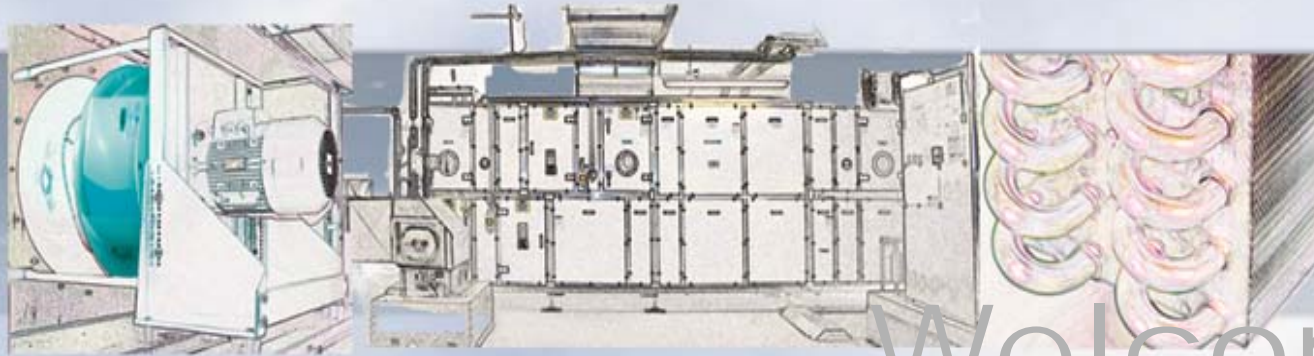


Willkommen



Bienvenue

Welcome

Bessere Raumluftqualität durch Raumlüftung

Wie im Vergleich zur Fensterlüftung Raumluft-
technische Anlagen mit WRG Aerosole und CO₂-
Belastungen in Räumen verringern.

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



Umwelt-Campus
Birkenfeld

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

Systemkriterien Lüftung

	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Luftaustausch	vom Dichteunterschied und Winddruck abhängig	unterstützt durch kontrollierten Abluftstrom	Zu- und Abluft werden maschinell und kontrolliert eingebracht	Kein Luftaustausch, da Umluftbetrieb (keine Frischluft, keine Reinigung von Gasen)
Temperaturabhängigkeit	hoch, da Dichteunterschied von der Temperaturdifferenz abhängt	mittel, da Abluftventilator unterstützt	gering bis nicht vorhanden da Menge mechanisch kontrolliert und temperiert	Keine
Regelung	Manuell, Fenster zu, Kipp oder offen Stoß oder Dauerlüftung	Manuell, Fenster zu, Kipp oder offen Ventilator an/aus oder drehzahl geregelt	Ventilatoren an/aus oder drehzahl geregelt (z. B. nach CO ₂ -Konzentration)	Meist manuell nach Belegung Luftmenge teilweise nach CO ₂ geregelt
Eingriff durch Nutzer	wenn Fenster zu öffnen hoch	wenn Fenster zu öffnen hoch	gering, da meist Bedienung automatisch	Je nach Belegung nötig
Fehlverhalten durch Nutzer	Leicht möglich, da Fenster geschlossen werden, wenn Komfort unbehaglich Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern nicht mehr gegeben	Leicht möglich, da Fenster geschlossen werden, wenn Komfort unbehaglich Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern nicht mehr gegeben - Luftaustausch zu Räumen möglich (Querkontamination)	kaum möglich, da Bedienung durch Nutzer meist gesperrt oder Bedienung durch Nutzer in klaren Grenzen definiert sind	Möglich durch falsche Einstellung (Stufen)
Nutzerakzeptanz	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich und niedrig, wenn der Komfort unbehaglich wird (tiefe Temp.)	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich und niedrig, wenn der Komfort unbehaglich wird (tiefe Temp.)	mittel, da Nutzer meist keine oder wenige Eingriffsmöglichkeit haben	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich
Nachströmung	Durch geöffnetes Fenster, wenn nicht geschlossen	Durch geöffnetes Fenster, wenn nicht geschlossen	kontrolliert durch Zuluftventilator	Systembedingt keine

