



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R



Fachverband
Gebäude-Klima e.V.



Studie zur Entwicklung des Energieeinsparpotenzials der Wärmerückgewinnung aus zentralen Raumlufotechnischen Anlagen in Nicht-Wohngebäuden in Deutschland

Eine Studie für den Fachverband Gebäude-Klima e. V.
und den Herstellerverband Raumlufotechnische Geräte e.V.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup
c.kaup@umwelt-campus.de

Honorarprofessur für Energieeffizienz in der Raumluftechnik

1 Ziel der Studie

Der Fachverband Gebäude-Klima e. V. (FGK) und der Herstellerverband Raumlufotechnische Geräte e. V. (RLT) nutzen für ihre Öffentlichkeitsarbeit eine Abschätzung der Entwicklung des Energiebedarfs und des Energieeinsparpotenzials durch Wärmerückgewinnung (WRG) von zentralen Raumlufotechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) in Nicht-Wohngebäuden (NWG) in Deutschland. Hierzu hat der Umwelt-Campus Birkenfeld, Hochschule Trier, unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup die vorliegende wissenschaftliche Studie erstellt, die im Wesentlichen auf eigenen Untersuchungen und Marktbefragungen des Herstellerverbandes RLT e. V. beruht. Es handelt sich bei der vorliegenden Studie um ein Update einer bereits 2014 erstellten gleichlautenden Studie.

2 Entwicklung der Wärmerückgewinnung

Wärmerückgewinnungssysteme werden seit Jahren zur Verringerung des benötigten thermischen Primärenergiebedarfs in RLT-Geräten und -Anlagen in NWG eingesetzt. Diese Effizienzmaßnahme gehört spätestens seit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009¹ zum Stand der Raumlufotechnik in Nicht-Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland. Bild 1 zeigt die Entwicklung des mittleren Temperaturübertragungsgrades (Φ) der Wärmerückgewinnung innerhalb der letzten 16 Jahre für Deutschland.

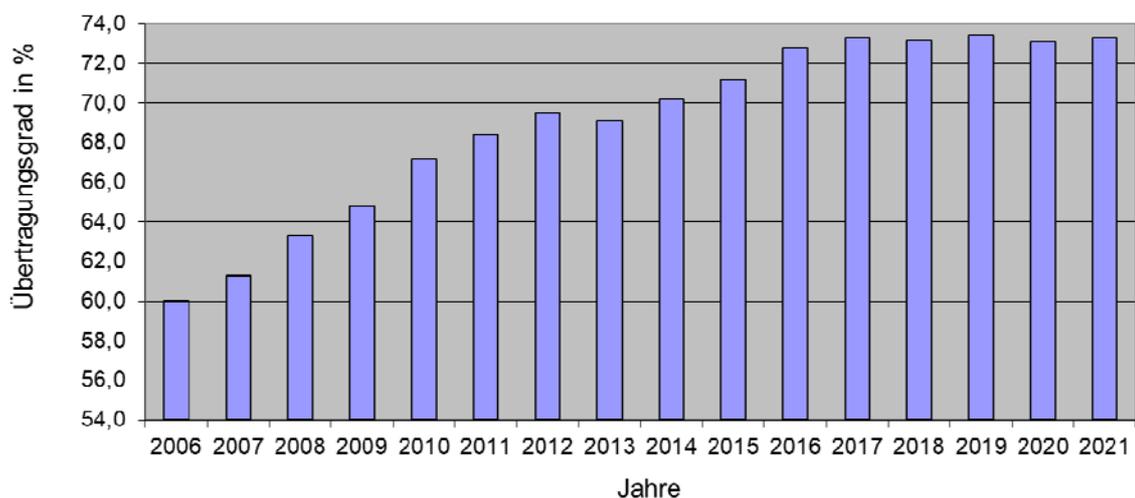


Bild 1: Entwicklung des Temperaturübertragungsgrades (Φ) von WRG-Systemen^{2 3}

¹ Energieeinsparverordnung, 2009-10

² Erweiterung der Studie zur Energieeffizienz von raumlufotechnischen Geräten, Springer-VDI Verlag, HLH 01/2012 und ergänzende Analysen bis 2021

