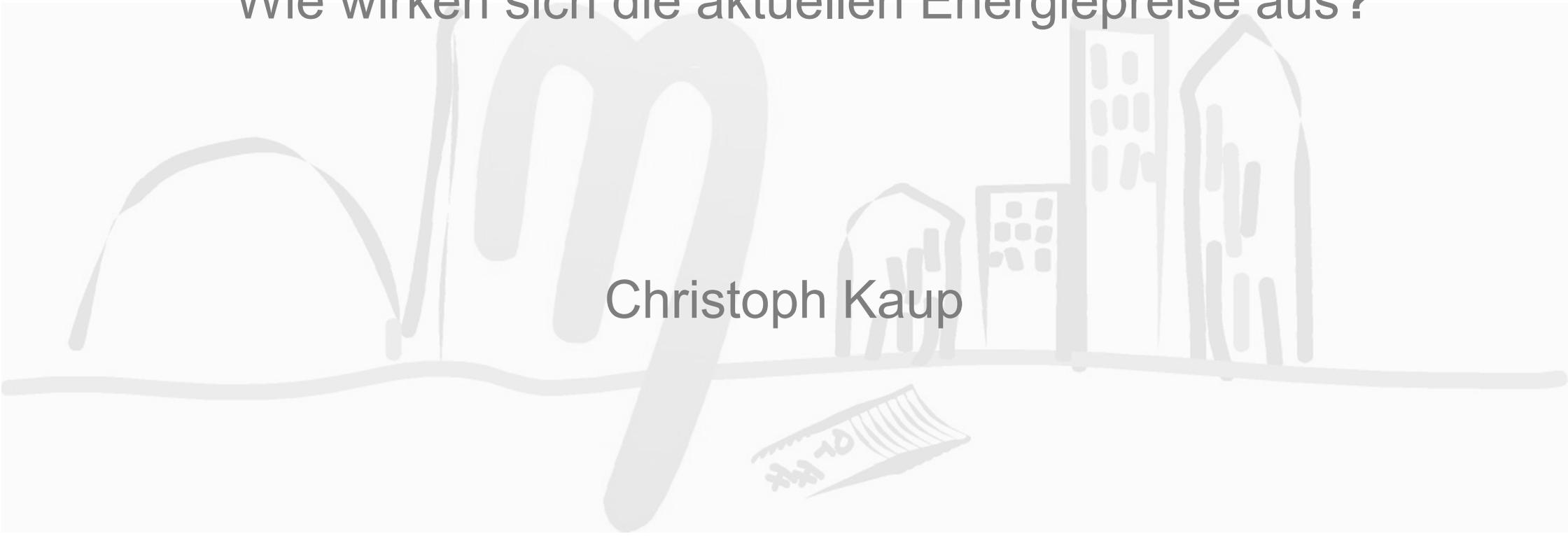


Ökonomie versus Ökologie

welche Kriterien beeinflussen die WRG wirklich?
Wie wirken sich die aktuellen Energiepreise aus?

Christoph Kaup

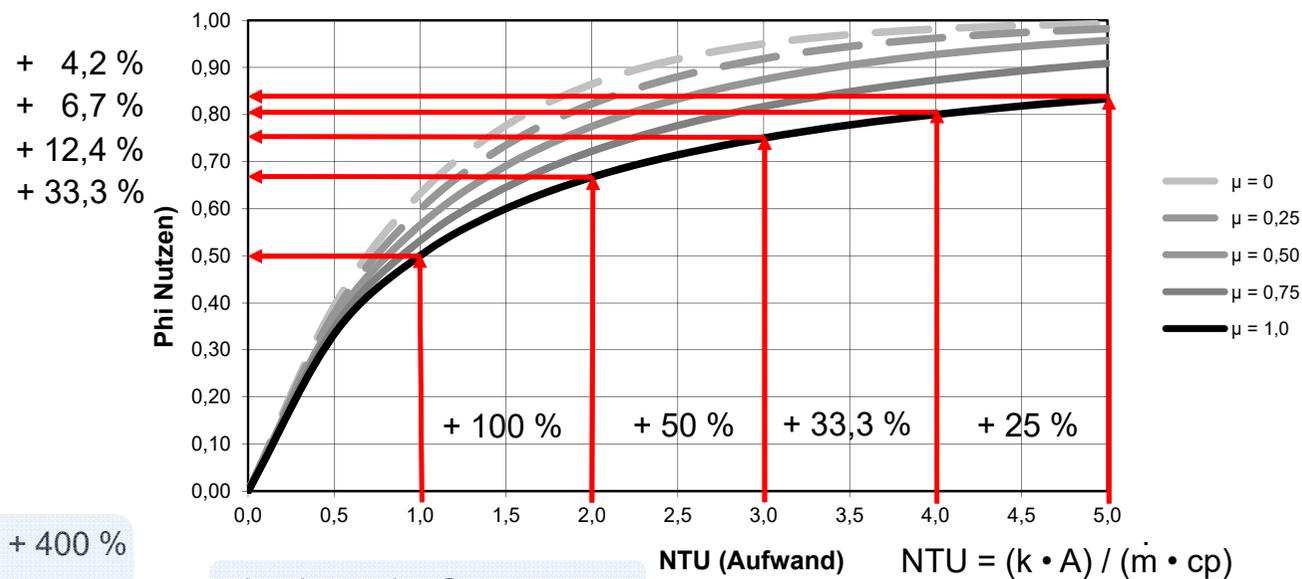


Übertragungsgrad im Gegenstrom

$$\Phi_i = (1 - e^{-(\mu_i - 1) \cdot NTU_i}) / (1 - \mu_i \cdot e^{-(\mu_i - 1) \cdot NTU_i}) \quad \text{at} \quad \mu < 1$$

$$\Phi = NTU / (NTU + 1) \quad \text{at} \quad \mu = 1$$

Gegenstrom



NTU + 400 %
Phi + 67 %

abnehmender Grenznutzen

HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on money / HRS faced aerea const.)

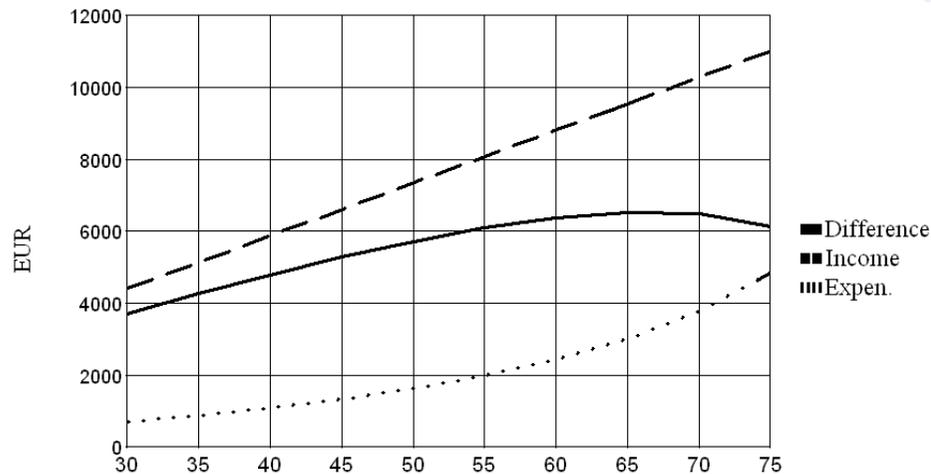
Efficiency	Depth HRS	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
30,0 %	20,2 %	4412,6 €	698,1 €	3714,5 €
35,0 %	25,3 %	5148,0 €	877,1 €	4270,9 €
40,0 %	31,4 %	5883,5 €	1086,0 €	4797,5 €
45,0 %	38,5 %	6618,9 €	1332,8 €	5286,1 €
50,0 %	47,1 %	7354,3 €	1629,0 €	5725,4 €
55,0 %	57,5 %	8089,8 €	1990,9 €	6098,8 €
60,0 %	70,6 %	8825,2 €	2443,4 €	6381,8 €
65,0 %	87,4 %	9560,6 €	3025,2 €	6535,4 €
67,0 %	95,5 %	9854,8 €	3307,3 €	6547,5 €
70,0 %	109,8 %	10296,1 €	3800,9 €	6495,2 €
75,0 %	141,2 %	11031,5 €	4886,9 €	6144,6 €

