

Optimierung von Wärmerückgewinnungssystemen im Kontext volks- und betriebswirtschaftlicher Rahmenbedingungen (Teil 2)

Christoph Kaup

Während im ersten Teil die relevanten Bedingungen zur Wärmerückgewinnung eher theoretisch betrachtet wurden, werden in diesem Teil konkrete Beispielberechnungen zur Wirtschaftlichkeit vorgestellt.

Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Beispielen

Im Folgenden werden an Beispielen Wirtschaftlichkeitsberechnungen nach den beschriebenen Verfahren dargestellt. Anhand weniger charakteristischer Daten kann die Berechnung im Einzelfall erfolgen. Neben den WRG-Funktionen, den Sollwerten im Heiz- und Kühlbetrieb, den spezifischen Energiekosten usw. muss das Lastprofil der WRG und deren Standort definiert werden. Diese Faktoren bilden den Rahmen zur jeweiligen Optimierung im Einzelfall. Aus diesem Lastprofil errechnen sich die Laufzeiten der WRG.

Auf der ersten Ergebnisseite (Tabelle 1) wird die Funktion der WRG in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur dargestellt, die sich aus dem Temperaturübertragungsgrad und den Zuständen der WRG (z. B. Vereisungsschutz) ergibt. In Tabelle 2 werden die einzelnen thermischen Arbeiten dargestellt, die sich aus der Multiplikation der Leistungen mit ihrer Häufigkeit ergeben. In Bild 2 sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen übersichtlich zusammengestellt. Neben den Rahmenbedingungen wie Laufzeiten, Energiepreise, Zinssätze usw. wird der Kapitalwert der Ersparnisse, in diesem Fall nach 15 Jahren Nutzungsdauer, kalkuliert und die Amortisation als Schnittpunkt der beiden Linien (abgezinsten Einnahmen und Ausgaben) dargestellt. Die Amortisation liegt in diesem Fall bei 2,7 Jahren. Der Kapi-

Der Teil 1 erschien in MGT Heft 11/2016, S. 58 – 60



Der Autor

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup,
Honorarprofessor am Umwelt-Campus Birkenfeld,
Hochschule Trier, für Energieeffizienz und
Wärmerückgewinnung

Geschäftsführender Gesellschafter von
HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Mitglied des Vorstands des Fachverbands
Gebäude-Klima e. V.

Mitglied in verschiedenen Normungsgremien wie
EN 16798-3, EN 13779, EN 308, EN 13053 und
EN 1886 sowie in verschiedenen Richtlinien-
ausschüssen wie VDI 6022 und VDI 3803

Vorsitzender der VDI 3803 Blatt 1

Tabelle 1 Funktion der WRG

AL (°C)	RL (°C)	ETA (%)	WRG (°C)	ZL (°C)	dT (°C)
-12,0	20,0	62,5	8,0	20,5	20,0
-11,0	20,0	64,5	9,0	20,5	20,0
-10,0	20,0	66,7	10,0	20,5	20,0
-9,0	20,0	69,0	11,0	20,5	20,0
-8,0	20,0	71,4	12,0	20,5	20,0
-7,0	20,0	74,1	13,0	20,5	20,0
-6,0	20,0	74,5	13,4	20,5	19,4
-5,0	20,0	74,5	13,6	20,5	18,6
-4,0	20,0	74,5	13,9	20,5	17,9
-3,0	20,0	74,5	14,1	20,5	17,1
-2,0	20,0	74,5	14,4	20,5	16,4
-1,0	20,0	74,5	14,6	20,5	15,6
0,0	20,0	74,5	14,9	20,5	14,9
1,0	20,0	74,5	15,2	20,5	14,2
2,0	20,0	74,5	15,4	20,5	13,4
3,0	20,0	74,5	15,7	20,5	12,7
4,0	20,0	74,5	15,9	20,5	11,9
5,0	20,0	74,5	16,2	20,5	11,2
6,0	20,0	74,5	16,4	20,5	10,4
7,0	20,0	74,5	16,7	20,5	9,7
8,0	20,0	74,5	16,9	20,5	8,9
9,0	20,0	74,5	17,2	20,5	8,2
10,0	20,0	74,5	17,5	20,5	7,5
11,0	20,0	74,5	17,7	20,5	6,7
12,0	20,0	74,5	18,0	20,5	6,0
13,0	20,0	74,5	18,2	20,5	5,2
14,0	20,0	74,5	18,5	20,5	4,5
15,0	20,0	74,5	18,7	20,5	3,7
16,0	20,0	74,5	19,0	20,5	3,0
17,0	20,0	74,5	19,2	20,5	2,2
18,0	20,0	74,5	19,5	20,5	1,5
19,0	20,0	74,5	19,7	20,5	0,7
20,0	20,0	74,5	20,0	20,5	0,0
21,0	21,0	0,0	21,0	21,0	0,0
22,0	22,0	0,0	22,0	22,0	0,0
23,0	23,0	0,0	23,0	23,0	0,0
24,0	24,0	0,0	24,0	24,0	0,0
25,0	25,0	0,0	25,0	25,0	0,0
26,0	26,0	0,0	26,0	26,0	0,0
27,0	26,0	74,5	26,3	20,0	-0,7
28,0	26,0	74,5	26,5	20,0	-1,5
29,0	26,0	74,5	26,8	20,0	-2,2
30,0	26,0	74,5	27,0	20,0	-3,0
31,0	26,0	74,5	27,3	20,0	-3,7
32,0	26,0	74,5	27,5	20,0	-4,5