³ Es wurden insgesamt 19.301 RLT-Geräte und deren Auslegungsdaten analysiert. Dabei handelte es sich um marktbezogene und reale Geräteauslegungen eines Herstellers aus den Jahren 2003 bis 2013. Es wurden bewusst Auslegungen im

Der mittlere Temperaturübertragungsgrad stieg stetig von 60 % in 2006 auf 73,3 % in 2017.

Man erkennt seit dem Jahr 2017 erstmals eine Stagnation des Temperaturübertragungsgrads, der aktuell bei $\Phi = 73,3 \%$ liegt.

Zudem hat sich die Verwendung von WRG-Systemen in Anlagen für Nicht-Wohngebäude bis 2012 deutlich erhöht. Allerdings kann seit 2013 ebenfalls eine Stagnation der Verwendung von Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung konstatiert werden.

Da laut Studie des Umwelt-Campus Birkenfeld von 2009⁴ 13,3 % der RLT-Geräte reine Zuluftgeräte und 5,9 % reine Abluftgeräte sind, können somit maximal 80,8 %⁵ der RLT-Geräte überhaupt mit WRG-Systemen ausgestattet werden, weil nur in diesen Fällen dem Abluftstrom ein korrespondierender Zuluftstrom gegenübersteht.

Laut einer Studie des Umwelt-Campus aus 2014 werden etwa 80 % dieser möglichen RLT-Geräte (80,8% sämtlicher Geräte) tatsächlich mit WRG-Systemen ausgestattet (Bild 2)⁶.

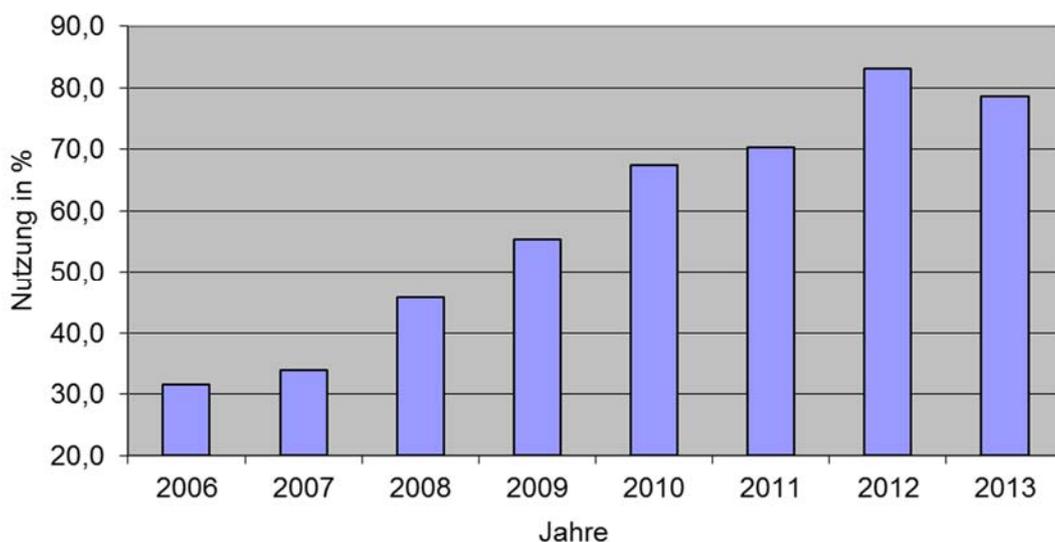


Bild 2: Entwicklung der Verwendung von WRG, bezogen auf mögliche Geräte⁷

Die Stagnation der Verwendung der WRG ab 2013 kann u. E. auch auf Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zurückgeführt werden, da die Nutzung von WRG-Systemen klar durch ökonomische

Angebotsstadium und nicht ausgeführte Geräte zur Auswertung herangezogen, um unternehmensspezifische Einflüsse zu eliminieren. In den Jahren 2014 bis 2021 wurden jeweils rund marktspezifische 500 bis 900 Auslegungen pro Jahr ausgewertet.