Costs of heat recovery calculated per year

selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m /s - 68,0 %

optimized efficiency of HRC **67 % (63 - 70 %)**

Calculation based on economic calculation (toleranc ± 1% costs)



1D Optimum

Φ %	benefit €/a	expenditure €/a	difference €/a
75,00	11.031,50	4.886,90	6.144,60
80,00	11.766,93	6.515,87	5.251,07
85,00	12.502,37	9.230,81	3.271,56
88,93	13.079,70	13.079,70	0,00
90,00	13.237,80	14.660,70	-1.422,90
95,00	13.973,23	30.950,37	-16.977,13
100,00	14.708,67	infinitely	- infinitely

HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on money / HRS debth const.)

Efficiency	square area (base 2 m/s)	w in m/s	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
55,7 %	62,3 %	3,21 m/s	8191,0 €	6391,3 €	1799,8 €
59,2 %	71,9 %	2,78 m/s	8710,3 €	4913,7 €	3796,7 €
62,6 %	83,1 %	2,41 m/s	9213,8 €	4025,5 €	5188,3 €
66,0 %	96,2 %	2,08 m/s	9707,6 €	3565,8 €	6141,8 €
69,3 %	112,0 %	1,79 m/s	10198,2 €	3459,7 €	6738,4 €
72,7 %	131,9 %	1,52 m/s	10693,1 €	3705,0 €	6988,1 €
73,4 %	136,6 %	1,46 m/s	10793,5 €	3801,9 €	6991,5 €
76,2 %	158,3 %	1,26 m/s	11202,7 €	4394,0 €	6808,7 €
79,8 %	196,1 %	1,02 m/s	11742,4 €	5821,2 €	5921,2 €
83,9 %	258,2 %	0,77 m/s	12341,2 €	8944,2 €	3396,9 €

2D Optimum

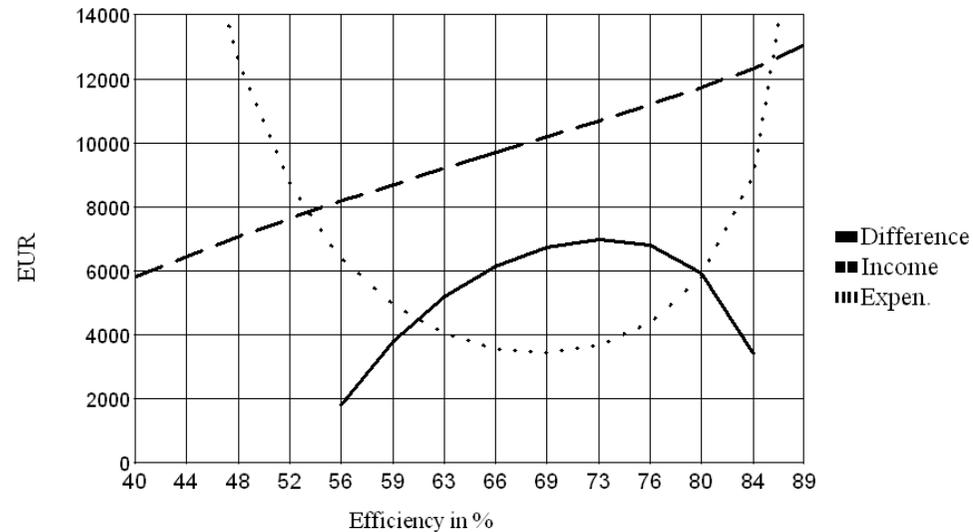
Area in % of the selcted Area. Costs of heat recovery calculated per year. Exponent for dP calc. 1,6

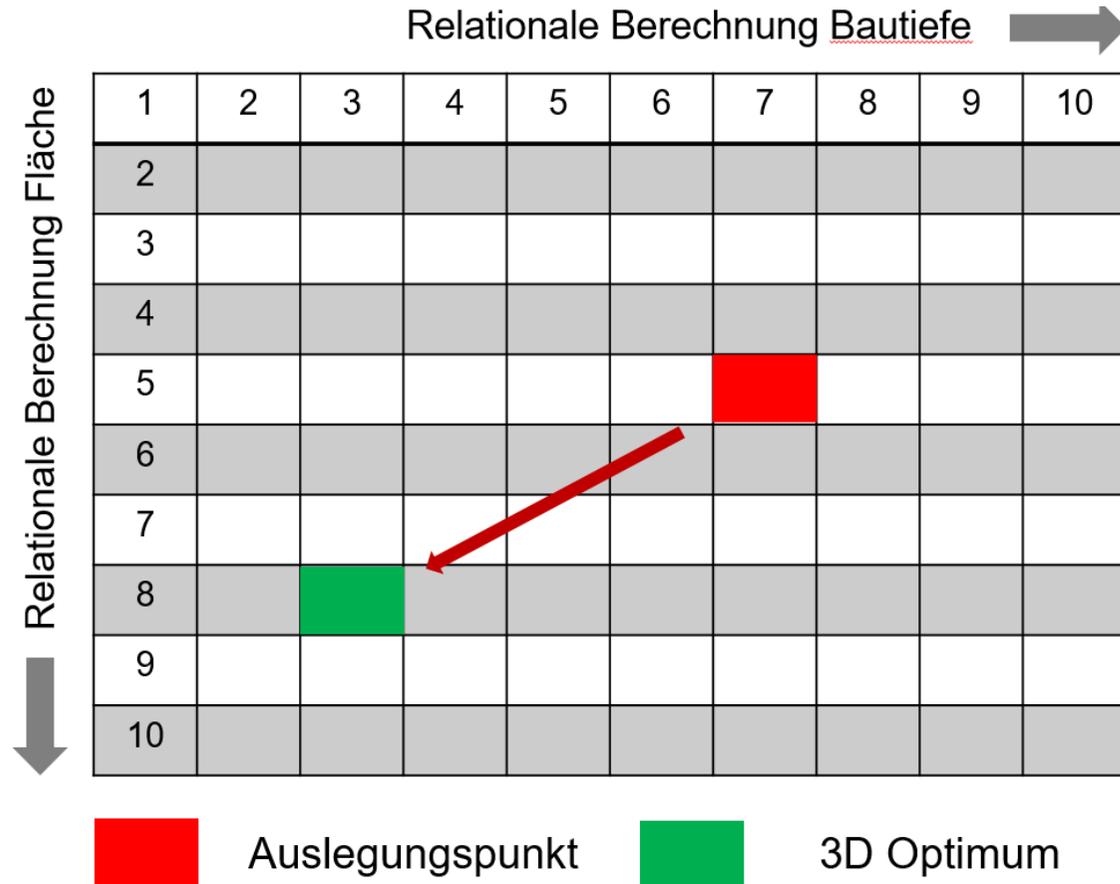
selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m /s - 68,0 %

optimized efficiency of HRC

73,4 % (71,3 - 74,8 %)