talwert der Ersparnisse liegt bei etwa 63.000 €. Ebenfalls sind die Kennzahlen auf Basis des Jahresenergievergleichs (z. B. Jahresarbeitszahl der WRG mit 12,5) aufgeführt.

Wirtschaftliche Optimierung am Beispiel

Bild 3 zeigt die Ermittlung des Optimums der Wärmerückgewinnung. Jedem Temperaturübertragungsgrad zwischen 30 und 85 % wird der erforderliche Aufwand und der mögliche Nutzen der WRG gegenübergestellt.

Der Differenzbetrag stellt den Ertrag pro Jahr dar. Der höchste Ertrag mit 4.773 €/a wird im Beispiel mit einem Temperaturübertragungsgrad von 68 % erreicht. Da die Ertragskurve im Bereich des Optimums relativ flach verläuft, kann bei Akzeptanz eines Toleranzbereichs von ± 1 % der Kosten ein optimaler Bereich des Temperaturübertragungsgrads von 64 bis 71 % bestimmt werden.

Mit diesem Optimum wäre die erste Stufe der Ökodesignverordnung (min. 67 %, übliche Wärmerückgewinnung) erfüllt. Die zweite Stufe (mit min. 73 %) würde betriebswirtschaftlich zu einer WRG führen, die pro Jahr einen etwa 200 € geringeren Ertrag erwirtschaftet, als dies im betriebswirtschaftlichen Optimum der Fall wäre.

Diese Optimierung gilt selbstverständlich nur für die festgelegten Rahmenbedingungen. Ändern sich z. B. die Laufzeit der WRG oder die Energiekosten, verschiebt sich auch das Optimum der WRG deutlich.

Beispiel: Reduzierte Laufzeit

Im zweiten Beispiel wird die WRG mit der Änderung der Laufzeiten berechnet. Die Anlage läuft nun nicht mehr sechs Tage pro Woche, sondern nur an fünf Tagen. Auch die Laufzeit pro Tag wird von 14 auf 8 h reduziert.

(Fall 1)		
QWRG	Q _{zus.}	Status
(kW)	(kW)	
74,4	46,5	V
74,4	42,8	V
74,4	39,1	V
74,4	35,3	V
74,4	31,6	V
74,4	27,9	V
72,1	26,5	
69,3	25,6	
66,5	24,6	
63,8	23,7	
61,0	22,7	
58,2	21,8	
55,4	20,8	
52,7	19,9	
49,9	18,9	
47,1	18,0	
44,4	17,0	
41,6	16,1	
38,8	15,1	
36,0	14,2	
33,3	13,2	
30,5	12,3	
27,7	11,3	
24,9	10,4	
22,2	9,5	
19,4	8,5	
16,6	7,6	
13,9	6,6	
11,1	5,7	
8,3	4,7	
5,5	3,8	
2,8	2,8	
0,0	1,9	
0,0	-3,7	AUS
0,0	-7,4	AUS
0,0	-11,2	AUS
0,0	-14,9	AUS
0,0	-18,6	AUS
0,0	-22,3	AUS
-2,8	-23,3	
-5,5	-24,2	
-8,3	-25,2	
-11,1	-26,1	
-13,9	-27,1	
-16,6	-28,0	