⁴ Potenzial der Wärmerückgewinnung, Gentner Verlag, TGA Fachplaner 12/2009

⁵ Laut Beck (Beck, E.: Dissertation: Energieverbrauch, -einsparpotential und -grenzwerte von Lüftungsanlagen, Universität und Gesamthochschule Kassel, 2000) beläuft sich dieser Wert auf 79 %.

⁶ Kaup, C., Kampeis, P., Studie zur Entwicklung des Energiebedarfs zentraler Raumluftechnischer Anlagen in Nicht-Wohngebäuden in Deutschland, Fachverband Gebäude-Klima und Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V., 2014

⁷ Marktdaten der jährlichen Mitgliederbefragung des Herstellerverbands Raumluftechnische Geräte e. V. 2006 bis 2013

Rahmenbedingungen beeinflusst wird. Offensichtlich ist das wirtschaftliche Optimum heute bei einem Temperaturübertragungsgrad von $\Phi \approx 73\%$ erreicht.

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 elektrischer Ventilatorleistungsbedarf ergibt. Die Entwicklung des mittleren Differenzdruckes Δp von WRG-Systemen stellt Bild 3 dar. Die mittleren Differenzdrücke haben sich unterproportional zur Entwicklung des Temperaturübertragungsgrades entwickelt. Insbesondere in den Jahren 2012 bis 2017 haben sich die mittleren Differenzdrücke trotz hoher Temperaturübertragungsgrade verringert. In den Jahren 2019 bis 2021 sind die Drücke wieder moderat angestiegen. Der Grund hierfür ist nicht bekannt.

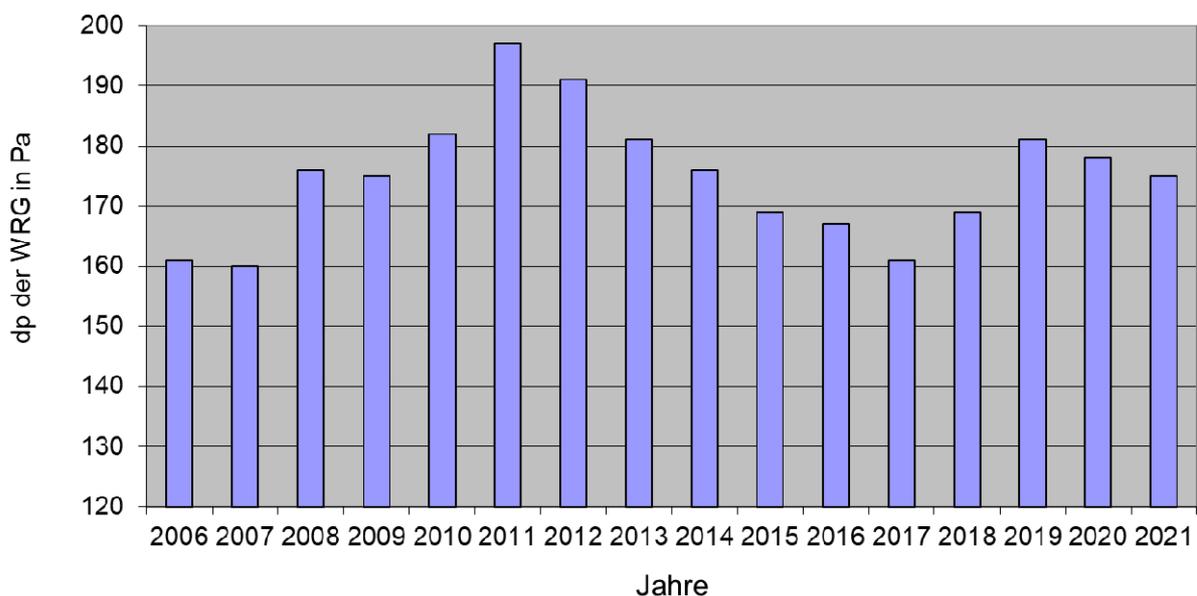


Bild 3: Entwicklung der mittleren Differenzdrücke Δp pro Luftstrang von WRG-Systemen⁸