Calculation based on economic calculation (toleranc ± 1% costs)





HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on money / multidimensional)

Efficiency	square area (base 2 m/s)	w in m/s	Depth HRS	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
28,6 %	53,7 %	3,73 m/s	28,2 %	4202,5 €	3232,0 €	970,4 €
41,2 %	62,3 %	3,21 m/s	45,1 %	6056,5 €	3559,9 €	2496,6 €
52,4 %	71,9 %	2,78 m/s	65,0 %	7704,5 €	3722,1 €	3982,4 €
60,0 %	83,1 %	2,41 m/s	81,4 %	8825,2 €	3601,0 €	5224,1 €
64,3 %	96,2 %	2,08 m/s	89,4 %	9455,6 €	3306,5 €	6149,0 €
67,7 %	112,0 %	1,79 m/s	95,2 %	9963,9 €	3213,4 €	6750,5 €
69,7 %	131,9 %	1,52 m/s	94,5 %	10251,5 €	3200,0 €	7051,5 €
69,7 %	146,7 %	1,36 m/s	88,7 %	10251,5 €	3147,2 €	7104,2 €
69,7 %	158,3 %	1,26 m/s	84,7 %	10251,5 €	3162,8 €	7088,7 €
68,8 %	196,1 %	1,02 m/s	71,3 %	10112,2 €	3235,1 €	6877,1 €
65,5 %	258,2 %	0,77 m/s	52,2 %	9636,7 €	3260,1 €	6376,6 €

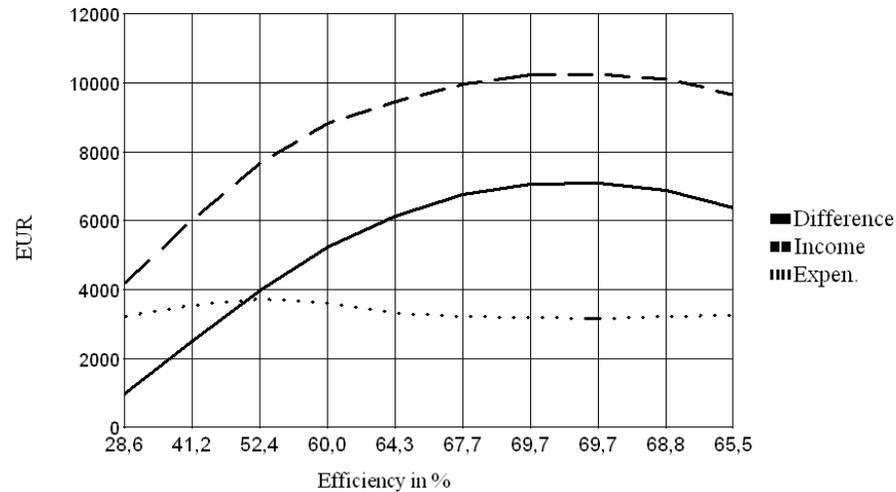
3D Optimum

Area in % of the selcted Area. Costs of heat recovery calculated per year. Exponent for dP calc. 1,6

selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m /s - 68,0 %

max usefull efficiency of HRC 69,7 %

Calculation based on economic calculation (toleranc aprox. 2% of max. benefit)



**Beispiel Schule
 (Klassenraum)
 mit 1.200 m³/h
 LW = 5 (240 m³)
 40 m³/h/Person
 bei 30 Personen**

AL	RL	ETA	WRG	ZL	dT	Q WRG	Q zus.	Q ext.	Status
°C	°C	%	°C	°C	°C	kW	kW	kW	
-14,5	20,0	58,0	5,5	20,5	20,0	8,3	6,2	0,0	V
-13,5	20,0	59,7	6,5	20,5	20,0	8,3	5,8	0,0	V
-12,5	20,0	61,5	7,5	20,5	20,0	8,3	5,4	0,0	V
-11,5	20,0	63,5	8,5	20,5	20,0	8,3	5,0	0,0	V
-10,5	20,0	65,6	9,5	20,5	20,0	8,3	4,5	0,0	V
-9,5	20,0	67,8	10,5	20,5	20,0	8,3	4,1	0,0	V
-8,5	20,0	70,2	11,5	20,5	20,0	8,3	3,7	0,0	V
-7,5	20,0	72,7	12,5	20,5	20,0	8,3	3,3	0,0	V
-6,5	20,0	75,5	13,5	20,5	20,0	8,3	2,9	0,0	V
-5,5	20,0	78,4	14,5	20,5	20,0	8,3	2,5	0,0	V
-4,5	20,0	78,6	14,8	20,5	19,3	8,0	2,4	0,0	V
-3,5	20,0	78,6	15,0	20,5	18,5	7,6	2,3	0,0	V
-2,5	20,0	78,6	15,2	20,5	17,7	7,3	2,2	0,0	V
-1,5	20,0	78,6	15,4	20,5	16,9	7,0	2,1	0,0	V
-0,5	20,0	78,6	15,6	20,5	16,1	6,7	2,0	0,0	V
0,5	20,0	78,6	15,8	20,5	15,3	6,3	1,9	0,0	V
1,5	20,0	78,6	16,0	20,5	14,5	6,0	1,8	0,0	V
2,5	20,0	78,6	16,3	20,5	13,8	5,7	1,8	0,0	V
3,5	20,0	78,6	16,5	20,5	13,0	5,4	1,7	0,0	V
4,5	20,0	78,6	16,7	20,5	12,2	5,0	1,6	0,0	V
5,5	20,0	78,6	16,9	20,5	11,4	4,7	1,5	0,0	V
6,5	20,0	78,6	17,1	20,5	10,6	4,4	1,4	0,0	V
7,5	20,0	78,6	17,3	20,5	9,8	4,1	1,3	0,0	V
8,5	20,0	78,6	17,5	20,5	9,0	3,7	1,2	0,0	V
9,5	20,0	78,6	17,8	20,5	8,3	3,4	1,1	0,0	V
10,5	20,0	78,6	18,0	20,5	7,5	3,1	1,0	0,0	V
11,5	20,0	78,6	18,2	20,5	6,7	2,8	1,0	0,0	V
12,5	20,0	78,6	18,4	20,5	5,9	2,4	0,9	0,0	V
13,5	20,0	78,6	18,6	20,5	5,1	2,1	0,8	0,0	V
14,5	20,0	78,6	18,8	20,5	4,3	1,8	0,7	0,0	V
15,5	20,0	78,6	19,0	20,5	3,5	1,5	0,6	0,0	V
16,5	20,0	78,6	19,3	20,5	2,8	1,1	0,5	0,0	V
17,5	20,0	78,6	19,5	20,5	2,0	0,8	0,4	0,0	V
18,5	20,0	78,6	19,7	20,5	1,2	0,5	0,3	0,0	V
19,5	20,0	78,6	19,9	20,5	0,4	0,2	0,3	0,0	V
20,5	20,5	0,0	20,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	AUS
21,5	21,5	0,0	21,5	21,5	0,0	0,0	-0,6	0,0	AUS
22,5	22,5	0,0	22,5	22,5	0,0	0,0	-1,0	0,0	AUS
23,5	23,5	0,0	23,5	23,5	0,0	0,0	-1,4	0,0	AUS
24,5	24,5	0,0	24,5	24,5	0,0	0,0	-1,9	0,0	AUS
25,5	25,5	0,0	25,5	25,5	0,0	0,0	-2,3	0,0	AUS
26,5	26,0	78,6	26,1	20,0	-0,4	-0,2	-2,5	0,0	V
27,5	26,0	78,6	26,3	20,0	-1,2	-0,5	-2,6	0,0	V
28,5	26,0	78,6	26,5	20,0	-2,0	-0,8	-2,7	0,0	V
29,5	26,0	78,6	26,7	20,0	-2,8	-1,1	-2,8	0,0	V