Tabelle 2 Energien der WRG								(Fall 1)	
AL	Q _{WRG}	Stunden Tag	Stunden Nacht	Wärme gesamt	Kälte gesamt	Wärme WRG	Kälte WRG		
(°C)	(kW)	(h/°C)	(h/°C)	(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 Jahr DIN 4710	3.760	626	154.342	8.103	109.793	786			

In Bild 4 sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen unter der Berücksichtigung der geänderten Laufzeit dargestellt. Die Amortisation steigt auf sechs Jahre. Der Kapitalwert der Ersparnisse sinkt von rund 63.000 € auf etwa 20.900 €.

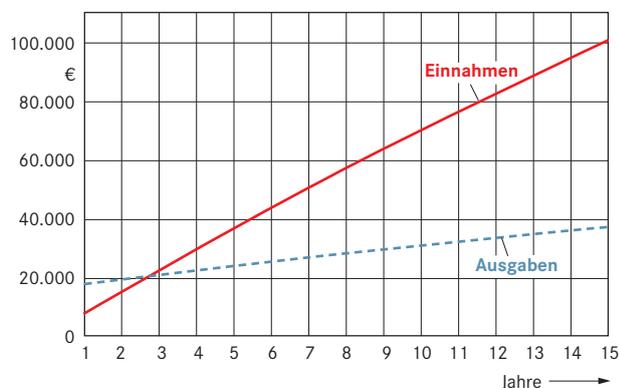
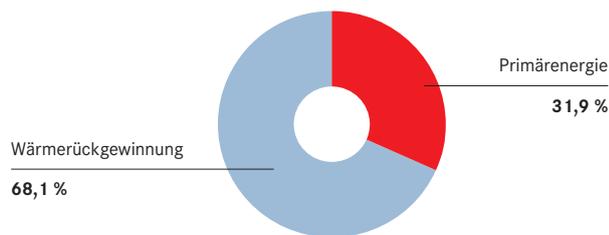
Der höchste Ertrag mit 1.823 €/a wird in diesem Beispiel mit einem Temperaturübertragungsgrad von 59 % (Toleranzbereich 55 bis 62 %) erreicht (Bild 5). Das Optimum verschiebt sich also durch die reduzierte Laufzeit von 68 auf 59 %. Damit wür-

de selbst die erste Stufe der Ökodesignverordnung mit min. 67 % zu einer deutlich unwirtschaftlichen WRG führen, die etwa 200 €/a ihres betriebswirtschaftlichen Potenzials einbüßt. In der zweiten Stufe der Verordnung mit min. 73 % würden gar rund 500 €/a eingebüßt werden.

Beispiel: Verlängerte Laufzeit

Im dritten Beispiel wird die Wärmerückgewinnung z. B. mit einer Erhöhung der Laufzeiten berechnet. Die Anlage läuft nun mit sieben Tagen pro Woche und mit einer Laufzeit von 24 h pro Tag. Aus Bild 6 wird deutlich, dass nun die Amortisation signifikant auf 1,5 Jahre sinkt. Der Kapitalwert der Ersparnisse steigt sehr deutlich von 20.900 € (Fall 2) auf 128.900 €.