Systemkriterien Lüftung

	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Lufterwärmung	Keine bzw. durch statische Heizflächen im Raum	Keine bzw. bedingt durch statische Heizflächen im Raum	Vorerwärmung durch WRG und bei Bedarf durch stat. Heizflächen im Raum oder Erwärmer in der RLT	Keine, bzw. nur durch Abwärme
Luftkühlung	Keine bzw. durch statische Kühlflächen im Raum (meist nicht vorhanden)	Keine bzw. bedingt durch statische Kühlflächen im Raum (meist nicht vorhanden)	Kühlung durch WRG möglich und bei Bedarf durch stat. Kühlflächen im Raum oder Kühler in der RLT Kühlung durch indirekte Verdunstungskühlung über die WRG ohne Kältemaschine möglich	systembedingt keine Kühlung
Wärmerückgewinnung	Keine	Keine	bis 80 % RWZ ökologisch sinnvoll	nicht erforderlich, da Umluft
Ökonomie	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht Weitere Kosten sind nicht vorhanden, da Fenster sowieso vorhanden sind	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht Schlechter als reine Fensterlüftung, da Abluftanlage investiert werden muss	Bezogen auf WRG sehr positiv, insbesondere da die Wärme- und Kälteversorgung verringert werden können Schlecht wenn die komplette RLT durch die WRG "finanziert" werden soll ergeben sich meist negative Kapitalwerte (Kosten entstehen)	positiv, da Wärme nicht beeinflusst wird
Ökologie	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht keine CO ₂ -Reduktion	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht keine CO ₂ -Reduktion	Sehr gut, da die CO ₂ -Bilanz trotz RLT-Anlage positiv ist CO ₂ -Einsparung rund 1 to./a pro Klassenraum (ca. 1.000 m ³ /h)	Neutral, da keine Wärme oder Feuchte beeinflusst wird (nur graue CO ₂ -Emission)
zusätzliche Kosten	Keine	ca. 2.000 €	ca. 13.000 €	ca. 4.000 €

Systemkriterien Lüftung

	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Komfort	eingeschränkt, da im Winter unbehandelte Luft einströmt Zugerscheinungen insbesondere bei kalter Luft wahrscheinlich	eingeschränkt, da im Winter unbehandelte Luft einströmt Zugerscheinungen insbesondere bei kalter Luft gegeben	gegeben, da Temperierung der Zuluft	kein Einfluss auf Komfort Zugerscheinungen möglich, da Einpunktquelle
Filterung	Keine	Keine (bei Verwendung von Abluft ist normativ keine Zuluftfilterung erforderlich)	Ausreichend - nach VDI und Normen ISO ePM1 60 % erforderlich	Sehr gut, meist HEPA min. H13
Lüftungseffektivität	eingeschränkt, da Luftaustausch unkontrolliert	hoch, da meist Quelllüftung vorherrscht (bei Untertemperatur) je nach Außenlufttemp. kann Mischlüftung entstehen	sehr hoch, da Quelllüftung immer gewährleistet werden kann (Untertemperatur) bei Bedarf ist auch Mischlüftung kontrolliert möglich	niedrig da Mischlüftung (Einpunktquelle im Raum, keine Untertemperatur möglich)
CO₂-Reduktion im Raum	Bei geöffnetem Fenster je nach Temperatur gut	Gut, je nach Luftmenge	Gut, je nach Luftmenge	Schlecht, CO ₂ -Reduktion systembedingt nicht möglich
Schalldämpfung	nur bei geschlossenem Fenster (keine Lüftung!)	nur bei geschlossenem Fenster (keine Lüftung!) Bei geschlossenem Fenster Querkontamination möglich	durch raumorientierte Schalldämpfer gut	nur bei raumorientierten Schalldämpfern gut Schalldämpfer werden oft nicht berücksichtigt, dann schlecht
Brandschutz	sehr gut, da keine zus. Brandlasten	schlecht, da zus. Brandlasten durch Kunststoffe entstehen	sehr gut bei zentralen Anlage mittel bei dezentralen Anlagen durch geringe Erhöhung der Brandlasten (Verwendung Metalle)	mittel durch geringe Erhöhung der Brandlasten (Verwendung von Metallen) schlecht bei Verwendung von Kunststoffen