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

Standort Kassel
Stundenverteilung
nach DIN 4710
5 Tage pro Woche
7 Stunden pro Tag

Primärenergie

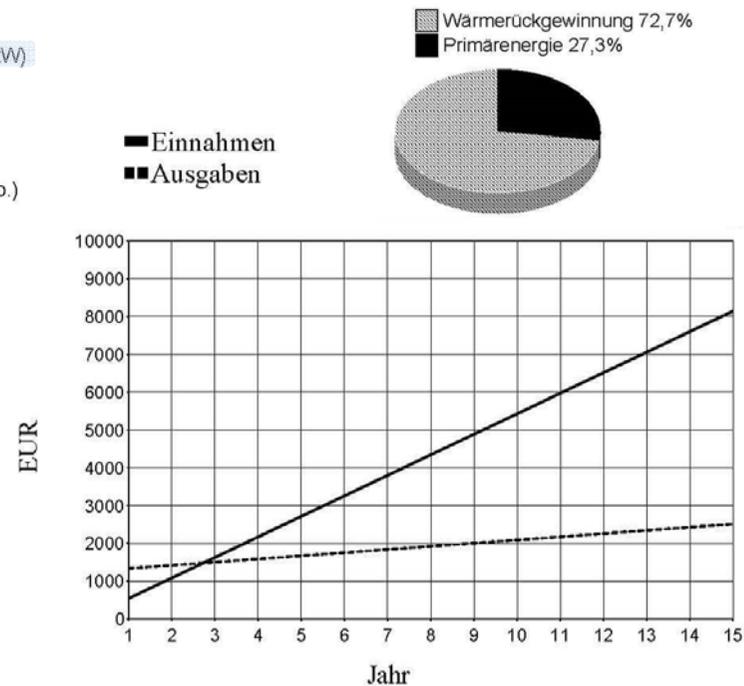
6.222 kWh · 1,1
- 245 kWh · 1,8

= 6.403 kWh/a

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	
< -13,5	8,3	3		39		22				
-13,5	8,3	1		15		9				
-12,5	8,3	2		27		16				
-11,5	8,3	3		36		22				
-10,5	8,3	3		43		28				
-9,5	8,3	5		65		44				
-8,5	8,3	6		73		50				
-7,5	8,3	8		87		62				
-6,5	8,3	10		107		79				
-5,5	8,3	13		134		104				
-4,5	8,0	17		175		136				
-3,5	7,6	22		216		166				
-2,5	7,3	27		260		200				
-1,5	7,0	37		333		256				
-0,5	6,7	42		363		280				
0,5	6,3	64		532		404				
1,5	6,0	72		566		430				
2,5	5,7	76		562		433				
3,5	5,4	78		547		422				
4,5	5,0	77		510		386				
5,5	4,7	75		468		354				
6,5	4,4	77		448		340				
7,5	4,1	75		404		307				
8,5	3,7	72		359		266				
9,5	3,4	69		311		235				
10,5	3,1	73		297		225				
11,5	2,8	73		268		203				
12,5	2,4	76		252		183				
13,5	2,1	79		229		166				
14,5	1,8	75		187		135				
15,5	1,5	72		151		108				
16,5	1,1	71		121		78				
17,5	0,8	63		75		50				
18,5	0,5	57		45		28				
19,5	0,2	47		19		9				
20,5	0,0	41								
21,5	0,0	36			21					
22,5	0,0	30			30					
23,5	0,0	24			34					
24,5	0,0	20			38					
25,5	0,0	18			41					
26,5	-0,2	13			36		3			
27,5	-0,5	8			26		4			
28,5	-0,8	7			24		5			
> 28,5	-1,1	11			44		12			
Gesamt DIN 4710		1.826		8.308	287	6.222	23			
Jahr 7-Kassel						1.617 h	167 h			

Energiekosten Wärme	0,080 € / kWh
Energiekosten Kälte	0,080 € / kWh
Energiekosten Elektro	0,240 € / kWh
Wasserkosten (inkl. Abwasser)	6,00 € / m³
Kalkulationszinsfuß	2,00 %
Preissteigerungsrate	2,00 %
Klimazone/ Standort	7-Kassel
Nutzungsdauer der Anlage	15 a
Betriebstage pro Woche	5 d / w
Betriebsstunden pro Tag	7 h / d
Betriebsstunden pro Nacht	0 h / d
Volumenstrom am Tag	100 % / V max
Volumenstrom in der Nacht	50 % / V max
Investitionskosten der WRG	2.450 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG	0 € nur WRG
Min.investition für Wärmeerzeugung	-1.195 € / (144 € / kW)
Min.investition für Kälteerzeugung	0 € / (0 € / kW)
Zusatzkosten je Jahr	0 €
Rückgewinn der WRG Wärme	498 € / a
Rückgewinn der WRG Kälte	2 € / a
Jährliche CO2 Einsparung	43 € / a / (25 € / to.)
Elektroenergiekosten für die WRG	59 € / a
Kapitalkosten für die WRG	98 € / a
Wartungs- und Unterhaltungskosten	25 € / a
Jährliche Differenzkosten	361 € / a
Kapitalwert der Ersparnisse	5.630 €
Kalkulationszinsfuß	39,0 %
Amortisation	2,7 a
Jahresnutzungsgrad (bezogen auf Energien)	72,7 %
Jahresarbeitszahl nach EN 13053	25,5
Leistungszahl nach EN 13053	47,0
Effektiver Jahreswirkungsgrad EN 13053	76,9 %