Damit kann festgehalten werden, dass sich das Verhältnis des elektrischen Aufwandes zum Nutzen der WRG sogar verbessert hat. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) bezogen auf die Komponente WRG liegt im Mittel der letzten drei Jahre bei 21. In 2013 lag sie bei 18,3 (siehe auch Bild 4). Aus den erhobenen Marktdaten des Herstellerverbands Raumluftechnische Geräte e. V. ergibt sich die in Tabelle 1 dargestellte Situation für Deutschland.

⁸ Analysen von jeweils mind. 500 Geräteauslegungen pro Analysejahr im Rahmen einer Studie des Umwelt-Campus Birkenfeld, Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup, 2006 bis 2021

Tabelle 1: Marktdaten für im Inland (D) verkaufte RLT-Geräte⁹

Jahr	Geräte Anzahl	WRG-Nutzung %	Φ WRG %	ΔP WRG Pa	V ZUL m ³ /h	Anteil RLT % Markt	V _D ZUL Mio. m ³ /h/a
Basis 12 Jahre 1993 bis 2005 (Mittelwerte abgeschätzt) ¹⁰	25.000	27,5	57,0	165	14.000	70,5	467,7
2006	31.857	31,5	60,0	161	13.426	70,5	571,5
2007	30.952	34,0	61,3	160	14.834	70,5	613,5
2008	31.424	45,8	63,3	176	15.667	70,5	657,8
2009	25.295	55,4	64,8	175	15.127	70,5	511,3
2010	26.846	67,4	67,2	182	13.332	70,5	478,2
2011	29.567	70,4	68,4	197	14.028	75,0	520,9
2012	27.885	83,2	69,5	191	13.073	70,0	490,6
2013	22.793	78,6	69,1	181	14.422	75,0	412,9
2014	22.686	78,6	70,2	176	14.796	71,8	448,5
2015	16.023	78,6	71,2	169	14.580	71,8	306,4
2016	21.020	78,6	72,8	167	15.217	71,8	419,5
2017	21.605	78,6	73,3	161	15.304	71,8	433,6
2018	24.397	78,6	73,2	169	15.906	71,8	508,9
2019	24.430	78,6	73,4	181	16.051	71,8	514,2
2020	25.671	78,6	73,1	178	13.285	71,8	447,2
2021	25.952	78,6	73,3	175	16.668	71,8	574,1

Insgesamt wurde demnach in Deutschland in Nicht-Wohngebäuden im Jahr 2021 ein Zuluftvolumenstrom (V_{DZUL}^{11}) von rund 574 Mio. m³/h installiert. Berücksichtigt man den spezifischen Wärmebedarf zur Zulufterwärmung von 8,4 kWh/(m³/h)/a bei einer durchschnittlichen Laufzeit der Anlagen von 2.350 h/a¹², so ergeben sich unter Berücksichtigung einer Sanierungsquote (Austausch von Altgeräten) von 6,4 %¹³ die in Tabelle 2 dargestellten Energiemengen. Die nachfolgende Bewertung wird von einer Nennlebensdauer von 20 Jahren berechnet, so dass ab dem Jahr 2013 jeweils ältere Basisjahre (von 1993 an folgend) aus der Bilanzierung fallen. Die Beiträge für das Jahr 2021 setzen sich demnach aus den aufsummierten Erträgen abzüglich der aufsummierten Aufwendungen der Jahre 2002 bis 2021 zusammen.