WRG-Zustände während des Jahres

Beispiel Schule
(Klassenraum)
mit 1.200 m³/h

LW = 5 (240 m³)

40 m³/h/Person
bei 30 Personen

AL °C	RL °C	ETA %	WRG °C	ZL °C	dT °C	Q WRG kW	Q zus. kW	Q ext. kW	Status
-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	
-3,5	20,0	78,6	15,0	20,5	18,5	7,6	2,3	0,0	
-2,5	20,0	78,6	15,2	20,5	17,7	7,3	2,2	0,0	
-1,5	20,0	78,6	15,4	20,5	16,9	7,0	2,1	0,0	
-0,5	20,0	78,6	15,6	20,5	16,1	6,7	2,0	0,0	
0,5	20,0	78,6	15,8	20,5	15,3	6,3	1,9	0,0	
1,5	20,0	78,6	16,0	20,5	14,5	6,0	1,8	0,0	
2,5	20,0	78,6	16,3	20,5	13,8	5,7	1,8	0,0	
3,5	20,0	78,6	16,5	20,5	13,0	5,4	1,7	0,0	
4,5	20,0	78,6	16,7	20,5	12,2	5,0	1,6	0,0	
5,5	20,0	78,6	16,9	20,5	11,4	4,7	1,5	0,0	
6,5	20,0	78,6	17,1	20,5	10,6	4,4	1,4	0,0	
7,5	20,0	78,6	17,3	20,5	9,8	4,1	1,3	0,0	
8,5	20,0	78,6	17,5	20,5	9,0	3,7	1,2	0,0	
9,5	20,0	78,6	17,8	20,5	8,3	3,4	1,1	0,0	
10,5	20,0	78,6	18,0	20,5	7,5	3,1	1,0	0,0	
11,5	20,0	78,6	18,2	20,5	6,7	2,8	1,0	0,0	
12,5	20,0	78,6	18,4	20,5	5,9	2,4	0,9	0,0	
13,5	20,0	78,6	18,6	20,5	5,1	2,1	0,8	0,0	
14,5	20,0	78,6	18,8	20,5	4,3	1,8	0,7	0,0	
15,5	20,0	78,6	19,0	20,5	3,5	1,5	0,6	0,0	
16,5	20,0	78,6	19,3	20,5	2,8	1,1	0,5	0,0	
17,5	20,0	78,6	19,5	20,5	2,0	0,8	0,4	0,0	
18,5	20,0	78,6	19,7	20,5	1,2	0,5	0,3	0,0	
19,5	20,0	78,6	19,9	20,5	0,4	0,2	0,3	0,0	
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	
27,5	26,0	78,6	26,3	20,0	-1,2	-0,5	-2,6	0,0	
28,5	26,0	78,6	26,5	20,0	-2,0	-0,8	-2,7	0,0	
29,5	26,0	78,6	26,7	20,0	-2,8	-1,1	-2,8	0,0	

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 !