Nur WRG Betrachtung mit Einsparung Wärme- und Kälteerzeugung

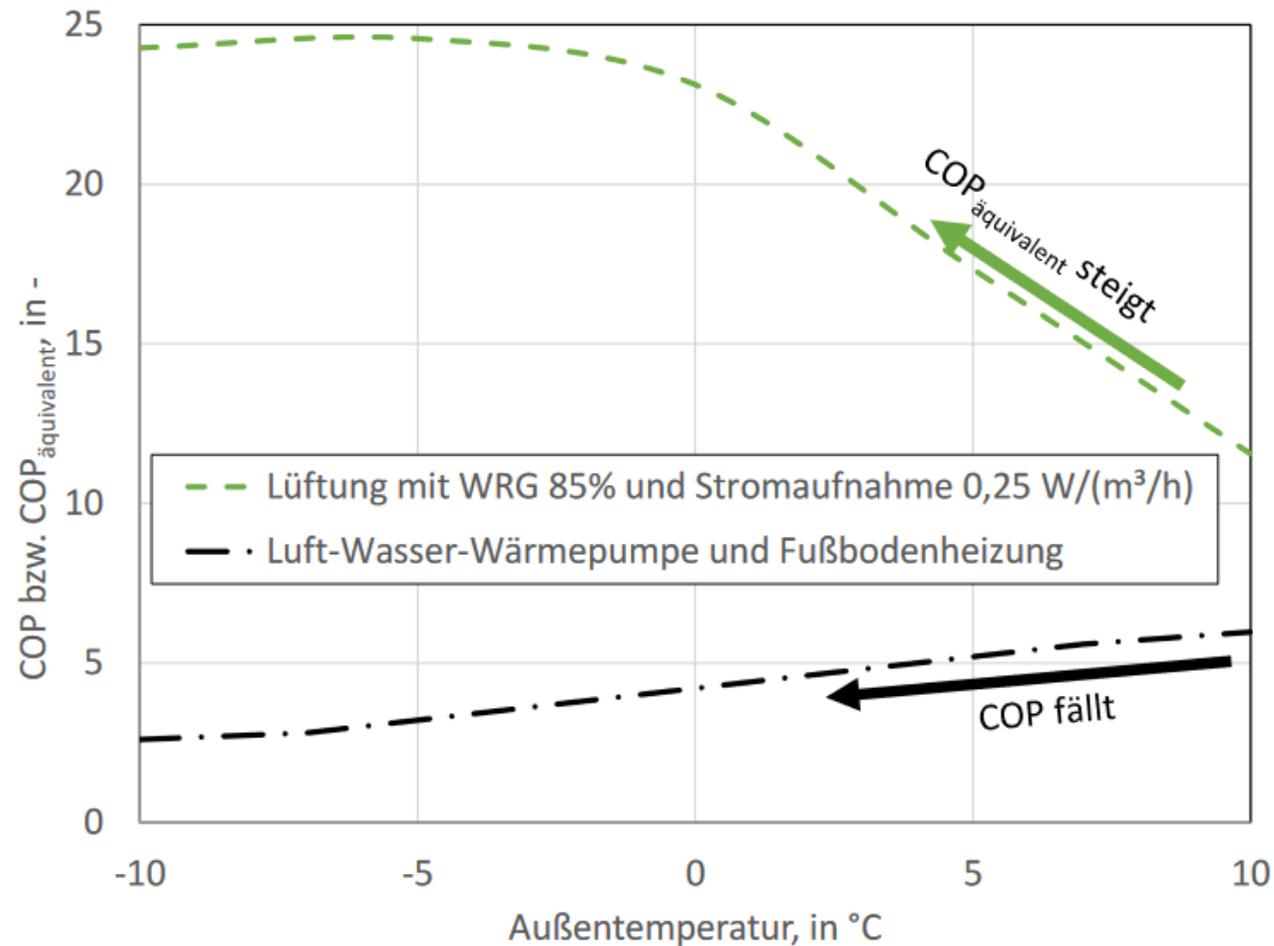


JAZ der WRG

∅ 10 bis 25

JAZ der WP

∅ 3 bis 4



Quelle: Hartmann, T., (2021 Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung als nachhaltige Schlüsseltechnologie zur Erreichung der Klimaziele (COP-Äquivalenzstudie) – Kurzstudie mit Validierung aus der Praxis

WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG (ökonomisch / WRG Anströmfläche konstant)

Effizienz WRG	Bautiefe zur Auslegung	Nutzen €/a	Aufwand €/a	Ertrag €/a
30,0 %	11,7 %	208,4€	-3,5 €	211,9€
35,0 %	14,7 %	243,1€	-1,2 €	244,3€
40,0 %	18,2 %	277,8€	2,5 €	275,3€
45,0 %	22,3 %	312,4€	7,9 €	304,5€
50,0 %	27,2 %	347,0€	15,6 €	331,4€
55,0 %	33,3 %	381,6€	26,3 €	355,3€
60,0 %	40,8 %	416,0€	41,1 €	374,9€
65,0 %	50,6 %	450,4€	61,9 €	388,5€
69,0 %	60,6 %	477,8€	84,7 €	393,1€
70,0 %	63,5 %	484,6€	91,5 €	393,1€
75,0 %	81,7 %	518,6€	135,4 €	383,2€

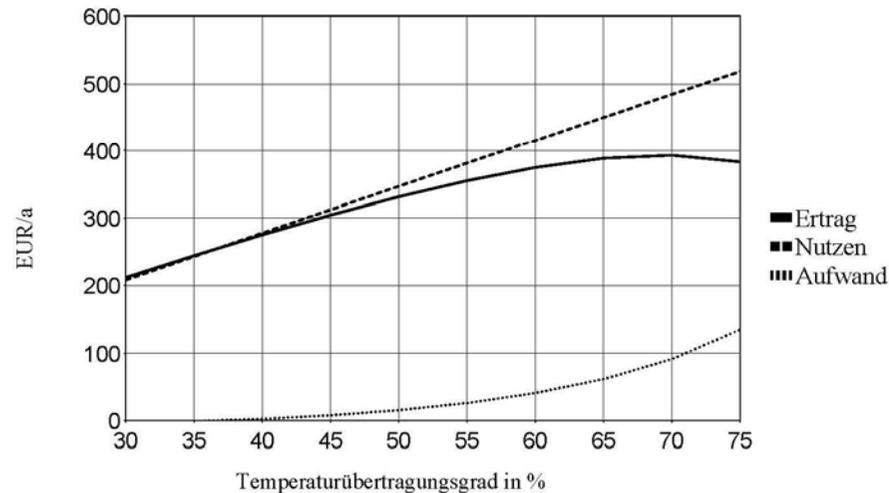
Kosten (Nutzen, Aufwand und Ertrag der WRG) pro Jahr

Auslegung mit einer Luftgeschwindigkeit im ZU- und Abluftgerätequerschnitt 0,80 m/s - 78,6 %

CO2 Einsparung im Optimum 1,6 to./a

Optimale Rückwärmzahl der WRG **69 % (66 - 73 %)**

Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband ± 1 % der Kosten)



CO₂-Einsparung

1,73 t./a Auslegung

1,79 t./a Optimierung

aber „nur“ noch ca.
Annuität von 300 €/a

Im Vergleich:

