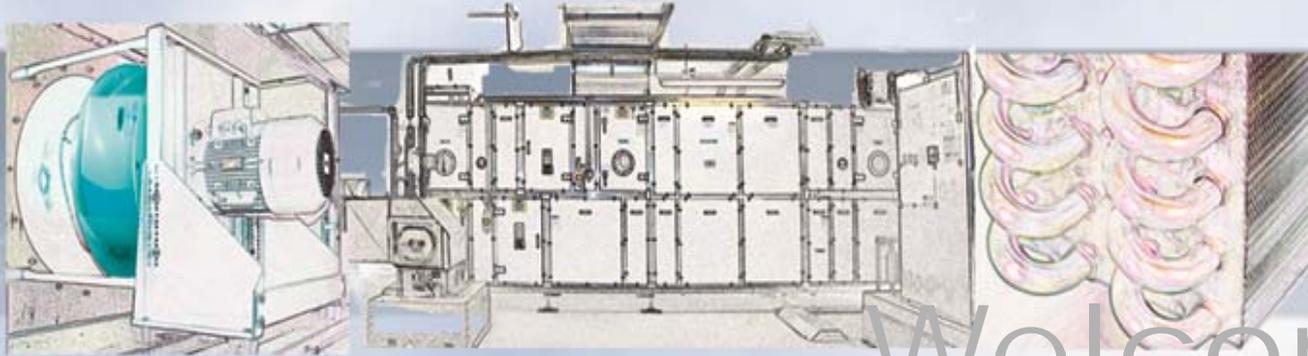


Willkommen



Bienvenue

Welcome

Bedeutung der Wärmerückgewinnung aus NWG im Kontext der volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Potenziale im Einzelfall

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



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld
Umwelt macht Karriere.

Wärmerückgewinnung

Nutzen der WRG

Temperatur

Übertragungsgrad

$$\eta_t = \frac{t_{ZUL} - t_{AUL}}{t_{ABL} - t_{AUL}} = \frac{\dot{Q}_{WRG}}{\dot{Q}_{Pot.}}$$

Massenstromverhältnis 1:1 - Umrechnung ungleicher Massenströme

$$\Phi = \Phi_{1:1} \cdot (\dot{m}_1 / \dot{m}_2)^{0,4} \quad \text{mit } 0,8 < (\dot{m}_1 / \dot{m}_2) < 1,25$$

„trocken“

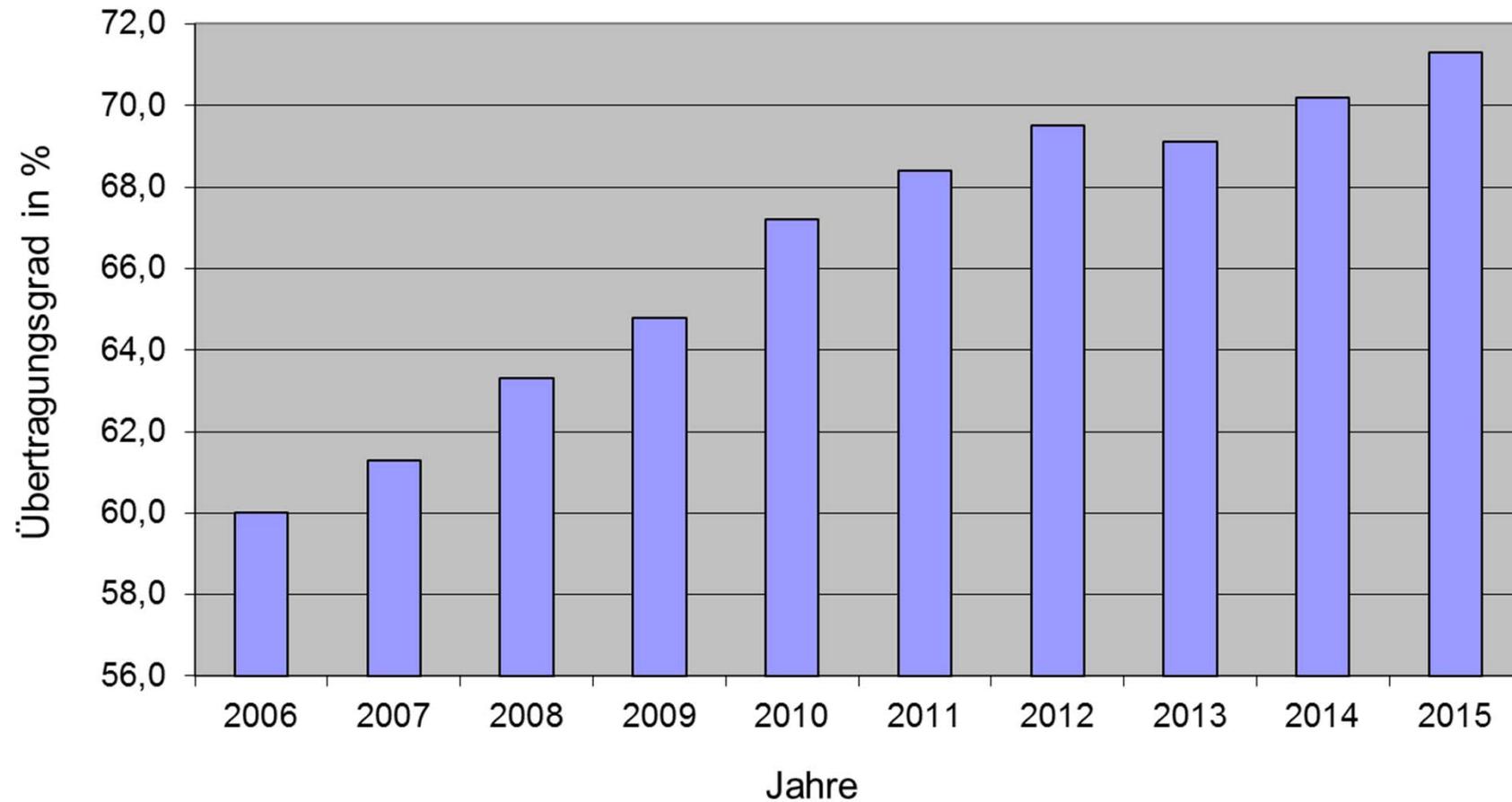
DIN EN 13053



European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung

WRG in NWG in Deutschland

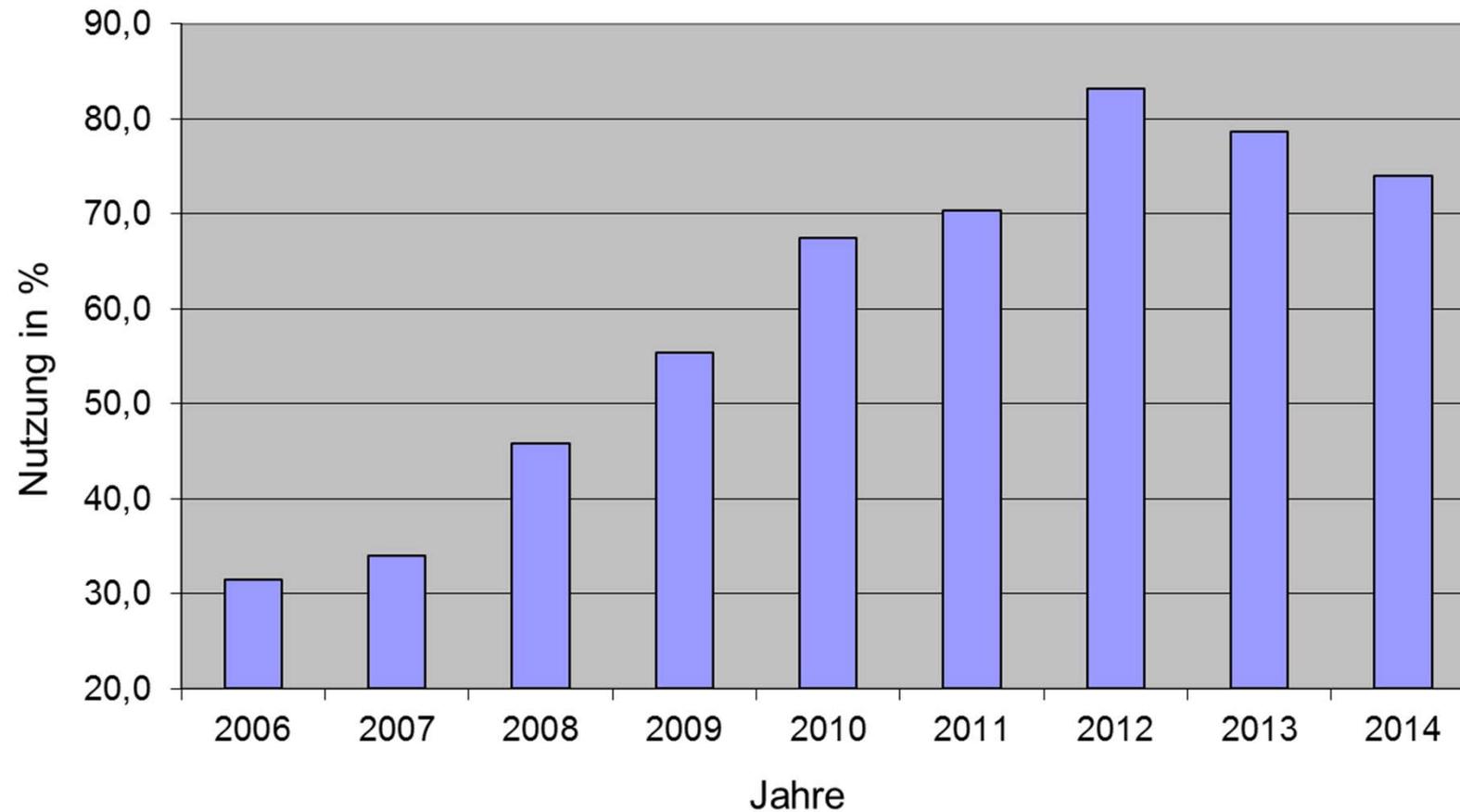
UCB-Studie 2014 für  



Entwicklung des Temperaturübertragungsgrades von WRG-Systemen

WRG in NWG in Deutschland

UCB-Studie 2014 für  



Entwicklung der Verwendung von WRG-Systemen (mögliche Geräte)