WRG-Energien während des Jahres

Standort Kassel
Stundenverteilung
nach DIN 4710

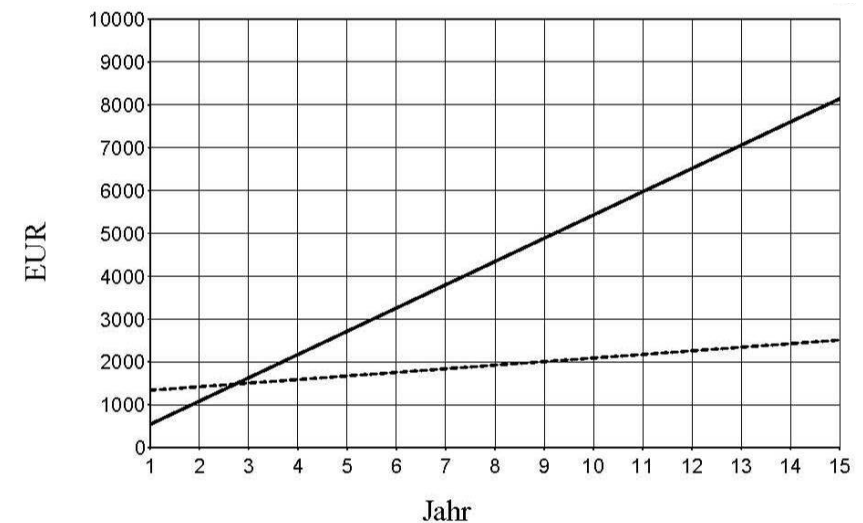
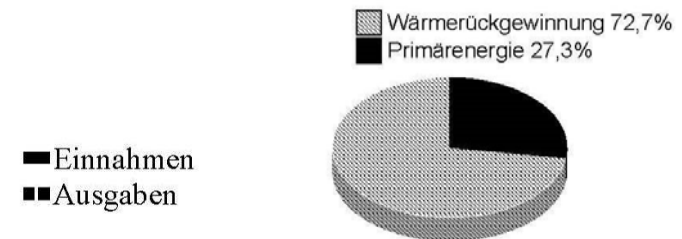
Primärenergie

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 € / m ³
Kalkulationszinsfuß	2,00 %
Preissteigerungsrate	2,00 %
Klimazone/ Standort	7-Kassel
Nutzungsdauer der Anlage	15 a
Betriebstage pro Woche	5 d / w
Betriebstunden 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



WRG-1D-Optimum ökonomisch

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 €

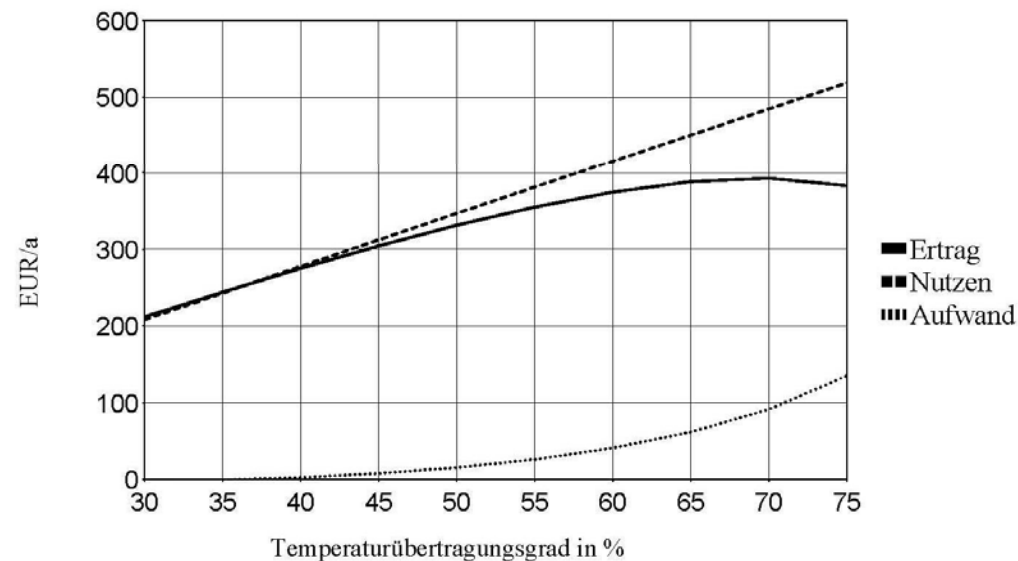
Kosten (Nutzen, Aufwand und Ertrag der WRG) pro Jahr