1,6 t./a „1D-mon. Opt.“
Annuität von 393 €/a

WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG (ökologisch / WRG Anströmfläche konstant)

Effizienz WRG	Bautiefe zur Auslegung	Nutzen kg CO ₂ /a	Aufwand kg CO ₂ /a	Reduktion kg CO ₂ /a
30,0 %	11,7 %	713	4	709
35,0 %	14,7 %	832	7	826
40,0 %	18,2 %	951	10	941
45,0 %	22,3 %	1070	15	1055
50,0 %	27,2 %	1189	21	1168
55,0 %	33,3 %	1308	29	1279
60,0 %	40,8 %	1427	40	1386
65,0 %	50,6 %	1546	55	1490
70,0 %	63,5 %	1665	77	1588
75,0 %	81,7 %	1783	107	1676
80,0 %	108,9 %	1902	155	1747
85,0 %	154,3 %	2021	236	1785
86,0 %	167,2 %	2045	260	1785
90,0 %	245,0 %	2140	402	1738
95,0 %	517,3 %	2259	905	1354

CO₂-Emissionen (Einsparung, Aufwand und Nettoertrag der WRG)

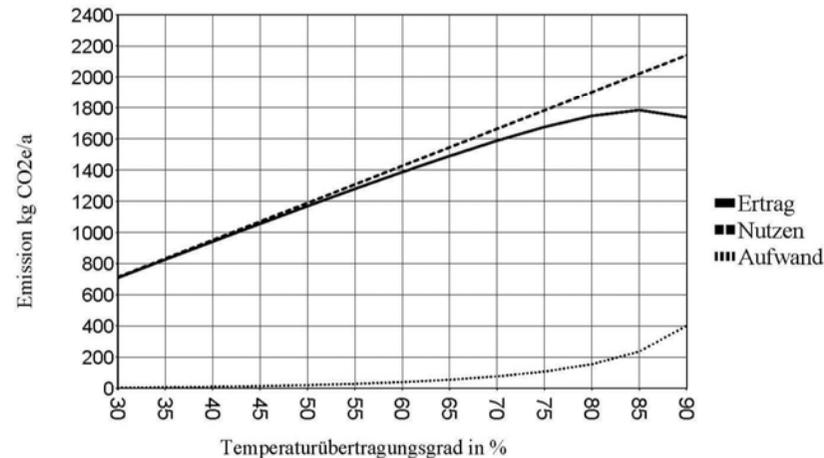
CO₂e-Äquivalente pro Jahr berechnet mit 300 g/kWh Wärme, 370 g/kWh Strom, sowie 500 g/€ WRG Invest und sonstige Betriebskosten 220 g/€

Auslegung mit einer Luftgeschwindigkeit im Zu- und Abluftgerätequerschnitt 0,80 m/s - 78,6 %

Auslegung mit einer CO₂ Einsparung von 1,7 to./a

Optimale Rückwärmzahl der WRG **86 % (82 - 88 %)**

Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband ± 1 % der CO₂-Emissionen)



3D Optimum ökonomisch

WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG (ökonomisch / mehrdimensional)

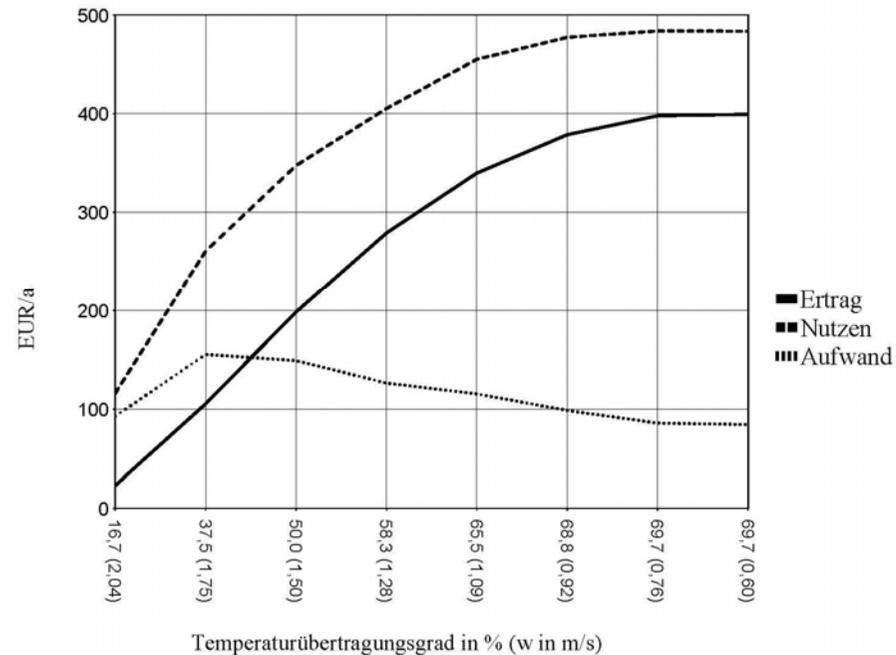
Effizienz WRG	Q.-Fläche bez. 2 m/s	w in m/s	Bautiefe zur Auslegung	Nutzen €/a	Aufwand €/a	Ertrag €/a
16,7 %	97,8 %	2,04 m/s	9,6 %	115,9 €	92,9 €	23,1 €
37,5 %	114,2 %	1,75 m/s	26,1 %	260,8 €	155,4 €	105,4 €
50,0 %	133,2 %	1,50 m/s	39,7 %	347,6 €	149,1 €	198,5 €
58,3 %	155,8 %	1,28 m/s	50,6 %	405,4 €	126,3 €	279,2 €
65,5 %	183,3 %	1,09 m/s	62,3 %	455,2 €	115,4 €	339,8 €
68,8 %	218,1 %	0,92 m/s	65,0 %	477,4 €	98,6 €	378,8 €
69,7 %	264,6 %	0,76 m/s	60,5 %	483,9 €	85,9 €	398,0 €
max.: 69,7 %	288,1 %	0,69 m/s	57,5 %	483,8 €	83,2 €	400,6 €
69,7 %	331,6 %	0,60 m/s	52,9 %	483,7 €	84,3 €	399,4 €

Geometrie in % der Ursprungsfläche der Auslegung. Kosten (Nutzen, Aufwand und Ertrag der WRG) pro Jahr. Exponent zur Änderung des dP 1,6

Auslegung mit einer Luftgeschwindigkeit im Zu- und Abluftgerätequerschnitt 0,80 m/s - 78,6 %

CO₂ Einsparung im Optimum 1,6 t/a

Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband ca. 2 % der max. Erträge)



WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG (ökologisch / mehrdimensional)