WRG in NWG in Deutschland

UCB-Studie 2014 für  

Jahr	Geräte	WRG-Nutzung	Φ WRG	ΔP WRG	V ZUL	Anteil RLT	V _D ZUL
	Anzahl	%	%	Pa	m ³ /h	% Markt	Mio. m ³ /h/a
Basis 13,4 Jahre	25.000	27,5	57,0	165	14.000	70,5	467,7
1993 bis 2005 (Mittelwerte abgeschätzt)							
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	73,9	70,2	176	14.796	70,0	448,5

Marktdaten für im Inland (D) verkaufte RLT-Geräte

WRG in NWG in Deutschland

UCB-Studie 2014 für



- Unter Berücksichtigung von **80,8 % kombinierter Zu- und Abluftgeräte** und von **13,3, % reiner Zuluftgeräte**
- Der Wärmebedarf im 24-h-Dauerbetrieb (8.760 h/a) der Anlagen liegt bei 31,33 kWh/(m³/h)/a. Damit bei durchschnittliche **Laufzeit** der Anlagen mit **2.350 h/a** folgt ein **Wärmebedarf von 8,4 kWh/(m³/h)/a**
- **Multiplikationsfaktor von 13,4 (20 Jahre Lebensdauer** mit 2 % abgezinst und 2 % Änderungsrate)
- **Sanierungsquote von 6,4 %** (Standardabweichung 2,5 %) ermittelt durch Expertenbefragung (n = 10) in 2014 (Nennungen 3 bis 10 %)
- **Primärenergiefaktoren 2,6 für Strom**, sowie **1,1 für Öl** oder **Gas**
- Basis **CO₂Einsparung von 303 t CO₂/GWh**
(Mittelwert aus 340 t/GWh **Heizöl** und 265 t/GWh **Erdgas**)

WRG in NWG in Deutschland

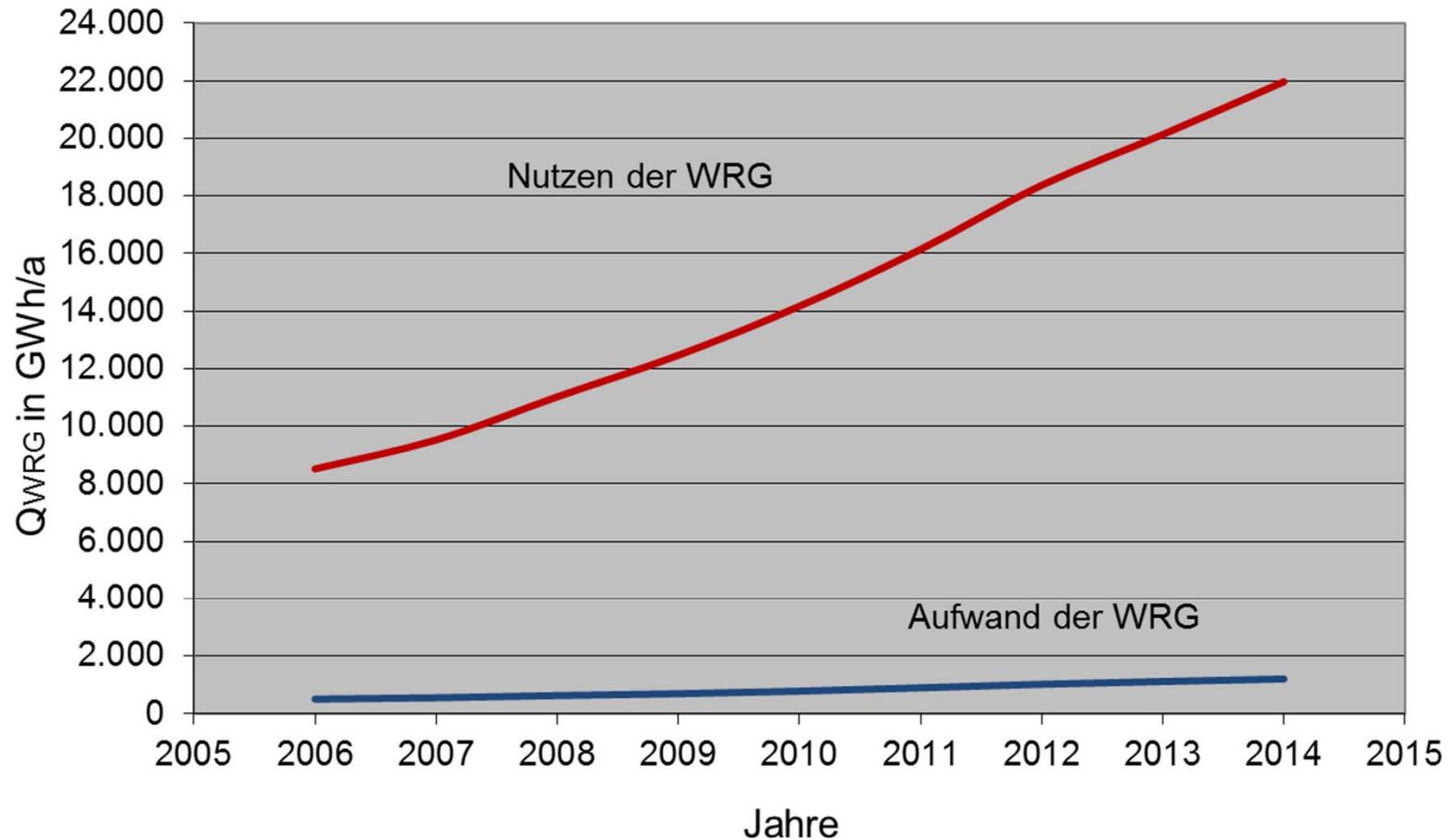
UCB-Studie 2014 für  

Jahr	Bedarf Wärme GWh/a	Nutzen WRG GWh/a	Aufwand WRG _{el} GWh/a	Nutzen WRG _{sum.} GWh/a	Aufwand WRG _{el sum.} GWh/a	Netto WRG GWh/a
1993 bis 2005	3.653	573	34,6	7.674	463	7.237
2006	4.801	907	48,4	8.523	508	8.053
2007	5.153	1.074	51,4	9.528	556	9.034
2008	5.526	1.602	79,5	11.028	631	10.490
2009	4.295	1.542	69,3	12.471	696	11.909
2010	4.017	1.820	93,3	14.174	783	13.555
2011	4.376	2.107	124,2	16.146	899	15.422
2012	4.121	2.383	130,7	18.376	1.022	17.558
2013	3.468	1.884	102,9	20.140	1.118	19.247
2014	3.767	1.956	94,4	21.970	1.206	21.030

Wärmebedarf und WRG (NWG) in Deutschland

WRG in NWG in Deutschland

UCB-Studie 2014 für  



Nutzen und Aufwand der WRG als Energiemengen für Deutschland

Regenerative Wärme in Deutschland

Regenerative Wärmebereitstellung 2013

Wärmepumpen	8,5 TWh/a	Quelle BWP 2013
Solarthermie	6,8 TWh/a	Quelle ZSW AGEE-Stat. 2014
Geothermie	9,5 TWh/a	Quelle ZSW AGEE-Stat. 2014
Summe	24,8 TWh/a	
Wärmerückgewinnung NWG	20,1 TWh/a	
Prognose 2020	32,8 TWh/a	

Elektroenergieeffizienz



DIN EN 13779



European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung

Lüftung von Nichtwohngebäuden
Allgemeine Grundlagen und Aufgaben
für Lüftungs- und Klimaanlage

Spezifische Ventilatorleistung = Specific Fan Power (SFP)

$$P_{\text{SFP}} = \frac{P_{\text{Input}}}{q_v} = \frac{\Delta p_{\text{fan}}}{\eta_{\text{total}}}$$

P_{SFP} Spezifische Ventilatorleistung [W/(m³/s)]

P_{Input} elektrische Leistungsaufnahme [W]