⁹ Marktdaten der jährlichen Mitgliederbefragung des Herstellerverbands Raumluftechnische Geräte e. V. 2006 bis 2021 und Analysen des Umwelt-Campus Birkenfeld, Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup, 2006 bis 2021

¹⁰ Werte bis einschließlich 2003 durch Analysen gesichert. Werte von 1993 bis 2002 wurden interpoliert.

¹¹ Unter Berücksichtigung von 80,8 % kombinierter Zu- und Abluftgeräte und von 13,3 % reiner Zuluftgeräte.

¹² Der Wärmebedarf im 24-h-Dauerbetrieb (8.760 h/a) der Anlagen liegt laut Beck bei 31,33 kWh/(m³/h)/a. Da RLT-Anlagen jedoch nicht im Dauerbetrieb, sondern meist im Einschichtbetrieb genutzt werden, wurde die durchschnittliche Laufzeit der Anlagen mit 2.350 h/a festgelegt. Dafür ergibt sich ein Wärmebedarf von 8,4 kWh/(m³/h)/a.

¹³ Sanierungsquote von 6,4 % (Standardabweichung 2,5 %) ermittelt durch Expertenbefragung (n = 10) in 2014.

Tabelle 2: Wärmebedarf und WRG von NWG in Deutschland

Jahr	Bedarf	Nutzen	Aufwand	Nutzen	Aufwand	Netto
	Wärme	WRG	WRG_{el}	WRG_{sum.}	WRG_{el sum.}	Primärenergie
	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a
1993 bis 2005	3.653	573	34,6	7.445	449	7.021
2006	4.801	907	48,4	8.294	495	7.837
2007	5.153	1.074	51,4	9.299	543	8.818
2008	5.526	1.602	79,5	10.799	617	10.274
2009	4.295	1.542	69,3	12.242	682	11.693
2010	4.017	1.820	93,3	13.945	769	13.339
2011	4.376	2.107	124,2	15.917	886	15.206
2012	4.121	2.383	130,7	18.147	1.008	17.342
2013	3.468	1.884	102,9	19.338	1.070	18.491
2014	3.767	1.956	94,4	20.595	1.123	19.734
2015	2.573	1.440	66,1	21.370	1.151	21.436
2016	3.523	2.016	88,4	22.684	1.199	22.795
2017	3.642	2.098	90,2	24.075	1.249	24.235
2018	4.275	2.459	111,6	24.086	1.319	26.011
2019	4.319	2.491	120,5	25.804	1.397	27.805
2020	3.757	2.158	103,2	27.563	1.459	29.285
2021	4.822	2.778	130,0	31.038	1.546	31.358

Bild 4 stellt den Nutzen der Wärmerückgewinnung im Verhältnis zum energetischen Aufwand grafisch dar.