Energiekosten Wärme:	0,07 €/kWh
Energiekosten Kälte:	0,15 €/kWh
Energiekosten Elektro:	0,15 €/kWh
Wasserkosten (inklusive 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
Betriebsstunden pro Tag:	12
Betriebsstunden pro Nacht:	2
Volumenstrom am Tag:	100 %/V _{max}
Volumenstrom in der Nacht:	50 %/V _{max}
Investitionskosten der WRG:	16.388 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG:	0 €
Minderinvestition für Wärmeerzeugung:	0 €/(0 €/kW)
Minderinvestition für 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 €
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 CO ₂ -Einsparung:	36,0 t



2 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsberechnung (Fall 1)

FALL 1

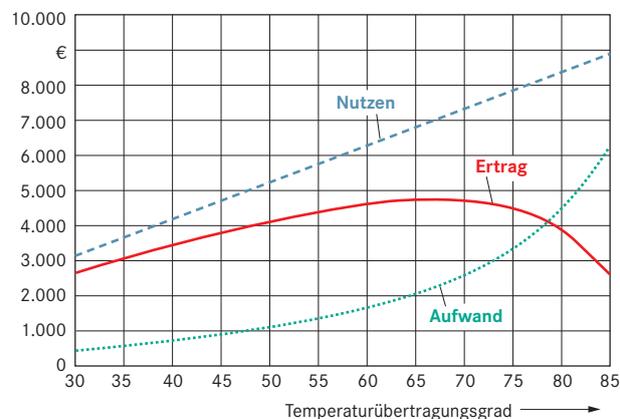
WRG-Systeme Optimierung

Rückwärmzahl (%)	Nutzen (€)	Aufwand (€)	Ertrag (€)
30,0	3.142,3	473,9	2.668,4
35,0	3.666,0	595,5	3.070,6
40,0	4.189,8	737,2	3.452,5
45,0	4.713,5	904,8	3.808,7
50,0	5.237,2	1.105,9	4.131,3
55,0	5.760,9	1.351,6	4.409,3
60,0	6.284,6	1.658,8	4.625,8
65,0	6.808,3	2.053,8	4.754,6
68,0	7.122,6	2.350,0	4.772,6
70,0	7.332,1	2.580,4	4.751,7
75,0	7.855,8	3.317,6	4.538,2
80,0	8.379,5	4.423,5	3.956,0
85,0	8.903,2	6.266,6	2.636,6

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 ± 1 % der Kosten)



3 Optimum der Wärmerückgewinnung (Fall 1)

Quellen: Kaup

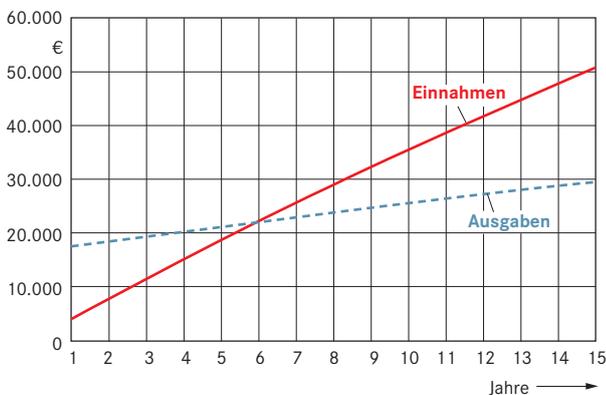
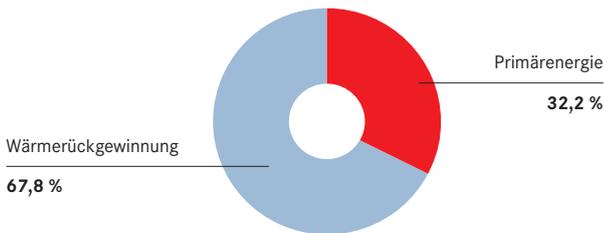
Der höchste Ertrag mit 9.681 €/a wird in diesem Beispiel mit einem Temperaturübertragungsgrad von 74 % (Toleranzbereich 70 bis 77 %) erreicht (Bild 7). Man erkennt in diesem Fall, dass der Toleranzbereich größer wird, je höher das berechnete Optimum wird. Deutlich wird aber auch, dass in diesem Fall die Ökodesignverordnung sowohl in der ersten als auch in der zweiten Stufe sinnvoll erfüllt wird. In diesem Fall könnte gar eine höhere Anforderung mit 74 bis 77 % sinnvoll gestellt werden.

Fazit

Wärmerückgewinnung ist eine wichtige Effizienzmaßnahme in der Gebäudetechnik. Es ist grundsätzlich positiv zu bewerten, dass die Ökodesignverordnung einen Rahmen für die verpflichtende Nutzung dieser Technologie geschaffen hat. Das belegen auch die begleitenden Studien, die die WRG grundsätzlich als eine sehr wirtschaftliche Maßnahme im volkswirtschaftlichen Kontext bestätigt hat.