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

CO₂ Einsparung im Optimum 1,6 t/a

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

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



WRG-3D-Optimum ökonomisch

WRG-SYSTEME OPTIMIERUNG (ökonomisch / mehrdimensional)

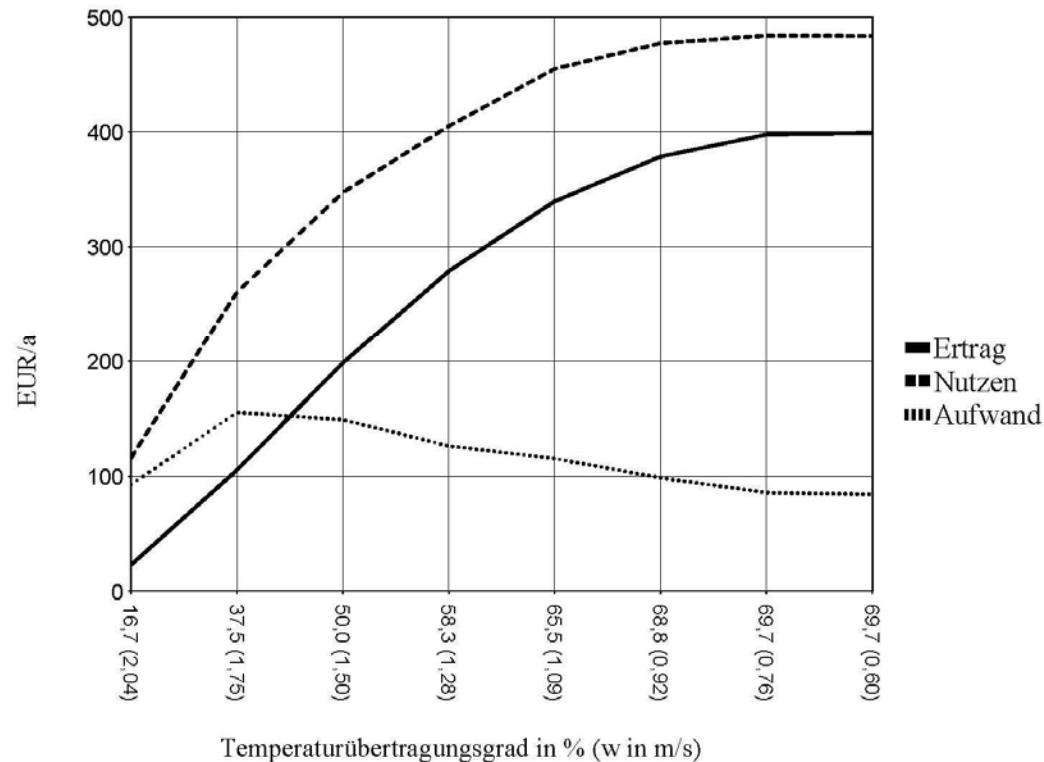
Effizienz WRG	Q.-Fläche bez. 2 m/s	w in m/s	Bautiefe zur Auslegung	Nutzen €/a	Aufwand €/a	Ertrag €/a
16,7 %	97,8 %	2,04 m/s	9,6 %	115,9 €	92,9 €	23,1 €
37,5 %	114,2 %	1,75 m/s	26,1 %	260,8 €	155,4 €	105,4 €
50,0 %	133,2 %	1,50 m/s	39,7 %	347,6 €	149,1 €	198,5 €
58,3 %	155,8 %	1,28 m/s	50,6 %	405,4 €	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 ΔP 1,6

Auslegung mit einer Luftgeschwindigkeit im Zu- und Abluftgeräteequerschnitt 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-1D-Optimum ökologisch

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	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)