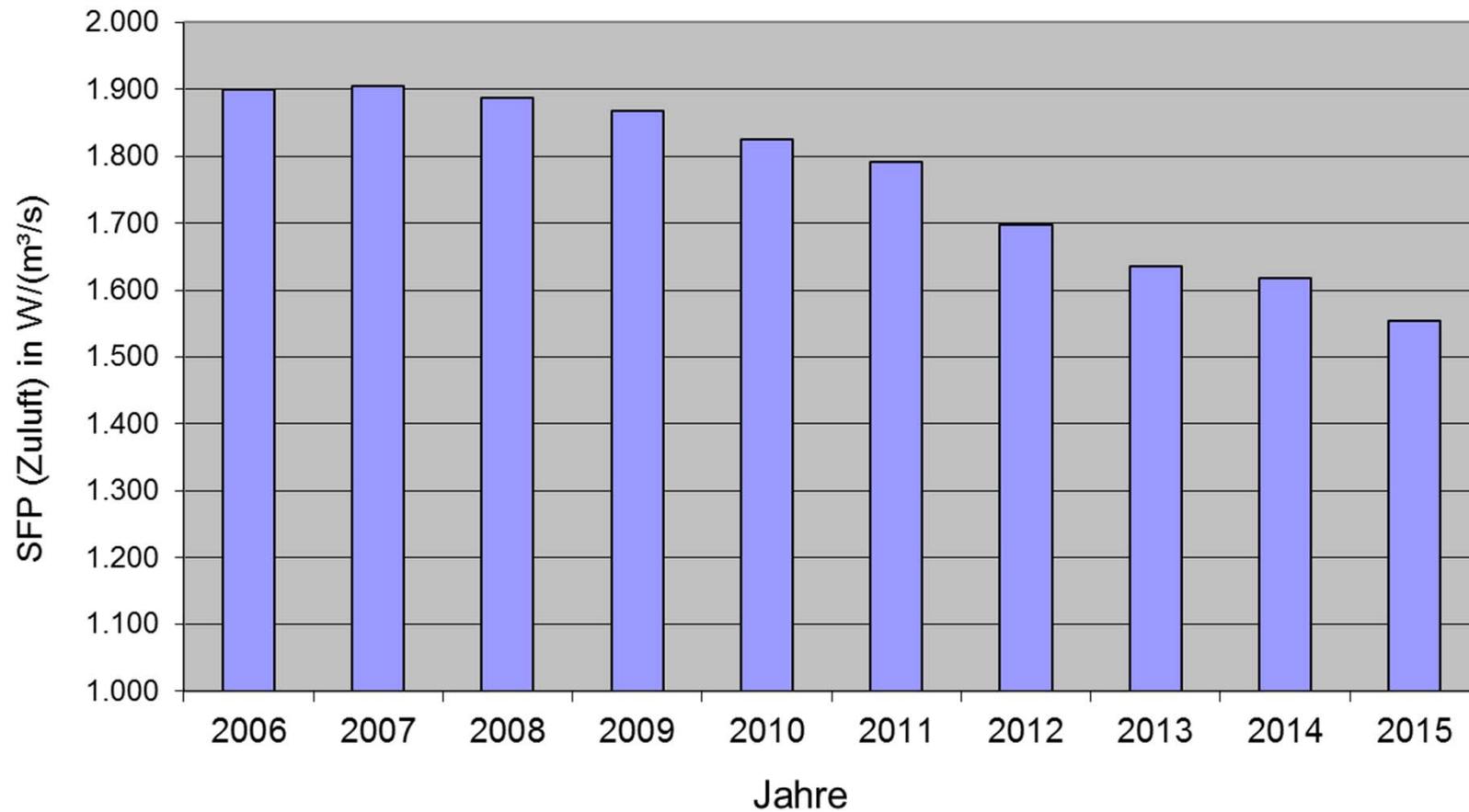
q_v Nennluftvolumenstrom [m³/s]

Δp_{fan} Gesamtdruckerhöhung [Pa]

η_{total} Systemwirkungsgrad Antrieb [-]