Grundsätzlich ist die Wärmerückgewinnung unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten auch sehr positiv zu bewerten. Im Einzelfall können sich aber sehr unterschiedliche Ergebnisse ergeben, auch wenn statistisch gesehen die Summe der Fälle volkswirtschaftlich immer noch zu einem positiven Ergebnis führt.

Energiekosten Wärme:	0,07 €/kWh
Energiekosten Kälte:	0,15 €/kWh
Energiekosten Elektro:	0,15 €/kWh
Wasserkosten (inklusive 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
Betriebsstunden pro Tag:	8
Betriebsstunden pro Nacht:	0
Volumenstrom am Tag:	100 %/Vmax
Volumenstrom in der Nacht:	50 %/Vmax
Investitionskosten der WRG:	16.388 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG:	0 €
Minderinvestition für Wärmeerzeugung:	0 €/0 €/kW
Minderinvestition für 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 €
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 CO ₂ -Einsparung:	18,0 t



4 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsberechnung (Fall 2 mit reduzierter Laufzeit)

FALL 2

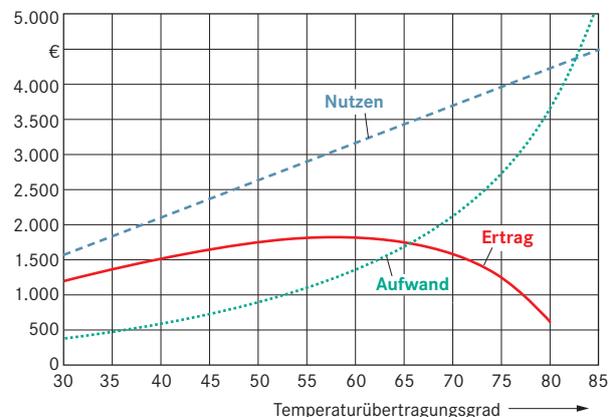
WRG-Systeme Optimierung

Rückwärmzahl (%)	Nutzen (€)	Aufwand (€)	Ertrag (€)
30,0	1.585,1	385,4	1.199,7
35,0	1.849,3	484,2	1.365,1
40,0	2.113,5	599,5	1.514,0
45,0	2.377,7	735,8	1.641,9
50,0	2.641,9	899,3	1.742,6
55,0	2.906,1	1.099,1	1.807,0
59,0	3.117,4	1.294,1	1.823,4
60,0	3.170,3	1.348,9	1.821,4
65,0	3.434,5	1.670,1	1.764,4
70,0	3.698,7	2.098,3	1.600,4
75,0	3.962,9	2.697,8	1.265,0
80,0	4.227,0	3.597,1	630,0
85,0	4.491,2	5.095,9	-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 ± 1 % der Kosten)



5 Optimum der Wärmerückgewinnung (Fall 2 mit reduzierter Laufzeit)

Quellen: Kaup

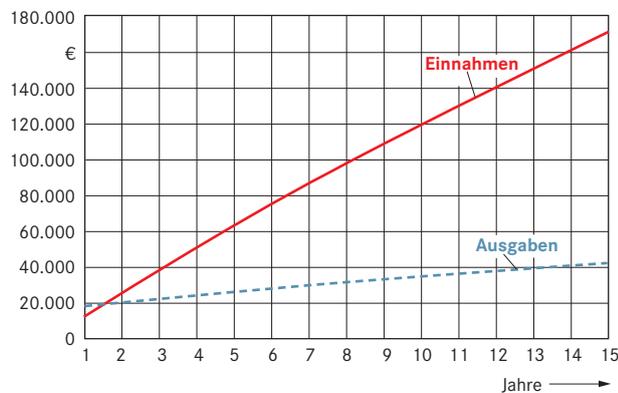
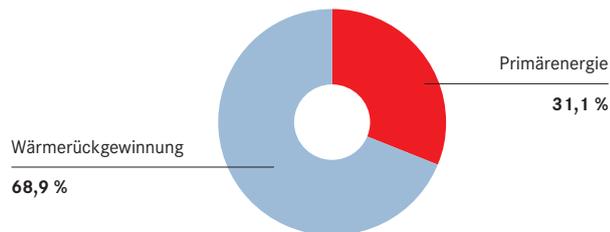
Da im Einzelfall aufgrund der verschiedenen Rahmenbedingungen die Ergebnisse sehr stark variieren und auch zu negativen Ergebnissen führen können, stellt sich zwingend die Frage, ob es nicht sinnvoller wäre, auf Basis von individuellen Rahmenbedingungen ein betriebswirtschaftliches Optimum in jedem Einzelfall zu fordern, anstatt pauschalen Festlegungen den Vorzug zu geben. Denn am Ende entscheiden die Amortisation und der Kapitalwert der Ersparnisse im Einzelfall darüber, ob eine