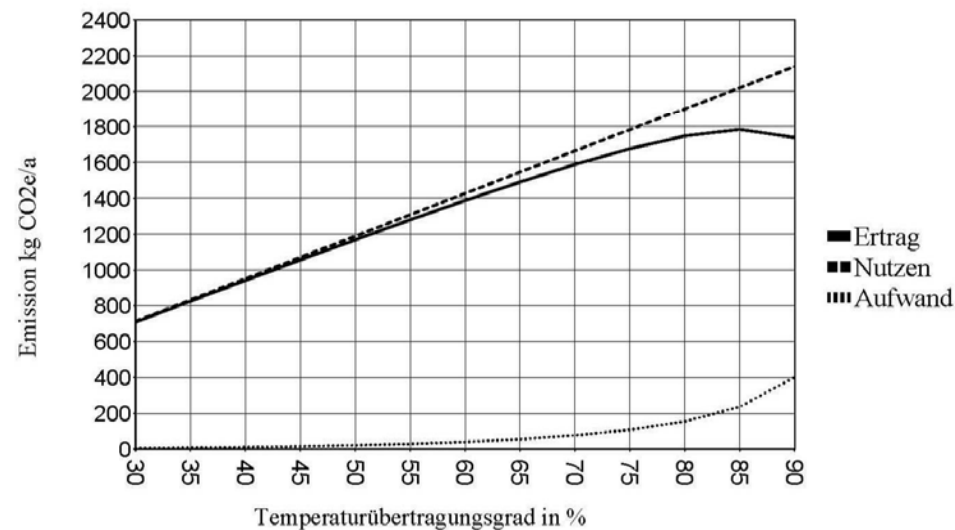
CO2e-Äquivalente pro Jahr berechnet mit 300 g/kWh Wärme, 370 g/kWh Strom, sowie 500 g/€ WRG Invest und sonstige Betriebskosten 220 g/€

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

Auslegung mit einer CO2 Einsparung von 1,7 t/a

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

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



CO₂-Einsparung

1,73 t./a Auslegung

1,79 t./a Optimierung

WRG-3D-Optimum ökologisch

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

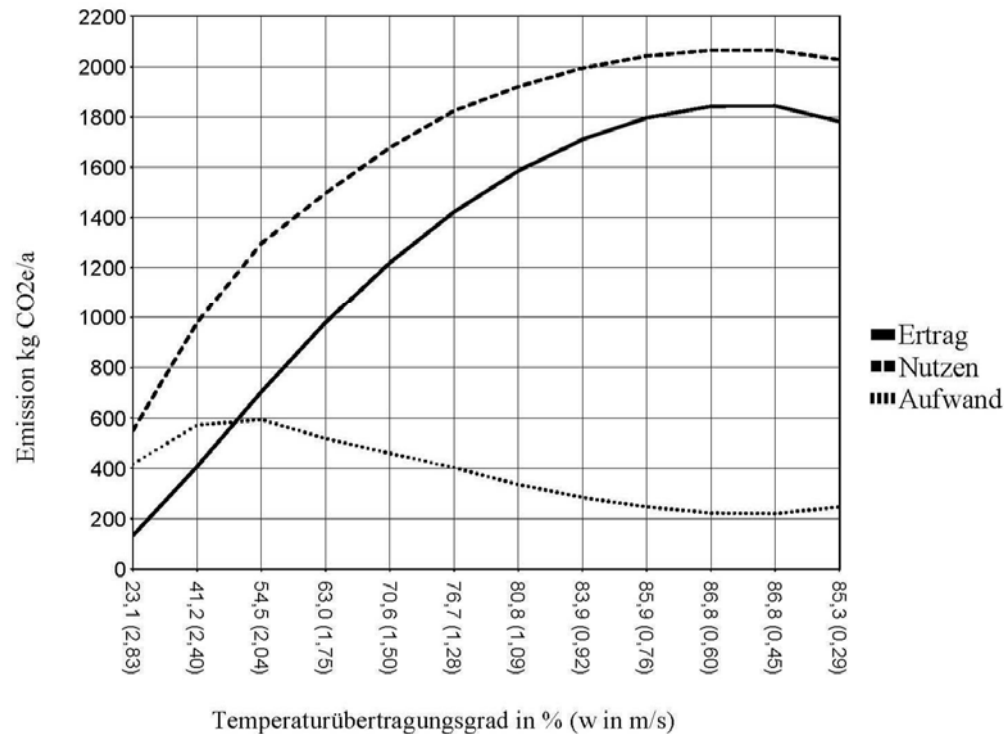
Geometrie in % der Ursprungsfläche der Auslegung. CO2e (Nutzen, Aufwand und Reduktion der WRG) pro Jahr. Exponent zur Änderung des dP 1,6