RLT P_{el} in NWG in Deutschland

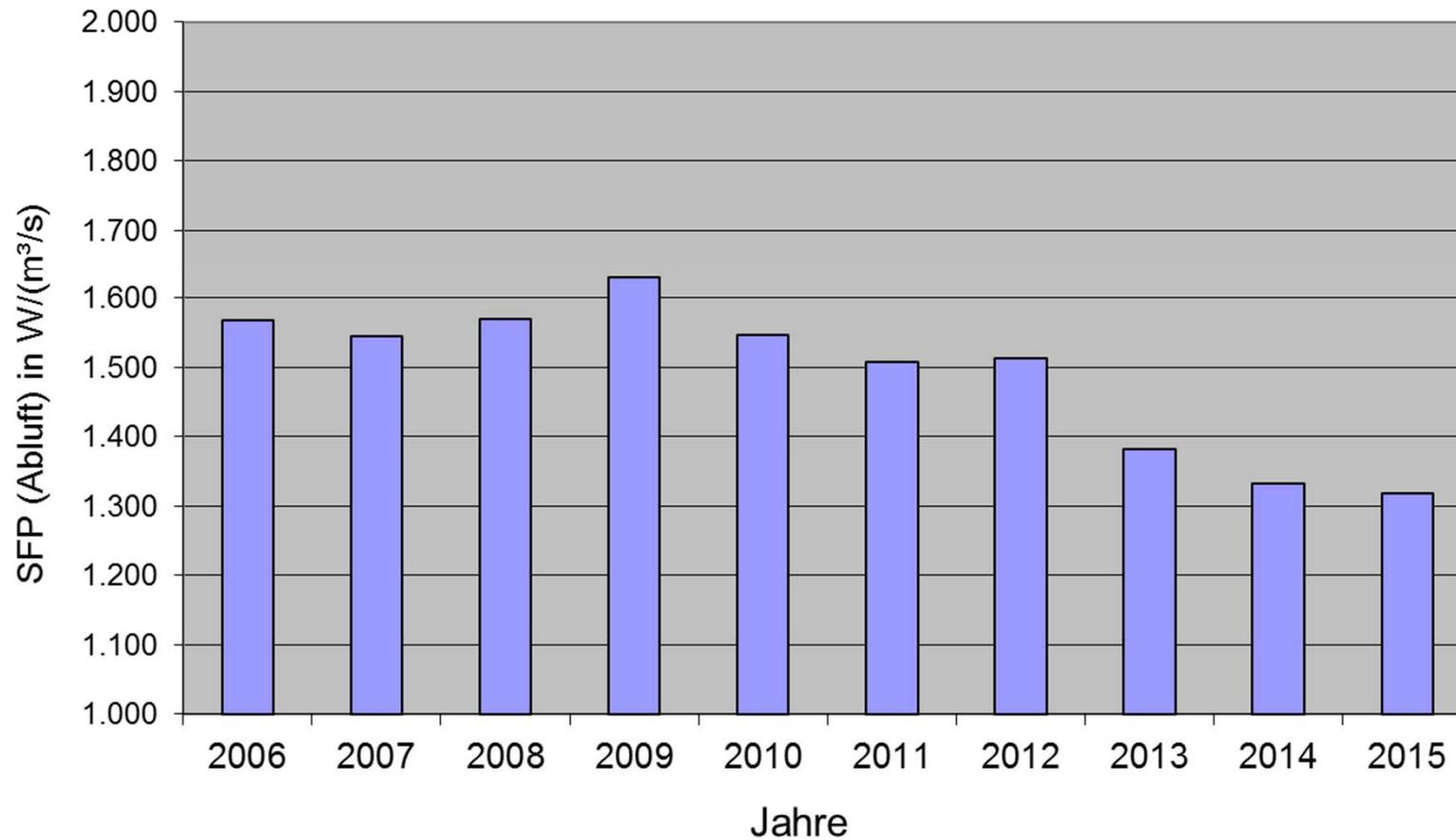
UCB-Studie 2014 für  



Entwicklung der spezifischen Zuluft-Ventilatorleistung SFP

RLT P_{el} in NWG in Deutschland

UCB-Studie 2014 für  



Entwicklung der spezifischen Abluft-Ventilatorleistung SFP

RLT P_{el} in NWG in Deutschland

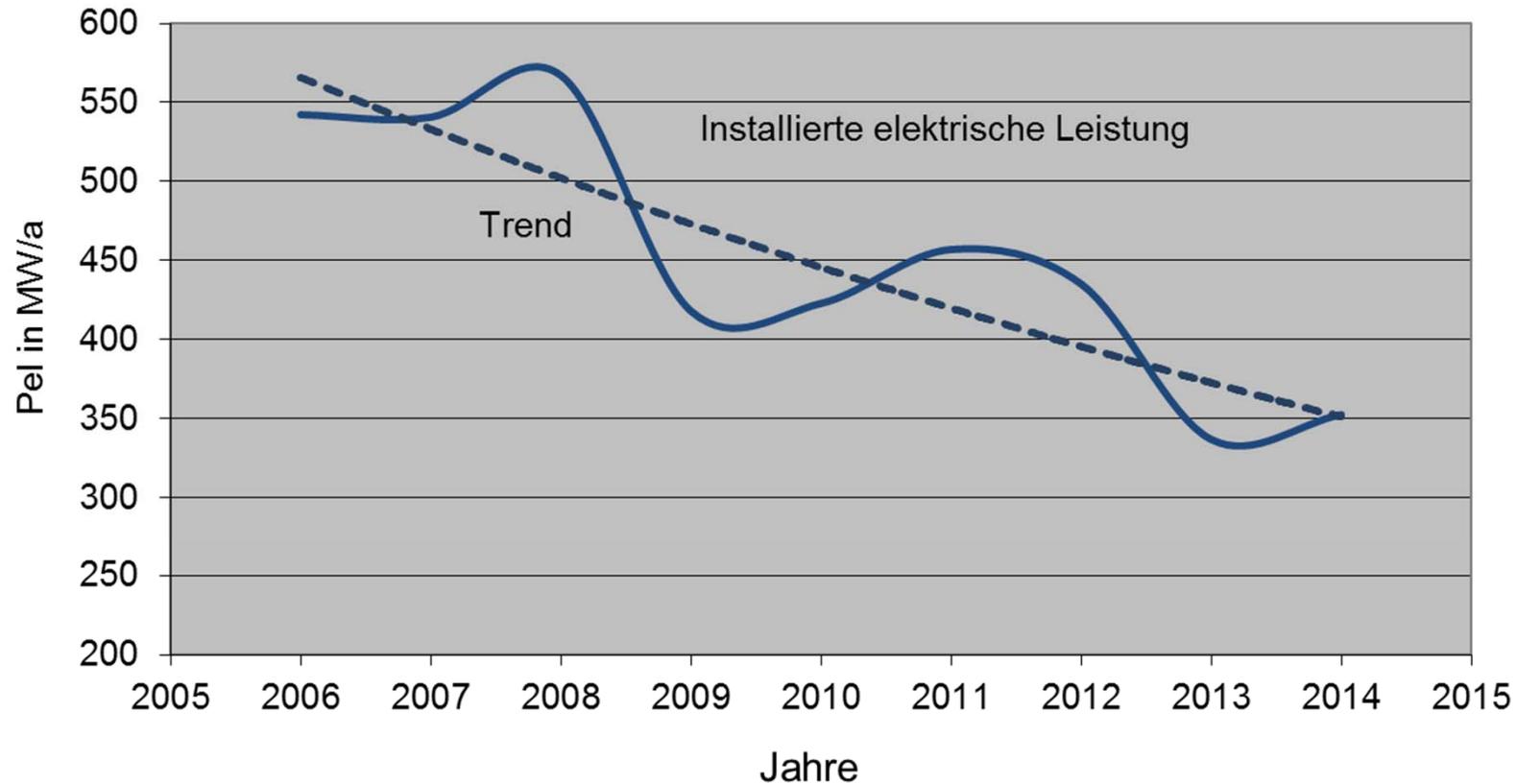
UCB-Studie 2014 für  

	SFP ZUL	SFP ABL	V ABL	V ZUL	Geräte	RLT	V_D ABL	P_{el} ABL	V_D ZUL	P_{el} ZUL	Gesamt
	W/(m ³ /s)	W/(m ³ /s)	m ³ /h	m ³ /h	Anzahl	%	Mio. m ³ /h	MW/a	Mio. m ³ /h	MW/a	MW/a
2006	1.900	1.567	14.106	13.426	31.857	70,5	552,6	240,6	571,5	301,6	542,2
2007	1.905	1.545	13.212	14.834	30.952	70,5	502,9	215,9	613,5	324,7	540,6
2008	1.887	1.569	13.196	15.667	31.424	70,5	510,0	222,2	657,8	344,9	567,1
2009	1.867	1.630	10.847	15.127	25.295	70,5	337,4	152,7	511,3	265,2	417,9
2010	1.826	1.547	12.704	13.332	26.846	70,5	419,4	180,2	478,2	242,5	422,7
2011	1.791	1.507	13.820	14.028	29.567	75,0	472,4	197,7	520,9	259,2	456,9
2012	1.697	1.513	14.037	13.073	27.885	70,0	484,8	203,8	490,6	231,2	435,0
2013	1.636	1.382	14.732	14.422	22.793	75,0	388,2	149,0	412,9	187,6	336,6
2014	1.618	1.332	14.606	14.796	22.686	70,5	407,5	150,8	448,5	201,6	352,3

Installierte elektrische Leistung von RLT-Geräten in NWG

RLT P_{el} in NWG in Deutschland

UCB-Studie 2014 für  



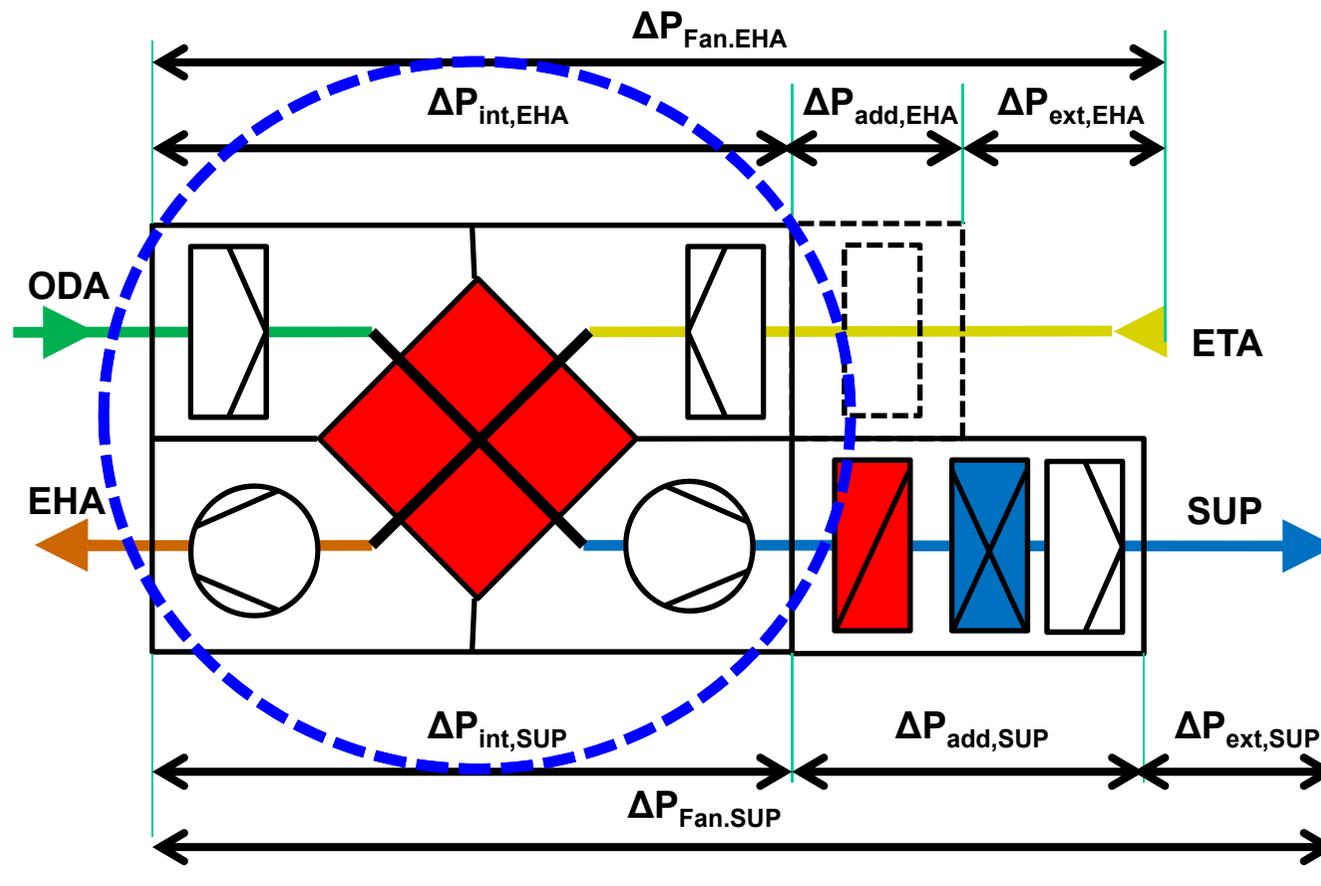
Entwicklung der neu installierten elektrischen RLT-Leistung P_{el} in NWG

Ökodesign Verordnung EU 1253/2014

Referenzkonfiguration BVU (Zu- und Abluftgerät)

- ein Gehäuse
- mindestens zwei Ventilatoren (Zu- und Abluft)
- variable Drehzahlregelung (min. mehrstufig)
- eine Wärmerückgewinnung
- eine thermische Umgehung (Bypass) der WRG
- ein sauberes Feinfilter (min. F7) auf der Zuluftseite
- ein sauberes Mediumfilter (min. M5) auf der Abluftseite

EU 1253/2014 - SFP



Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Thermische Effizienz (WRG)

- Temperaturübertragungsgrad η_t

$$\eta_{t\ nrvu} = (t_2'' - t_2') / (t_1' - t_2')$$

η_t Temperaturübertragungsgrad der WRG [-]

t_2'' Temperatur der Zuluft nach der WRG [°C]

t_2' Außenlufttemperatur [°C]

t_1' Ablufttemperatur vor der WRG [°C]

Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Thermische Effizienz (WRG)

- Temperaturänderungsgrad η_t

Stufe 1 ab 2016

$\eta_{t\ nrvu}$ von allen WRG-Systeme min. **67%**

$\eta_{t\ nrvu}$ von Kreislaufverbundsystemen min. **63%**

Stufe 2 ab 2018

$\eta_{t\ nrvu}$ von allen WRG-Systeme min. **73%**

$\eta_{t\ nrvu}$ von Kreislaufverbundsystemen min. **68%**

Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Elektroenergieeffizienz

- SFP_{internal} (RLT) Effizienzbonus (E)

Stufe 1 ab 2016

$\eta_{t\ nrvu} > 67\%$ (alle WRG-Systeme)

$$E = (\eta_{t\ nrvu} - 0,67) \cdot 3000 \quad \text{sonst } E = 0$$

Stufe 2 ab 2018

$\eta_{t\ nrvu} > 73\%$ (alle WRG-Systeme)

$$E = (\eta_{t\ nrvu} - 0,73) \cdot 3000 \quad \text{sonst } E = 0$$

Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Elektroenergieeffizienz

- SFP_{internal} (RLT) Effizienzbonus (E)

Stufe 1 ab 2016

$\eta_{t\ nrvu} > 63\%$ (Kreislaufverbundsystem)

$$E = (\eta_{t\ nrvu} - 0,63) \cdot 3000 \quad \text{sonst } E = 0$$

Stufe 2 ab 2018

$\eta_{t\ nrvu} > 68\%$ (Kreislaufverbundsystem)

$$E = (\eta_{t\ nrvu} - 0,68) \cdot 3000 \quad \text{sonst } E = 0$$

Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Elektrische spezifische Leistung pro Ventilator

- SFP_{internal} (RLT - BVU)

Stufe 1 ab 2016

$$\frac{1.200 + E - 200 \cdot q_{\text{nom}} / 2 - F}{900 + E - F} \quad \begin{array}{l} q_{\text{nom}} < 2 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

Stufe 2 ab 2018

$$\frac{1.100 + E - 200 \cdot q_{\text{nom}} / 2 - F}{800 + E - F} \quad \begin{array}{l} q_{\text{nom}} < 2 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Elektrische spezifische Leistung pro Ventilator

- SFP_{internal} (RLT - BVU - Kreislaufverbundsystem)

Stufe 1 ab 2016

$$\begin{array}{ll} 1.700 + E - 200 \cdot q_{\text{nom}} / 2 - F & q_{\text{nom}} < 2 \text{ m}^3/\text{s} \\ 1.400 + E - F & q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

Stufe 2 ab 2018

$$\begin{array}{ll} 1.600 + E - 200 \cdot q_{\text{nom}} / 2 - F & q_{\text{nom}} < 2 \text{ m}^3/\text{s} \\ 1.300 + E - F & q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Elektrische spezifische Leistung pro Ventilator

- SFP_{internal} (RLT)

Stufe 1 ab 2016

F = 0 wenn Referenzkonfiguration erfüllt ist

F = 160 wenn der M5 Filter fehlt

F = 200 wenn der F7 Filter fehlt

F = 360 wenn beide Filter M5 und F7 fehlen

Stufe 2 ab 2018

F = 150 wenn der M5 Filter fehlt

F = 190 wenn der F7 Filter fehlt

F = 340 wenn beide Filter M5 und F7 fehlen

Optimierung im Einzelfall

Auslegungsbeispiel:

- Jahressimulation
- $\Phi = 0,745$

AL °C	RL °C	ETA %	WRG °C	ZL °C	dT °C	Q WRG kW	Q zus. kW	Q ext. kW	Status
-12,0	20,0	62,5	8,0	20,5	20,0	74,4	46,5	0,0	V
-11,0	20,0	64,5	9,0	20,5	20,0	74,4	42,8	0,0	V
-10,0	20,0	66,7	10,0	20,5	20,0	74,4	39,1	0,0	V
-9,0	20,0	69,0	11,0	20,5	20,0	74,4	35,3	0,0	V
-8,0	20,0	71,4	12,0	20,5	20,0	74,4	31,6	0,0	V
-7,0	20,0	74,1	13,0	20,5	20,0	74,4	27,9	0,0	V
-6,0	20,0	74,5	13,4	20,5	19,4	72,1	26,5	0,0	
-5,0	20,0	74,5	13,6	20,5	18,6	69,3	25,6	0,0	
-4,0	20,0	74,5	13,9	20,5	17,9	66,5	24,6	0,0	
-3,0	20,0	74,5	14,1	20,5	17,1	63,8	23,7	0,0	
-2,0	20,0	74,5	14,4	20,5	16,4	61,0	22,7	0,0	
-1,0	20,0	74,5	14,6	20,5	15,6	58,2	21,8	0,0	
0,0	20,0	74,5	14,9	20,5	14,9	55,4	20,8	0,0	
1,0	20,0	74,5	15,2	20,5	14,2	52,7	19,9	0,0	
2,0	20,0	74,5	15,4	20,5	13,4	49,9	18,9	0,0	
3,0	20,0	74,5	15,7	20,5	12,7	47,1	18,0	0,0	
4,0	20,0	74,5	15,9	20,5	11,9	44,4	17,0	0,0	
5,0	20,0	74,5	16,2	20,5	11,2	41,6	16,1	0,0	
6,0	20,0	74,5	16,4	20,5	10,4	38,8	15,1	0,0	
7,0	20,0	74,5	16,7	20,5	9,7	36,0	14,2	0,0	
8,0	20,0	74,5	16,9	20,5	8,9	33,3	13,2	0,0	
9,0	20,0	74,5	17,2	20,5	8,2	30,5	12,3	0,0	
10,0	20,0	74,5	17,5	20,5	7,5	27,7	11,3	0,0	
11,0	20,0	74,5	17,7	20,5	6,7	24,9	10,4	0,0	
12,0	20,0	74,5	18,0	20,5	6,0	22,2	9,5	0,0	
13,0	20,0	74,5	18,2	20,5	5,2	19,4	8,5	0,0	
14,0	20,0	74,5	18,5	20,5	4,5	16,6	7,6	0,0	
15,0	20,0	74,5	18,7	20,5	3,7	13,9	6,6	0,0	
16,0	20,0	74,5	19,0	20,5	3,0	11,1	5,7	0,0	
17,0	20,0	74,5	19,2	20,5	2,2	8,3	4,7	0,0	
18,0	20,0	74,5	19,5	20,5	1,5	5,5	3,8	0,0	
19,0	20,0	74,5	19,7	20,5	0,7	2,8	2,8	0,0	
20,0	20,0	74,5	20,0	20,5	0,0	0,0	1,9	0,0	
21,0	21,0	0,0	21,0	21,0	0,0	0,0	-3,7	0,0	AUS
22,0	22,0	0,0	22,0	22,0	0,0	0,0	-7,4	0,0	AUS
23,0	23,0	0,0	23,0	23,0	0,0	0,0	-11,2	0,0	AUS
24,0	24,0	0,0	24,0	24,0	0,0	0,0	-14,9	0,0	AUS
25,0	25,0	0,0	25,0	25,0	0,0	0,0	-18,6	0,0	AUS
26,0	26,0	0,0	26,0	26,0	0,0	0,0	-22,3	0,0	AUS
27,0	26,0	74,5	26,3	20,0	-0,7	-2,8	-23,3	0,0	
28,0	26,0	74,5	26,5	20,0	-1,5	-5,5	-24,2	0,0	
29,0	26,0	74,5	26,8	20,0	-2,2	-8,3	-25,2	0,0	
30,0	26,0	74,5	27,0	20,0	-3,0	-11,1	-26,1	0,0	
31,0	26,0	74,5	27,3	20,0	-3,7	-13,9	-27,1	0,0	
32,0	26,0	74,5	27,5	20,0	-4,5	-16,6	-28,0	0,0	

V = Eisschutz / E = Nachheizen / K = Nachkühlen / S = Stufe(n) / F = frei Kälte / B = Brauchwasser
 L = Leistungsanpassung / AL = Aussenlufttemp. / RL = Raumlufftemp. (nach Bef.) / ZL = Zulufttemp.
 Simulation unter konstanten Bedingungen nur trocken !