Effizienz WRG	Q-Fläche bez. 2 m/s	w in m/s	Bautiefe zur Auslegung	Nutzen kg CO2/a	Aufwand kg CO2/a	Reduktion kg CO2/a
23,1 %	70,7 %	2,83 m/s	28,9 %	549	416	133
41,2 %	83,5 %	2,40 m/s	57,1 %	979	572	407
54,5 %	97,8 %	2,04 m/s	83,5 %	1297	593	704
63,0 %	114,2 %	1,75 m/s	101,3 %	1497	518	979
70,6 %	133,2 %	1,50 m/s	122,6 %	1679	458	1220
76,7 %	155,8 %	1,28 m/s	144,2 %	1825	403	1422
80,8 %	183,3 %	1,09 m/s	156,0 %	1921	335	1586
83,9 %	218,1 %	0,92 m/s	162,3 %	1994	284	1711
85,9 %	264,6 %	0,76 m/s	156,9 %	2043	246	1797
86,8 %	331,6 %	0,60 m/s	135,5 %	2065	222	1843
max.: 87,0 %	390,0 %	0,51 m/s	116,9 %	2069	220	1850
86,8 %	442,4 %	0,45 m/s	101,5 %	2065	221	1845
85,3 %	688,8 %	0,29 m/s	57,3 %	2028	246	1782

Geometrie in % der Ursprungsfläche der Auslegung. CO2e (Nutzen, Aufwand und Reduktion der WRG) pro Jahr. Exponent zur Änderung des Δp 1,6

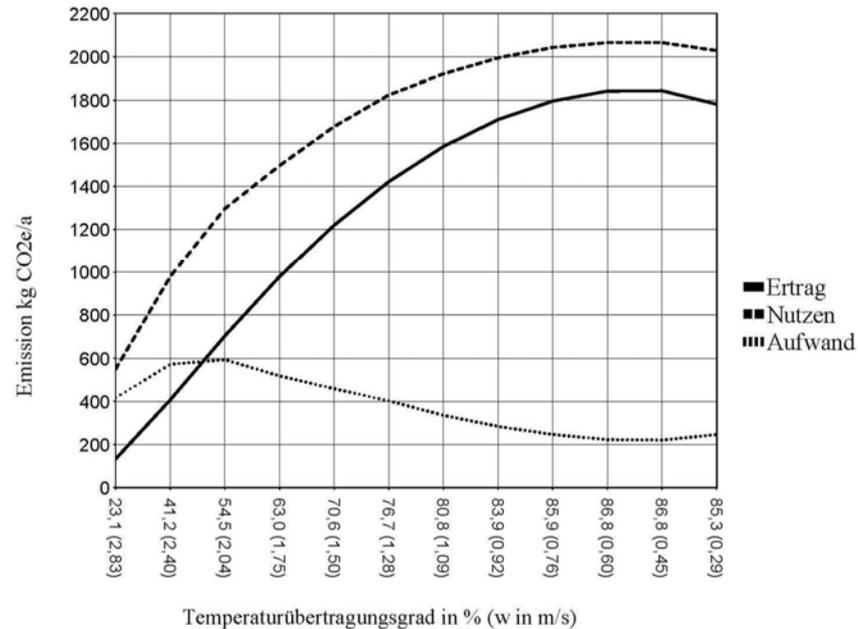
Auslegung mit einer Luftgeschwindigkeit im Zu- und Abluftgeratequerschnitt 0,80 m/s - 78,6 %
 Auslegung mit einer CO2 Einsparung von 1,7 t/a

Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband ca. 2 % der max. CO2 Reduktion)

CO₂-Einsparung

1,73 t. Auslegung

1,85 t. Optimierung



Das **ökonomische** Optimum ist nicht gleich dem **ökologischen** Optimum.

Das Gesamtoptimum kann gefunden werden, wenn die **CO₂-Einsparung** mit einem **Preis** in die ökonomische Optimierung einfließt.

Das **ökonomische Optimum** ist stark vom **Wärmepreis** und vom **Elektroenergiepreis** abhängig. Energiepreise haben sich aktuell fast um den Faktor 5 erhöht.

Das **ökologische Optimum** ist von den **CO₂-Emissionenfaktoren** abhängig.

Wärmemix relativ stabil bei rund 300 g/kWh versus Strom von 620 g/kWh (2007) bis 370 g/kWh (2020).

Wärmemix 300 g CO₂/kWh

Dieser ergibt sich ebenfalls aus 315 g/kWh für **Öl** (25 % Anteil), 202 g/kWh für **Gas** (44,3 % Anteil) und 341 g/kWh für **Fernwärme** (10,2 % Anteil) und rund 30 g/kWh für **Pellets** (18 % Anteil) sowie 370 g/kWh für **Strom** (1,6 %) und 429 g/kWh für **Kohle** (0,9 %). **Mittelwert** von **220 g/kWh**.

Unter Beachtung der **Verteilverluste von 35 %** folgt ein Wert von rund **300 g CO₂ /kWh**.

Quelle Bundesumweltamt

Energiekosten Wärme	0,080 € / kWh
Energiekosten Kälte	0,080 € / kWh
Energiekosten Elektro	0,240 € / kWh
Wasserkosten (inkl. Abwasser)	6,00 € / m ³
Kalkulationszinsfuß	2,00 %
Preissteigerungsrate	2,00 %
Klimazone/ Standort	7-Kassel
Nutzungsdauer der Anlage	15 a
Betriebstage pro Woche	5 d / w
Betriebsstunden pro Tag	7 h / d
Betriebsstunden pro Nacht	0 h / d
Volumenstrom am Tag	100 % / V max
Volumenstrom in der Nacht	50 % / V max
Investitionskosten der WRG	2.450 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG	10.312 € Kompletgerät
Min.investition für Wärmeerzeugung	-1.195 € / (144 € / kW)
Min.investition für Kälteerzeugung	0 € / (0 € / kW)
Zusatzkosten je Jahr	0 €
Rückgewinn der WRG Wärme	498 € / a
Rückgewinn der WRG Kälte	2 € / a
Jährliche CO ₂ Einsparung	29 € / a / (25 € / to.)
Elektroenergiekosten für die WRG	129 € / a
Kapitalkosten für die WRG	900 € / a
Wartungs- und Unterhaltungskosten	231 € / a
Jährliche Differenzkosten	-731 € / a
Kapitalwert der Ersparnisse	-9.036 €
Amortisation	> 15 a
Jahresnutzungsgrad (bezogen auf Energien)	72,7 %
Jahresarbeitszahl nach EN 13053	11,6
Leistungszahl nach EN 13053	21,4
Effektiver Jahreswirkungsgrad EN 13053	74,9 %

RLT-WRG Betrachtung

mit Einsparung Wärme- und Kälteerzeugung

Mehrkosten RLT

Primärenergie

$$6.222 \text{ kWh} \cdot 1,1$$

$$- 537 \text{ kWh} \cdot 1,8$$

$$= 5.877 \text{ kWh}$$

CO₂-Rucksack

$$+ 5.156 \text{ kg RLT-Gerät}$$

$$+ 1.225 \text{ kg WRG-System}$$

$$- 598 \text{ kg Wärmeerzeugung}$$

WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG (ökologisch / WRG Anströmfläche konstant)