Auslegung mit einer Luftgeschwindigkeit im Zu- und Abluftgerätequerschnitt 0,80 m/s - 78,6 %
Auslegung mit einer CO2 Einsparung von 1,7 to./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



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
Betriebstunden 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

$$+ 5.156 \text{ kg RLT-Gerät}$$

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

$$- 598 \text{ kg Wärmeerzeugung}$$

RLT-1D-Optimum ökologisch

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/E WRG invest und sonstige Betriebskosten 220 g/E

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

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

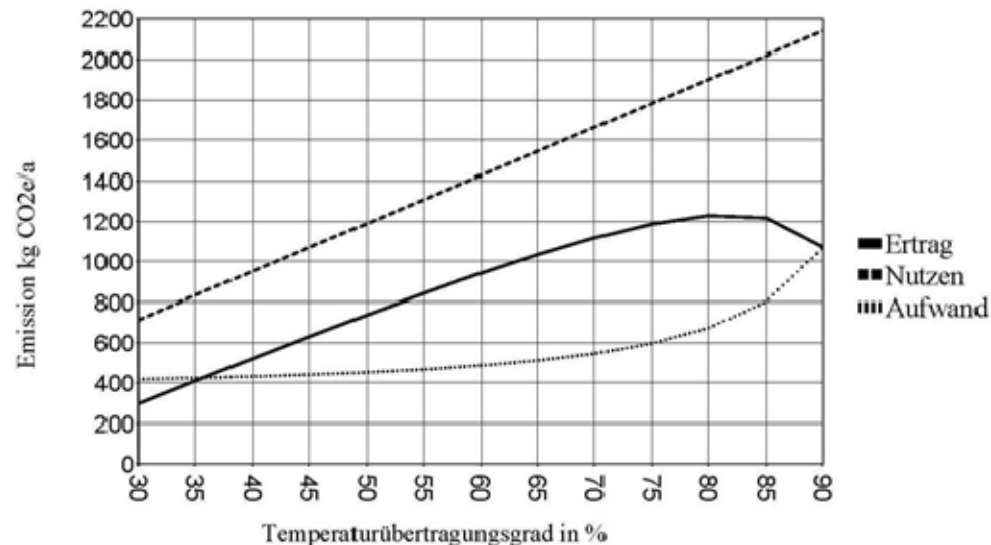
CO₂-Einsparung

1,22 t./a Auslegung

1,23 t./a Optimierung

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

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



RLT-3D-Optimum ökologisch

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 dP 1,6