Optimierung im Einzelfall

Auslegungsbeispiel:

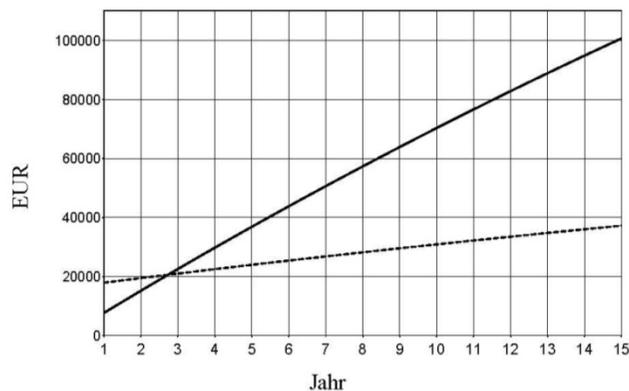
- Basis VDI 4710
- Frankfurt

AL	Q WRG	Stunden	Stunden	Wärme	Kälte	Wärme	Kälte	Freie	Brauch-	Wasser
°C	kW	Tag	Nacht	Gesamt	Gesamt	WRG	WRG	Kälte	wasser	m³
		h/°C	h/°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
< -11,0	74,4	2	1	250		154				
-11,0	74,4	3	1	452		287				
-10,0	74,4	5	1	665		436				
-9,0	74,4	7	2	839		569				
-8,0	74,4	9	2	1.015		712				
-7,0	74,4	11	3	1.271		925				
-6,0	72,1	16	3	1.754		1.282				
-5,0	69,3	21	4	2.135		1.559				
-4,0	66,5	27	5	2.749		2.005				
-3,0	63,8	35	8	3.402		2.484				
-2,0	61,0	49	10	4.526		3.298				
-1,0	58,2	62	14	5.480		3.987				
0,0	55,4	178	38	15.064		10.938				
1,0	52,7	130	26	10.392		7.544				
2,0	49,9	135	28	10.236		7.424				
3,0	47,1	141	27	10.030		7.257				
4,0	44,4	141	28	9.543		6.901				
5,0	41,6	144	28	9.121		6.576				
6,0	38,8	142	28	8.432		6.058				
7,0	36,0	141	29	7.828		5.613				
8,0	33,3	146	29	7.457		5.340				
9,0	30,5	135	28	6.359		4.531				
10,0	27,7	129	30	5.653		4.005				
11,0	24,9	131	30	5.166		3.644				
12,0	22,2	134	32	4.729		3.322				
13,0	19,4	143	32	4.438		3.086				
14,0	16,6	148	32	3.976		2.727				
15,0	13,9	160	28	3.570		2.421				
16,0	11,1	153	26	2.776		1.845				
17,0	8,3	151	20	2.093		1.336				
18,0	5,5	148	17	1.456		861				
19,0	2,8	132	11	770		385				
20,0	0,0	118	8	232						
21,0	0,0	105	5		397					
22,0	0,0	91	4		687					
23,0	0,0	76	3		870					
24,0	0,0	64	2		971					
25,0	0,0	52	1		984					
26,0	0,0	39	1		889					
27,0	-2,8	31	1		810		87			
28,0	-5,5	21			643		119			
29,0	-8,3	17			579		143			
30,0	-11,1	13			481		144			
31,0	-13,9	8			316		107			
> 31,0	-16,6	4			192		71			
Gesamt DIN 4710		3.760	626	154.342	8.103	109.793	786			
Jahr										

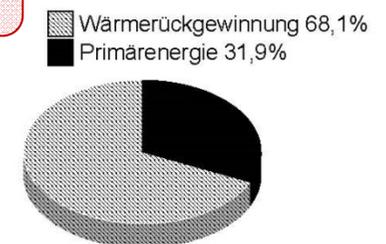
Optimierung im Einzelfall

1. Fall:

- 6 d/w
- 14 h/d



Energiekosten Wärme	0,07 € / kWh
Energiekosten Kälte	0,15 € / kWh
Energiekosten Elektro	0,15 € / kWh
Wasserkosten (inkl. Abwasser)	6,00 € / m ³
Kalkulationszinsfuß	5,00 %
Preissteigerungsrate	3,00 %
Klimazone	Frankfurt am Main (Stadt)
Nutzungsdauer der Anlage	15 a
Betriebstage pro Woche	6 d / w
Betriebsstunden pro Tag	12 h / d
Betriebsstunden pro Nacht	2 h / d
Volumenstrom am Tag	100 % / V max
Volumenstrom in der Nacht	50 % / V max
Investitionskosten der WRG	16.388 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG	0 €
Min.investition fuer Wärmeerzeugung	0 € / (0 € / kW)
Min.investition fuer Kälteerzeugung	0 € / (0 € / kW)
Zusatzkosten je Jahr	0 €
Rückgewinn der WRG Wärme	7.686 € / a
Rückgewinn der WRG Kälte	118 € / a
Elektroenergiekosten für die WRG	1.324 € / a
Kapitalkosten für die WRG	1.579 € / a
Wartungs- und Unterhaltungskosten	328 € / a
Jährliche Differenzkosten	4.573 € / a
Kapitalwert der Ersparnisse	62.998 €
Interner Zinssatz	41,4 %
Amortisation	2,7 a
Jahresnutzungsgrad (bezogen auf Energien)	68,1 %
Jahresarbeitszahl nach EN 13053	12,5
Leistungszahl nach EN 13053	23,3
Effektiver Jahreswirkungsgrad EN 13053	71,3 %
Jährliche CO2 Einsparung	36,0 t / a



Optimierung im Einzelfall

1. Fall:

- Optimum 0,68

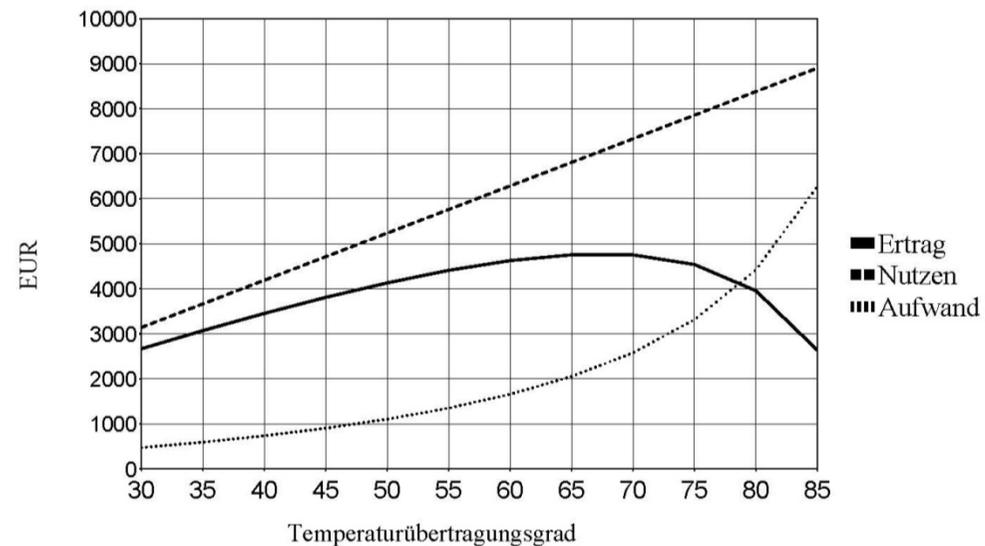
WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG

Rückwärmzahl	Nutzen	Aufwand	Ertrag
30,0 %	3142,3 €	473,9 €	2668,4 €
35,0 %	3666,0 €	595,5 €	3070,6 €
40,0 %	4189,8 €	737,2 €	3452,5 €
45,0 %	4713,5 €	904,8 €	3808,7 €
50,0 %	5237,2 €	1105,9 €	4131,3 €
55,0 %	5760,9 €	1351,6 €	4409,3 €
60,0 %	6284,6 €	1658,8 €	4625,8 €
65,0 %	6808,3 €	2053,8 €	4754,6 €
68,0 %	7122,6 €	2350,0 €	4772,6 €
70,0 %	7332,1 €	2580,4 €	4751,7 €
75,0 %	7855,8 €	3317,6 €	4538,2 €
80,0 %	8379,5 €	4423,5 €	3956,0 €
85,0 %	8903,2 €	6266,6 €	2636,6 €

Kosten (Nutzen, Aufwand und Ertrag der WRG) pro Jahr

Optimale Rückwärmzahl der WRG 68 % (64 - 71 %)

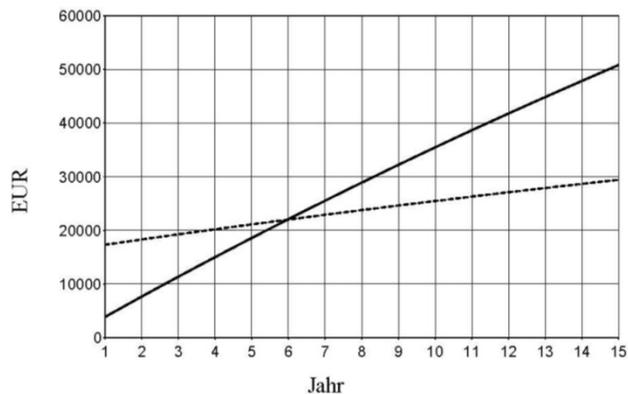
Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband $\pm 1\%$ der Kosten)



