentrale WRG) und Anlagen mit Prozessluftcharakter nicht unter die Verordnung fallen.

Allerdings liegt die Standardabweichung der Temperaturübertragungsgrade bei 5,5 Prozentpunkten. Dies zeigt, dass die Übertragungsgrade im Einzelfall mit einer durchschnittlichen Bandbreite von +/- 5,5 Prozentpunkten um den Mittelwert streuen.

Somit kann heute davon ausgegangen werden, dass WRG-Systeme eine Effizienz von 67,8 % bis 78,8 % aufweisen.

Wenn man diese Übertragungsgrade in eine dimensionslose Wärmeübertragerkennzahl NTU (Number of Transfer Units) umrechnet, ergeben sich Werte bei einem ausgeglichenen Wärmekapazitätenstromverhältnis im Gegenstrom

$$NTU_1 = 0,678 / (1 - 0,678) = 2,106$$

und:

$$NTU_2 = 0.788 / (1 - 0.788) = 3.717$$

Es wird offensichtlich, dass der apparative Aufwand zwischen den beiden

¹⁾ Energieeinsparverordnung, 2009–10
2) Kaup, C.: Studie zur Entwicklung des

²⁾ Kaup, C.: Studie zur Entwicklung des Energiebedarfs zentraler Raumlufttechnischer Anlagen in Nicht-Wohngebäuden in Deutschland, Umwelt-Campus Birkenfeld, 2014

³⁾ Kaup, C.: Ergänzende Studie zur Entwicklung des Energiebedarfs zentraler Raumlufttechnischer Anlagen in Nicht-Wohngebäuden in Deutschland, Umwelt-Campus Birkenfeld, 2018 mit 1 090 Auslegungen 2017, 1 141 in 2016, 1 088 in 2015 und 816 Auslegungen in 2014 ⁴⁾ Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommission

[&]quot;Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommissior vom 7. Juli 2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen. Veröffentlicht am 25.11.2014

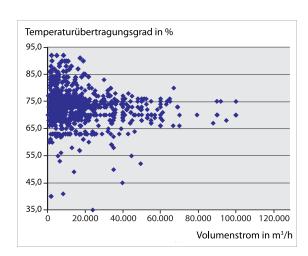


Bild 2
Temperaturübertragungsgrade von WRG-Systemen im Jahr 2016

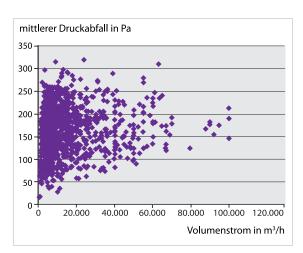


Bild 4 Entwicklung der mittleren Differenzdrücke Δp von WRG-Systemen im Jahr 2016 $^{7)}$

Grenzwerten der Standardabweichung sich um den Faktor 1,765 unterscheidet.

Betrachtung der Differenzdrücke

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.

Die Entwicklung des mittleren Differenzdrucks Δp von WRG-Systemen stellt Bild 3 dar. Die mittleren Differenzdrücke haben sich in den Jahren 2006 bis 2011 etwa proportional zur Entwicklung des Temperaturübertra-

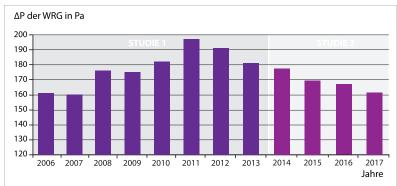


Bild 3
Entwicklung der mittleren Differenzdrücke Δp von WRG-Systemen ^{5), 6)}

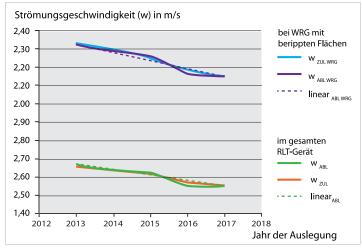


Bild 5
Entwicklung der Strömungsgeschwindigkeiten im RLT-Gerät und in der WRG (bezogen auf die berippte Lamellenfläche)

gungsgrades erhöht. Insbesondere in den Jahren 2012 und 2013 haben sich dann die mittleren Differenzdrücke trotz hoher Temperaturübertragungsgrade signifikant verringert.

In den vergangenen vier Jahren hat sich der Differenzdruck der WRG-Systeme sukzessive von 177 Pa in 2014 auf 161 Pa in 2017 verringert, obwohl die Übertragungsgrade und damit der apparative Aufwand zur Wärmerückgewinnung gestiegen sind. Aus **Bild 4** erkennt man allerdings auch, dass der Differenzdruck erheblich um die Mittelwerte streut. Die Standardabweichung liegt bei 56,5 Pa.

Wenn man die Gegenstrombeziehungen der Wärmeübertragung anwendet, hat sich die dimensionslose Wärmeübertragerkennzahl NTU von 2,43 im Jahr

2014 auf 2,74 im Jahr 2017 erhöht. Damit stieg der benötigte Aufwand zur Wärmerückgewinnung in diesem Zeitraum um 12,8 %. Gleichzeitig ist der Druckabfall jedoch um 9 % gesunken.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Strömungsgeschwindigkeiten im Betrachtungszeitraum kontinuierlich gesunken sind. So betrug die mittlere Strömungsgeschwindigkeit der analysierten Geräte im freien Gerätequerschnitt im Jahr 2013 noch 1,66 m/s. Diese ist über die Jahre sukzessive auf 1,55 m/s im Jahr 2017 gesunken (Bild 5).