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

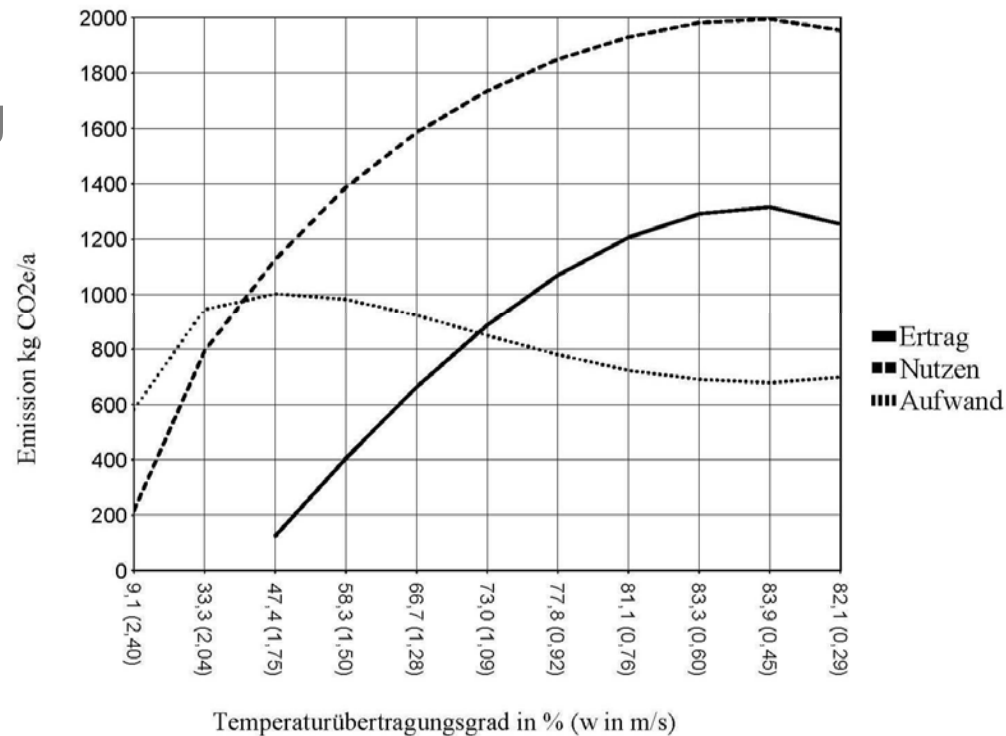
Auslegung mit einer CO2 Einsparung von 1,2 t./a

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



Wärmerückgewinnung ist wirtschaftlich

Raumluftechnik kostet Geld

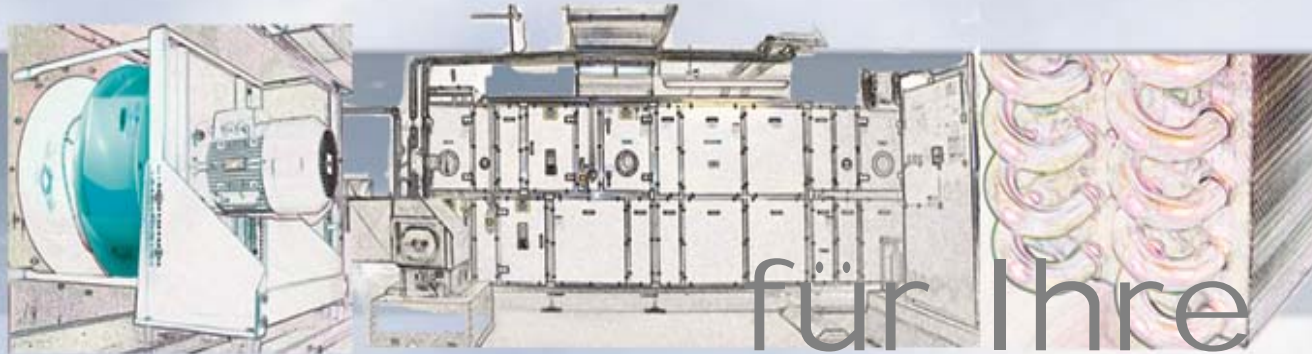
- Die WRG kann nicht die gesamte Anlage „refinanzieren“
- Bereitet Luft auf (Filtern, Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten) - Komfort durch ambiente Lüftung

- Führt Luft kontrolliert dem Raum zu

RLT mit WRG spart CO₂-Emissionen

- Pro Klassenraum rund 1 t. CO₂ pro Jahr (1.000 m³/h) – trotz CO₂-Rucksack der Anlage

Herzlichen Dank



Aufmerksamkeit

Bessere Raumluftqualität durch Raumlüftung

Wie im Vergleich zur Fensterlüftung Raumluft-
technische Anlagen mit WRG Aerosole und CO₂-
Belastungen in Räumen verringern.

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



Umwelt-Campus
Birkenfeld

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