WRG wirtschaftlich ist oder nicht. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Bewertung letztendlich monetär in Euro und Cent oder ob die Berechnung auf Basis einer CO₂-Einsparung in kg/a erfolgt.

Es ergibt sich unter projektspezifischen Rahmenbedingungen ein jeweils eindeutiges Optimum beim Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen. Somit kann die Festlegung einer optimalen WRG in jedem Fall dafür sorgen, dass weder mit einer zu kleinen noch einer zu großen WRG ein betriebswirtschaftliches und letztlich ein volkswirtschaftliches Potenzial verschenkt wird. Und dies ist sowohl unter betriebswirtschaftlichen als auch unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll, da die Summe der betriebswirtschaftlichen Optima zu einem volkswirtschaftlichen Optimum führen muss.



Energiekosten Wärme:	0,07 €/kWh
Energiekosten Kälte:	0,15 €/kWh
Energiekosten Elektro:	0,15 €/kWh
Wasserkosten (inklusive 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
Betriebsstunden pro Tag:	12
Betriebsstunden pro Nacht:	12
Volumenstrom am Tag:	100 %/Vmax
Volumenstrom in der Nacht:	50 %/Vmax
Investitionskosten der WRG:	16.388 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG:	0 €
Minderinvestition für Wärmeerzeugung:	0 €/ (0 €/kW)
Minderinvestition für 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 CO ₂ -Einsparung:	62,0 t



6 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsberechnung (Fall 3 mit erhöhter Laufzeit)

FALL 3

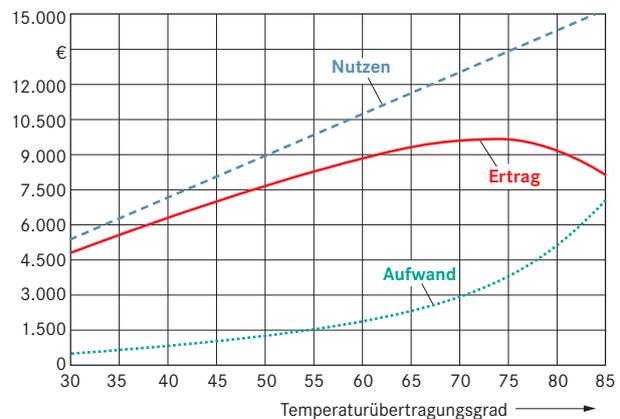
WRG-Systeme Optimierung

Rückwärmzahl (%)	Nutzen (€)	Aufwand (€)	Ertrag (€)
30,0	5.350,1	529,4	4.820,7
35,0	6.241,8	665,2	5.576,6
40,0	7.133,5	823,6	6.309,9
45,0	8.025,2	1.010,7	7.014,5
50,0	8.916,9	1.235,4	7.681,5
55,0	9.808,6	1.509,9	8.298,7
60,0	10.700,3	1.853,0	8.847,2
65,0	11.592,0	2.294,2	9.297,7
70,0	12.483,6	2.882,5	9.601,2
74,0	13.197,0	3.516,0	9.681,0
75,0	13.375,3	3.706,1	9.669,3
80,0	14.267,0	4.941,4	9.325,6
85,0	15.158,7	7.000,4	8.158,4

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 ± 1 % der Kosten)



7 Optimum der Wärmerückgewinnung (Fall 3 mit erhöhter Laufzeit)

Quellen: Kaup