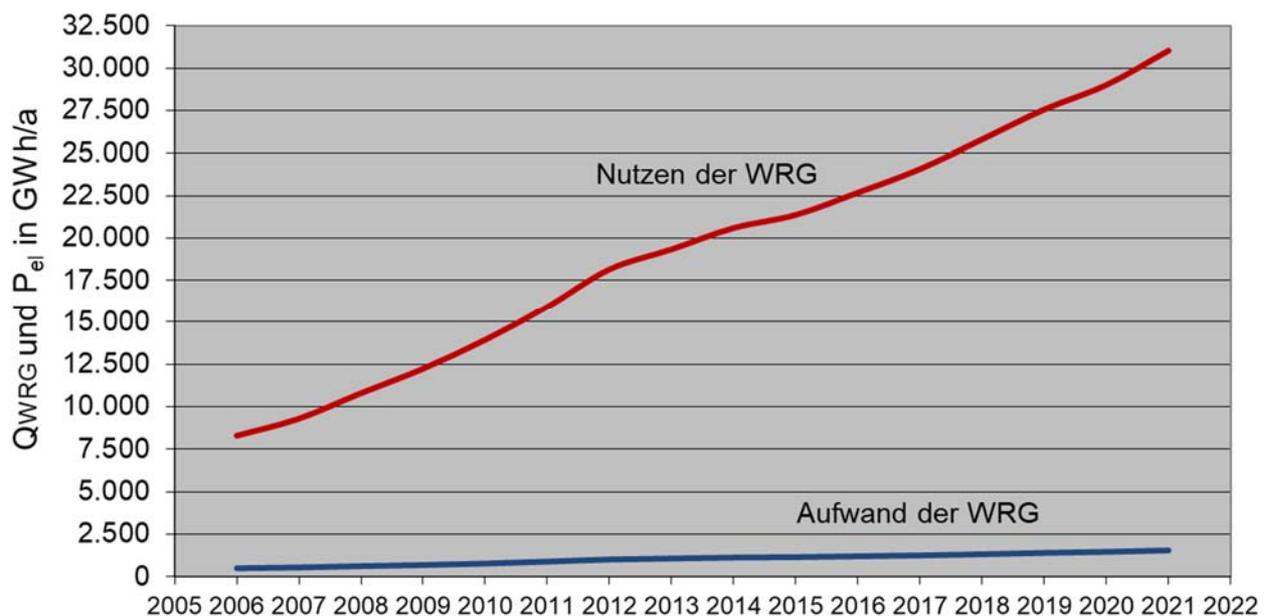


Bild 4: Nutzen und Aufwand der WRG als Endenergiemengen Q_{WRG} und P_{el} in NWG

Es ist zu erkennen, dass sich das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand der Wärmerückgewinnung sehr positiv entwickelt hat. Mittlerweile liegt die zurückgewonnene Wärmemenge in Deutschland bei 31 TWh/a (siehe Bild 4). Der dafür notwendige elektrische Aufwand liegt demgegenüber lediglich bei 1,55 TWh/a. Legt man für die Erzeugung der elektrischen Leistung einen Primärenergiefaktor von 1,8 und für die Wärmeerzeugung einen Primärenergiefaktor von 1,1¹⁴ zugrunde, ergibt sich eine zurückgewonnene Primärenergiemenge von 31,3 TWh/a netto. Die sich hieraus ergebende CO₂-Einsparung zeigt Bild 5.

Laut verschiedener Studien kann die Lebensdauer auch länger betragen. Gemäß TGA-Report 2013 wurde eine mittlere Lebensdauer von 27 ermittelt¹⁵. Somit ist die berechnete Wärmebereitstellung der WRG konservativ berechnet worden.

In 2021 wurde eine CO₂-Reduktion von 8.529.505 Tonnen pro Jahr erreicht, die sich in den letzten 10 Jahren verdoppelt hat (siehe Bild 5).