Effizienz WRG	Bautiefe zur Auslegung	Nutzen kg CO2/a	Aufwand kg CO2/a	Reduktion kg CO2/a
30,0 %	11,7 %	713	418	296
35,0 %	14,7 %	832	424	409
40,0 %	18,2 %	951	431	520
45,0 %	22,3 %	1070	440	630
50,0 %	27,2 %	1189	452	737
55,0 %	33,3 %	1308	467	841
60,0 %	40,8 %	1427	486	941
65,0 %	50,6 %	1546	511	1034
70,0 %	63,5 %	1665	547	1118
75,0 %	81,7 %	1783	597	1186
80,0 %	108,9 %	1902	674	1228
82,0 %	124,0 %	1950	717	1233
85,0 %	154,3 %	2021	805	1217
90,0 %	245,0 %	2140	1068	1072

CO2-Emissionen (Einsparung, Aufwand und Nettoertrag der WRG)

CO₂e-Äquivalente pro Jahr berechnet mit 300 g/kWh Wärme, 370 g/kWh Strom, sowie 500 g/€ WRG Invest und sonstige Betriebskosten 220 g/€

Auslegung mit einer Luftgeschwindigkeit im Zu- und Abluftgerätequerschnitt 0,80 m/s - 78,6 %

Auslegung mit einer CO₂ Einsparung von 1,2 t/a

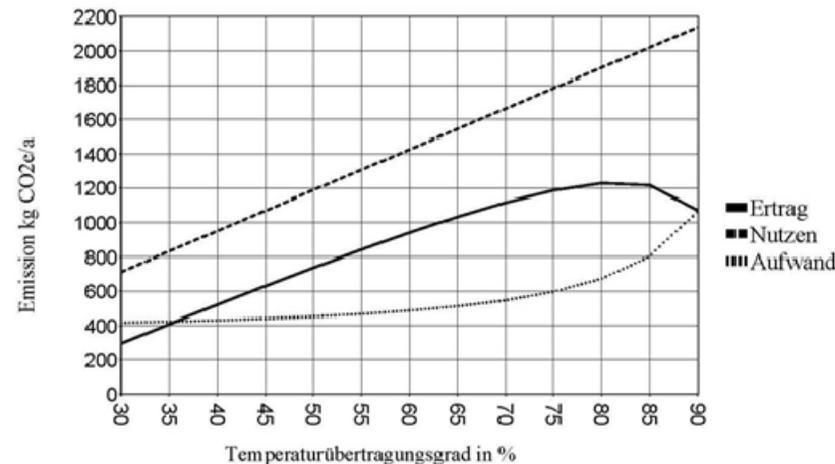
Optimale Rückwärmzahl der WRG 82 % (79 - 84 %)

Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband ± 1 % der CO₂-Emissionen)

CO₂-Einsparung

1,22 t./a Auslegung

1,23 t./a Optimierung



WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG (ökologisch / mehrdimensional)

Effizienz WRG	Q.-Fläche bez. 2 m/s	w in m/s	Bautiefe zur Auslegung	Nutzen kg CO2/a	Aufwand kg CO2/a	Reduktion kg CO2/a
33,3 %	97,8 %	2,04 m/s	34,8 %	793	944	-152
47,4 %	114,2 %	1,75 m/s	53,6 %	1126	1002	124
58,3 %	133,2 %	1,50 m/s	71,5 %	1387	982	405
66,7 %	155,8 %	1,28 m/s	87,4 %	1585	922	663
73,0 %	183,3 %	1,09 m/s	100,3 %	1735	849	887
77,8 %	218,1 %	0,92 m/s	109,2 %	1849	780	1069
81,1 %	264,6 %	0,76 m/s	110,6 %	1929	723	1206
83,3 %	331,6 %	0,60 m/s	102,6 %	1982	690	1291
max.: 83,9 %	414,4 %	0,48 m/s	85,4 %	1994	678	1316
83,9 %	442,4 %	0,45 m/s	80,0 %	1994	679	1316
82,1 %	688,8 %	0,29 m/s	45,5 %	1953	699	1255

Geometrie in % der Ursprungsfläche der Auslegung. CO2e (Nutzen, Aufwand und Reduktion der WRG) pro Jahr. Exponent zur Änderung des ΔP 1,6

Auslegung mit einer Luftgeschwindigkeit im Zu- und Abluftgeräteequerschnitt 0,80 m/s - 78,6 %

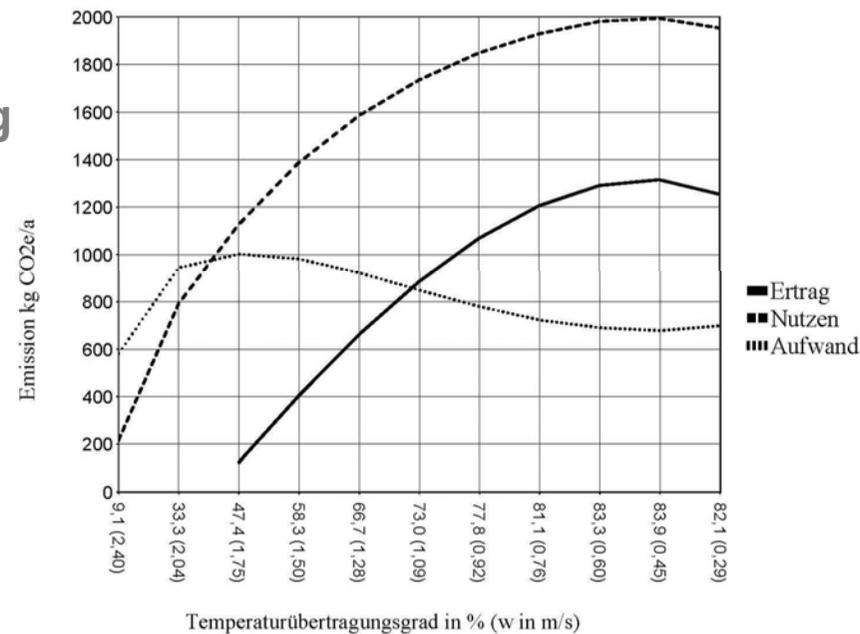
Auslegung mit einer CO2 Einsparung von 1,2 to /a

Berechnung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und deren Rahmenbedingungen (Toleranzband ca. 2 % der max. CO2 Reduktion)

CO₂-Einsparung

1,22 t./a Auslegung

1,32 t./a Optimierung



Die Betrachtung ist von der **Bilanzgrenze** abhängig.

Betrachtung **Wärmerückgewinnung einschließlich** der **notwendigen Bauteile** (z. B. Abluftfilter).

Betrachtung Gesamtanlage irreführend, da **RLT** nicht nur als **Selbstzweck** zur **Ermöglichung** der **WRG**.

Raumluftechnik **kostet** Energie und **Geld**, aber **spart** auch **Energie** (netto) und **CO₂**.

Die WRG kann nicht die gesamte Anlage „refinanzieren“ aber trägt zur **Finanzierung** bei.

Bereitet Luft auf (Filtern, Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten) - **Komfort durch Lüftung**

Führt **Luft kontrolliert** dem **Raum zu** bzw. **vom Raum ab**.

RLT mit WRG spart CO₂-Emissionen.

Rund **0,5 bis 1 t. CO₂ pro Jahr (1.000 m³/h)** – trotz CO₂-Rucksack der Anlage.



HERZLICHEN DANK

technikwissen@howatherm.de

ZEIT für Ihre FRAGEN und ANREGUNGEN