⁵⁾ Studie des Umwelt-Campus Birkenfeld 2014, ebenda

⁶⁾ Studie des Umwelt-Campus Birkenfeld 2018, ebenda

⁷⁾ Studie des Umwelt-Campus Birkenfeld 2018, ebenda

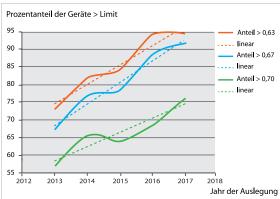


Bild 6 Entwicklung des Anteils an hocheffizienten WRG-Systemen

ΔdP [%]	dP [Pa]	ΔĊ [%] Referenz
182,3 %	293,9	113,3 %
188,8 %	314,6	114,6 %
	[%]	[%] [Pa] 182,3 % 293,9

360

117,6 %

Tabelle 1 Änderung der Wärmeleistungen im Verhältnis der Druckverluste

212.4%

2015

Die effektive Luftgeschwindigkeit bezogen auf den freien Querschnitt in der WRG ist durch die Rahmenanteile der Wärmeübertrager naturgemäß höher. Sie lag im Jahr 2013 bei 2,33 m/s und ist bis zum Jahr 2017 auf 2,15 m/s gesunken (Bild 5).

Betrachtet man die einzelnen Auslegungen, so ergibt sich für die vergangenen fünf Jahre folgendes Bild (Bild 6):

Der Anteil an WRG-Systemen mit einem Übertragungsgrad von mindestens 63 % ist von 2013 mit 73,1 % kontinuierlich auf 94,6 % in 2017 gestiegen. Im Jahr 2016 lag der Anteil bereits bei 94,1 %. Damit kann eine Stagnation der Fortentwicklung mittelhoher Übertragungsgrade festgestellt werden. Der Anteil der WRG-Systeme mit einem Übertragungsgrad von mindestens 67 % ist von 67,3 % im Jahr 2013 auf 91,9 % in 2017 kontinuierlich angewachsen. Ebenfalls hat sich

der Anteil der WRG-Systeme mit einem Übertragungsgrad von mindestens 70 % von 57,3 % im Jahr 2013 auf 76,3 % in 2017 stetig gesteigert.

Ausblick

Wenn man die Referenzwerte der EU1253/2014, die ab 2020 für eine Überarbeitung der Ökodesignverordnung herangezogen werden sollen, bereits heute ansetzt, ergibt sich folgendes Bild:

Kreislaufverbundsysteme (KVS-Systeme) sollten dann Mindestübertragungsgrade von 80 % erreichen, alle anderen Systeme zur Wärmerückgewinnung mindestens 85 %. Rechnet man nun sämtliche Auslegungen der vergangenen drei Jahre über die dimensionslose Wärmeübertragerkennzahl NTU um, ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten Werte. Die zurückgewonnene Leistung wird sich um 13,3 % gegenüber 2017 steigern, während sich die Druckverluste durch den enormen notwendigen apparativen Aufwand um 182 % erhöhen werden, wenn die Strömungsgeschwindigkeiten als konstant angenommen werden. Man erkennt, dass auch in den Vorjahren die Wärmeleistung nur um rund 15 % steigt, während - physikalisch bedingt - der apparative Aufwand und damit der Druckverlust rund um den Faktor 2 erhöht wurde.

Dieses Faktum sollte jedoch in einer Einzelfallbetrachtung verifiziert werden, zumal sich die Strömungsgeschwindigkeiten sukzessive verringert haben. Es ist davon auszugehen, dass sich zukünftig die Strömungsgeschwindigkeit weiter verringern wird.

Fazit

Es bleibt festzuhalten, dass sich die Wärmerückgewinnung in Deutschland positiv entwickelt und sehr erfolgreich etabliert hat. Man erkennt auch, dass sich durch die Ökodesignverordnung 1253/ 2014 die Wärmerückgewinnung deutlich positiver entwickelt hat, als dies ohne die Verordnung möglich gewesen wäre. Insbesondere im Jahr 2013 war eine Stagnation der Entwicklung der Effizienz der WRG-Systeme zu erkennen, die aber ab 2014 nicht mehr festzustellen war. Jedoch ist zu beachten, dass die Übertragungsgrade mit Standardabweichung +/- 5,5 Prozentpunkten um den Mittelwert streuen.

Man erkennt auch, dass die Steigerung der Effizienz der WRG durch eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten in der WRG "kompensiert" wurde. Denn hierdurch konnte trotz steigender Übertragungsgrade der Druckverlust der WRG sogar gesenkt werden.

Wenn aber die Referenzwerte der EU 1253/2014 ab 2020 tatsächlich in geltendes Recht verwandelt werden, dann wird zwar die zurückgewonnene Wärmeleistung um rund 15 % steigen, aber der apparative Aufwand wird sich um etwa den Faktor 2 erhöhen.

Ob diese Entwicklung wirtschaftlich ist, werden weiterführende Studien zeigen, die sinnvollerweise auf Einzelfallebene durchgeführt werden müssen, da Wärmerückgewinnung nicht nur eine volkswirtschaftliche Maßnahme ist, sondern eben auch eine betriebswirtschaftliche, die jeden Nutzer explizit im Einzelfall betreffen wird.