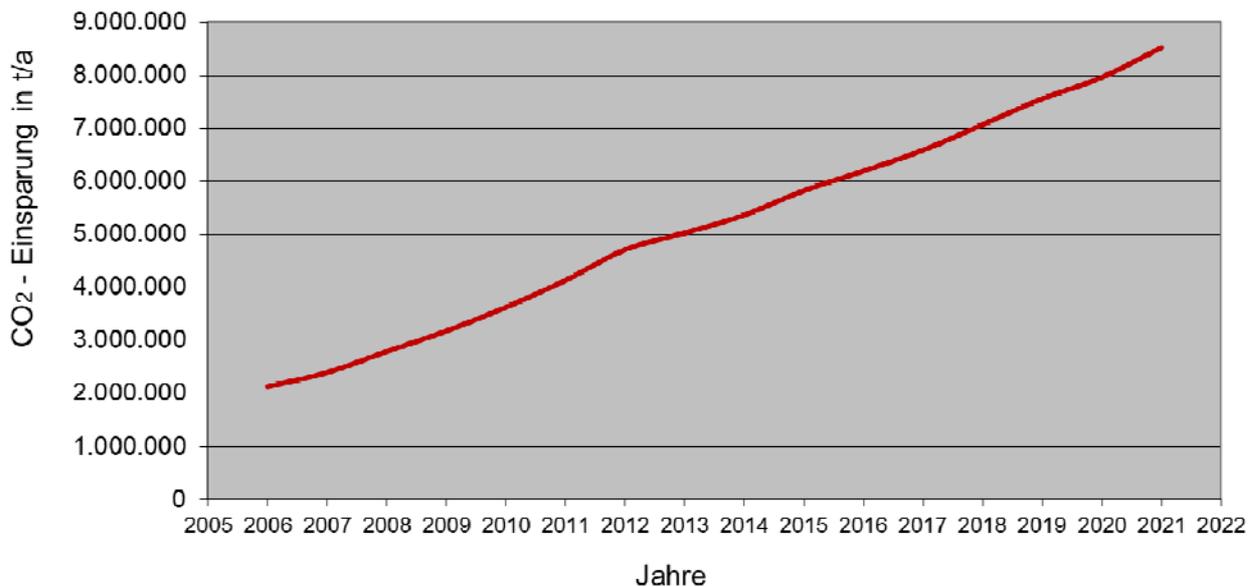


Bild 5: Netto-CO₂-Reduktion durch WRG¹⁶

3 Schlussfolgerung

Es bleibt festzuhalten, dass sich die Wärmerückgewinnung in Deutschland positiv entwickelt und sehr erfolgreich etabliert hat. Trotz der seit 2017 erstmals stagnierenden Leistungskenn-

¹⁴ Primärenergiefaktor 1,8 für Strom, sowie 1,1 für Öl oder Gas, EnEV 2014

¹⁵ Schiller, H., Mai, R., Händel, C., Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche“, TGA-Report 03/2013

¹⁶ Basis von 272 t CO₂/GWh (Wärmemix Deutschland mit 35 % Verteilverlusten gemäß DIN SPEC 15240:2018-08)

zahlen (Temperaturübertragungsgrad, Druckverluste und Nutzung der WRG) steigt die zurückgewonnene Wärmemenge signifikant an und hat in 2021 erstmals eine Primärenergieeinsparung von über 30 TWh/a erreicht.

Damit hat sich die durch Wärmerückgewinnung zurückgewonnene Wärmemenge seit 2011 etwa verdoppelt. Dies gilt auch für den Betrag der CO₂-Einsparung, der sich von 2011 von 4,14 Mio. t/a CO₂-Reduktion bis 2021 auf 8,53 Mio. t/a ebenfalls etwa verdoppelt hat.

In den nächsten Jahren wird sich diese Entwicklung fortsetzen, da alte und weniger effiziente Anlagen durch neue und effizientere Anlagen ersetzt werden.

Im Vergleich anderer regenerativer Wärmebereitstellungstechnologien zur WRG lag die Wärmebereitstellung von Wärmepumpen (oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme) im Jahr 2019 in Deutschland bei 14,7 TWh, während die Solarthermie 8,5 TWh lieferte¹⁷.

Die Wärmerückgewinnung aus Nicht-Wohngebäuden lieferte im selben Jahr 27,6 TWh und damit rund 20 % mehr Wärme als Wärmepumpen und Solarthermie gemeinsam.

Für das Jahr 2030 kann eine jährliche Wärmebereitstellung durch die WRG von rund 46 TWh in NWG abgeschätzt werden. Der elektrische Aufwand für den Betrieb dieser WRG-Einrichtungen beträgt dann rund 2,2 TWh/a. Die primärenergetische Einsparung liegt 2030 damit voraussichtlich bei 46,7 TWh/a und die jährliche CO₂-Einsparung bei rund 12,7 Mio. t.

Birkenfeld, 27.10.2022



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup

Honorarprofessur für Energieeffizienz in der Raumlufttechnik

Die Studie umfasst 8 Seiten

¹⁷ Quelle: BMWi auf Basis der Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand Februar 2020

Umwelt-Campus Birkenfeld

Hochschule Trier

Postfach 13 80

D-55761 Birkenfeld

Telefon: +49 6782 17-18 19

Telefax: +49 6782 17-13 17

E-Mail: info@umwelt-campus.de

www.umwelt-campus.de