Optimierung im Einzelfall

2. Fall:

- 5 d/w
- 8 h/d



Energiekosten Wärme	0,07 € / kWh
Energiekosten Kälte	0,15 € / kWh
Energiekosten Elektro	0,15 € / kWh
Wasserkosten (inkl. Abwasser)	6,00 € / m ³
Kalkulationszinsfuß	5,00 %
Preissteigerungsrate	3,00 %
Klimazone	Frankfurt am Main (Stadt)
Nutzungsdauer der Anlage	15 a
Betriebstage pro Woche	5 d / w
Betriebsstunden pro Tag	8 h / d
Betriebsstunden pro Nacht	0 h / d
Volumenstrom am Tag	100 % / V max
Volumenstrom in der Nacht	50 % / V max
Investitionskosten der WRG	16.388 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG	0 €
Min.investition fuer Wärmeerzeugung	0 € / (0 € / kW)
Min.investition fuer Kälteerzeugung	0 € / (0 € / kW)
Zusatzkosten je Jahr	0 €
Rückgewinn der WRG Wärme	3.871 € / a
Rückgewinn der WRG Kälte	65 € / a
Elektroenergiekosten für die WRG	721 € / a
Kapitalkosten für die WRG	1.579 € / a
Wartungs- und Unterhaltungskosten	328 € / a
Jährliche Differenzkosten	1.309 € / a
Kapitalwert der Ersparnisse	20.883 €
Interner Zinssatz	19,1 %
Amortisation	6,0 a
Jahresnutzungsgrad (bezogen auf Energien)	67,8 %
Jahresarbeitszahl nach EN 13053	11,6
Leistungszahl nach EN 13053	23,3
Effektiver Jahreswirkungsgrad EN 13053	71,3 %
Jährliche CO2 Einsparung	18,0 t / a



Optimierung im Einzelfall

2. Fall:

- Optimum 0,59

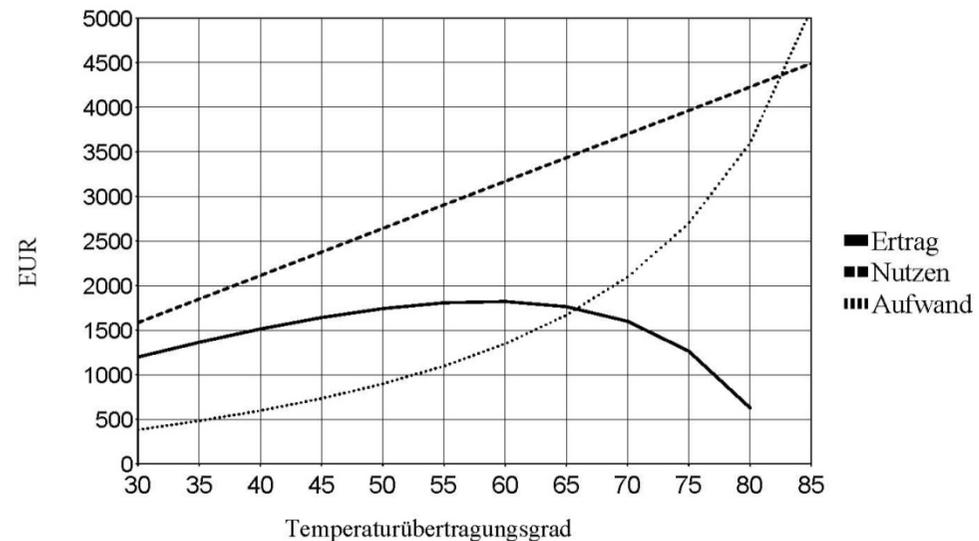
WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG

Rückwärmzahl	Nutzen	Aufwand	Ertrag
30,0 %	1585,1 €	385,4 €	1199,7 €
35,0 %	1849,3 €	484,2 €	1365,1 €
40,0 %	2113,5 €	599,5 €	1514,0 €
45,0 %	2377,7 €	735,8 €	1641,9 €
50,0 %	2641,9 €	899,3 €	1742,6 €
55,0 %	2906,1 €	1099,1 €	1807,0 €
59,0 %	3117,4 €	1294,1 €	1823,4 €
60,0 %	3170,3 €	1348,9 €	1821,4 €
65,0 %	3434,5 €	1670,1 €	1764,4 €
70,0 %	3698,7 €	2098,3 €	1600,4 €
75,0 %	3962,9 €	2697,8 €	1265,0 €
80,0 %	4227,0 €	3597,1 €	630,0 €
85,0 %	4491,2 €	5095,9 €	-604,6 €

Kosten (Nutzen, Aufwand und Ertrag der WRG) pro Jahr

Optimale Rückwärmzahl der WRG 59 % (55 - 62 %)

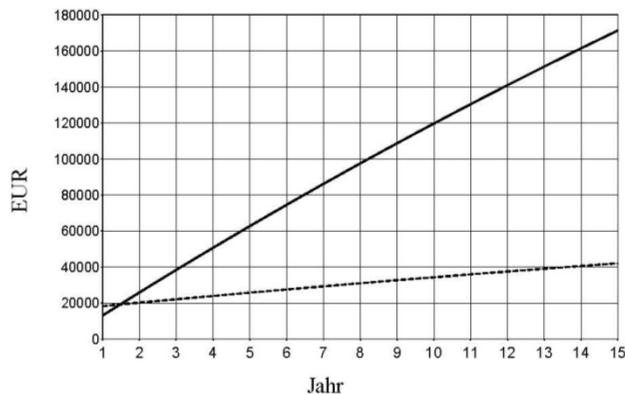
Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband $\pm 1\%$ der Kosten)



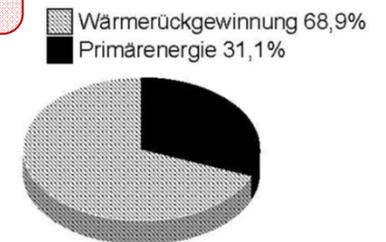
Optimierung im Einzelfall

3. Fall:

- 7 d/w
- 24 h/d



Energiekosten Wärme	0,07 € / kWh
Energiekosten Kälte	0,15 € / kWh
Energiekosten Elektro	0,15 € / kWh
Wasserkosten (inkl. Abwasser)	6,00 € / m ³
Kalkulationszinsfuß	5,00 %
Preissteigerungsrate	3,00 %
Klimazone	Frankfurt am Main (Stadt)
Nutzungsdauer der Anlage	15 a
Betriebstage pro Woche	7 d / w
Betriebsstunden pro Tag	12 h / d
Betriebsstunden pro Nacht	12 h / d
Volumenstrom am Tag	100 % / V max
Volumenstrom in der Nacht	50 % / V max
Investitionskosten der WRG	16.388 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG	0 €
Min.investition fuer Wärmeerzeugung	0 € / (0 € / kW)
Min.investition fuer Kälteerzeugung	0 € / (0 € / kW)
Zusatzkosten je Jahr	0 €
Rückgewinn der WRG Wärme	13.144 € / a
Rückgewinn der WRG Kälte	142 € / a
Elektroenergiekosten für die WRG	1.703 € / a
Kapitalkosten für die WRG	1.579 € / a
Wartungs- und Unterhaltungskosten	328 € / a
Jährliche Differenzkosten	9.677 € / a
Kapitalwert der Ersparnisse	128.874 €
Interner Zinssatz	73,8 %
Amortisation	1,5 a
Jahresnutzungsgrad (bezogen auf Energien)	68,9 %
Jahresarbeitszahl nach EN 13053	16,6
Leistungszahl nach EN 13053	23,3
Effektiver Jahreswirkungsgrad EN 13053	71,3 %
Jährliche CO2 Einsparung	62,0 t / a



Optimierung im Einzelfall

3. Fall:

- Optimum 0,74

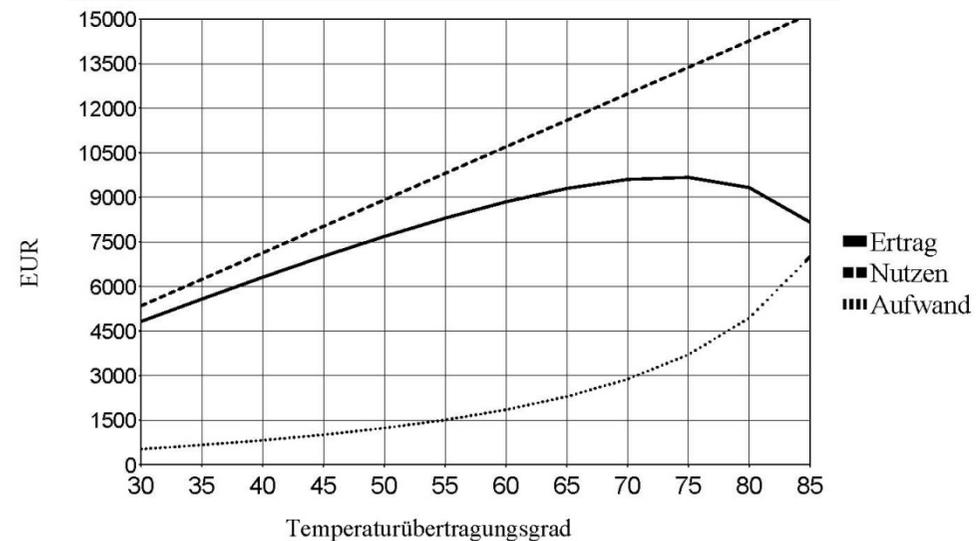
WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG

Rückwärmzahl	Nutzen	Aufwand	Ertrag
30,0 %	5350,1 €	529,4 €	4820,7 €
35,0 %	6241,8 €	665,2 €	5576,6 €
40,0 %	7133,5 €	823,6 €	6309,9 €
45,0 %	8025,2 €	1010,7 €	7014,5 €
50,0 %	8916,9 €	1235,4 €	7681,5 €
55,0 %	9808,6 €	1509,9 €	8298,7 €
60,0 %	10700,3 €	1853,0 €	8847,2 €
65,0 %	11592,0 €	2294,2 €	9297,7 €
70,0 %	12483,6 €	2882,5 €	9601,2 €
74,0 %	13197,0 €	3516,0 €	9681,0 €
75,0 %	13375,3 €	3706,1 €	9669,3 €
80,0 %	14267,0 €	4941,4 €	9325,6 €
85,0 %	15158,7 €	7000,4 €	8158,4 €

Kosten (Nutzen, Aufwand und Ertrag der WRG) pro Jahr

Optimale Rückwärmzahl der WRG 74 % (70 - 77 %)

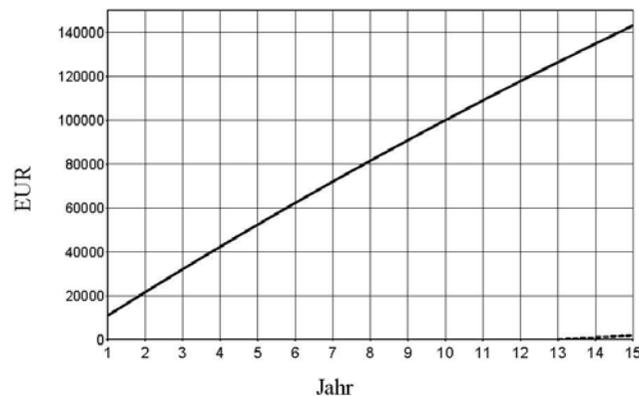
Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband $\pm 1\%$ der Kosten)



Optimierung im Einzelfall

4. Fall:

- 7 d/w
- 24 h/d
- Minderung Wärme- und Kälteerzeugung



Energiekosten Wärme	0,10 € / kWh
Energiekosten Kälte	0,15 € / kWh
Energiekosten Elektro	0,15 € / kWh
Wasserkosten (inkl. Abwasser)	6,00 € / m ³
Kalkulationszinsfuß	5,00 %
Preissteigerungsrate	3,00 %
Klimazone	Frankfurt am Main (Stadt)
Nutzungsdauer der Anlage	15 a
Betriebstage pro Woche	6 d / w
Betriebsstunden pro Tag	12 h / d
Betriebsstunden pro Nacht	2 h / d
Volumenstrom am Tag	100 % / V max
Volumenstrom in der Nacht	50 % / V max
Investitionskosten der WRG	16.388 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG	0 €
Min.investition fuer Wärmeerzeugung	-21.427 € / (288 € / kW)
Min.investition fuer Kälteerzeugung	-7.353 € / (379 € / kW)
Zusatzkosten je Jahr	0 €
Rückgewinn der WRG Wärme	10.979 € / a
Rückgewinn der WRG Kälte	118 € / a
Elektroenergiekosten für die WRG	1.324 € / a
Kapitalkosten für die WRG	-1.194 € / a
Wartungs- und Unterhaltungskosten	-248 € / a
Jährliche Differenzkosten	11.215 € / a
Kapitalwert der Ersparnisse	141.713 €
Interner Zinssatz	1,0 %
Amortisation	< 1,0 a
Jahresnutzungsgrad (bezogen auf Energien)	68,1 %
Jahresarbeitszahl nach EN 13053	12,5
Leistungszahl nach EN 13053	23,3
Effektiver Jahreswirkungsgrad EN 13053	71,3 %
Jährliche CO2 Einsparung	36,0 t / a



Optimierung im Einzelfall

4. Fall:

- Optimum 0,78

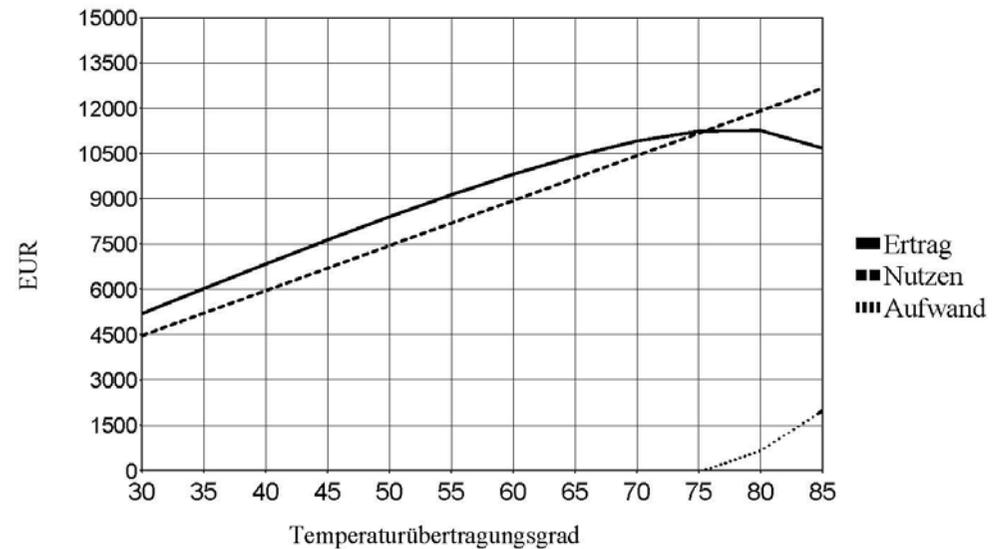
WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG

Rückwärmzahl	Nutzen	Aufwand	Ertrag
30,0 %	4468,7 €	-727,0 €	5195,7 €
35,0 %	5213,4 €	-813,2 €	6026,6 €
40,0 %	5958,2 €	-882,8 €	6841,0 €
45,0 %	6703,0 €	-931,1 €	7634,1 €
50,0 %	7447,8 €	-952,0 €	8399,8 €
55,0 %	8192,6 €	-936,1 €	9128,6 €
60,0 %	8937,3 €	-869,7 €	9807,0 €
65,0 %	9682,1 €	-731,2 €	10413,3 €
70,0 %	10426,9 €	-484,5 €	10911,4 €
75,0 %	11171,7 €	-64,7 €	11236,3 €
78,0 %	11618,5 €	319,4 €	11299,1 €
80,0 %	11916,5 €	658,1 €	11258,3 €
85,0 %	12661,2 €	1986,8 €	10674,4 €

Kosten (Nutzen, Aufwand und Ertrag der WRG) pro Jahr

Optimale Rückwärmzahl der WRG 78 % (74 - 81 %)

Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband $\pm 1\%$ der Kosten)

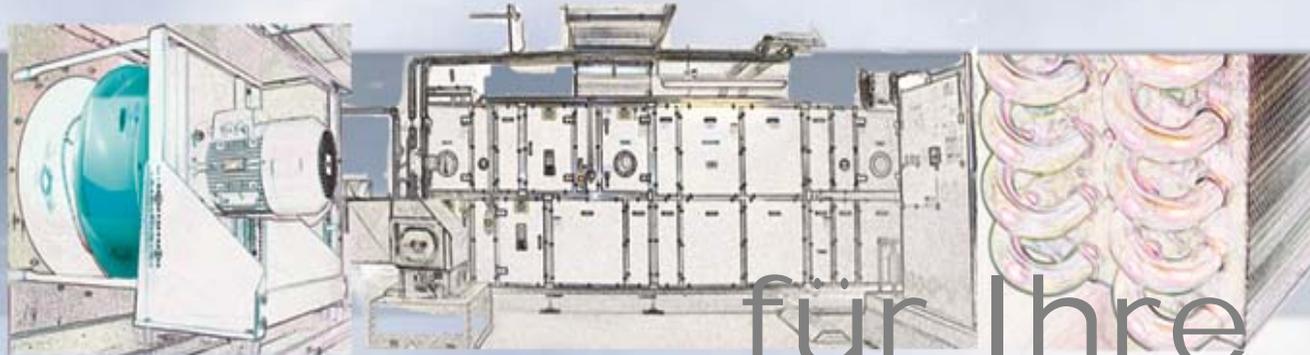


Conclusio

Ergebnis

- WRG ist volkswirtschaftlich bedeutend und sinnvoll.
- WRG macht betriebswirtschaftlich Sinn.
- WRG soll im Anwendungsfall optimiert werden!
- Betriebswirtschaftliches Optimum abhängig von:
 - ✓ Kosten für Investition und Betrieb,
 - Wartungs- und Unterhaltungskosten,
 - Elektrobedarf durch WRG,
 - Kapital- und sonstige Betriebskosten,
 - ✓ Nutzen (Wärme- und Kälteertrag, sowie mehrfachfunktionale Nutzung).
- WRG soll beide Optima erfüllen!

Herzlichen Dank



für Ihre
Aufmerksamkeit

**Bedeutung der Wärmerückgewinnung aus
NWG im Kontext der volkswirtschaftlichen
und betriebswirtschaftlichen Potenziale im
Einzelfall**

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



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld
Umwelt macht Karriere.