



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

SCOP versus COP und JAZ

Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung

Harry Grünenwald
Geschäftsführer Grünenwald AG



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

...Grünenwald AG stellt sich vor

Rechtsform	Aktiengesellschaft
Gründungsjahr	1989
Anzahl Mitarbeiter	50
Kundenstamm	ca. 10'000 Anlagen, davon ca. 6'500 Wärmepumpen
Geschäftsleitung	Rolf Grünenwald, technische Leitung Harry Grünenwald, kaufmännische Leitung und Verkauf
Mission	ökologisch und ökonomisch sinnvolle Lösungen in den Bereichen Heizung, Lüftung, Klima und Luftreinigung, getreu unserem Motto: «alles aus einer Hand»



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54



Beratung

Wärmepumpen-Heizsysteme
inkl. Warmwasseraufbereitung



Planung

Erdwärmesonden Bohrungen

Solartechnologie



Ausführung

Indoor Air Quality - Luftreinigung und
kontrollierte Wohnraumbelüftung



Service

Klima- und Kältetechnik für das allgemeine
Wohlbefinden



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

COP (coefficient of performance)

drückt die im Labor gemessene Effizienz einer Wärmepumpe bei einem bestimmten Betriebszustand aus.

Verhältniszahl zwischen abgegebener Wärmemenge und Energiebedarf der Wärmepumpe für:

- Kompressor
- Abtauvorgang bei LW-WP
- Regelung
- Ventilator und Umwälzpumpen zur Überwindung der internen Druckverluste

Je höher die Zahl desto besser der Wirkungsgrad.



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Gemessen wird bei den folgenden Werten:

LW-WP	L2° / W35°
SW-WP	B0° / W35°
WW-WP	W10° / W35°

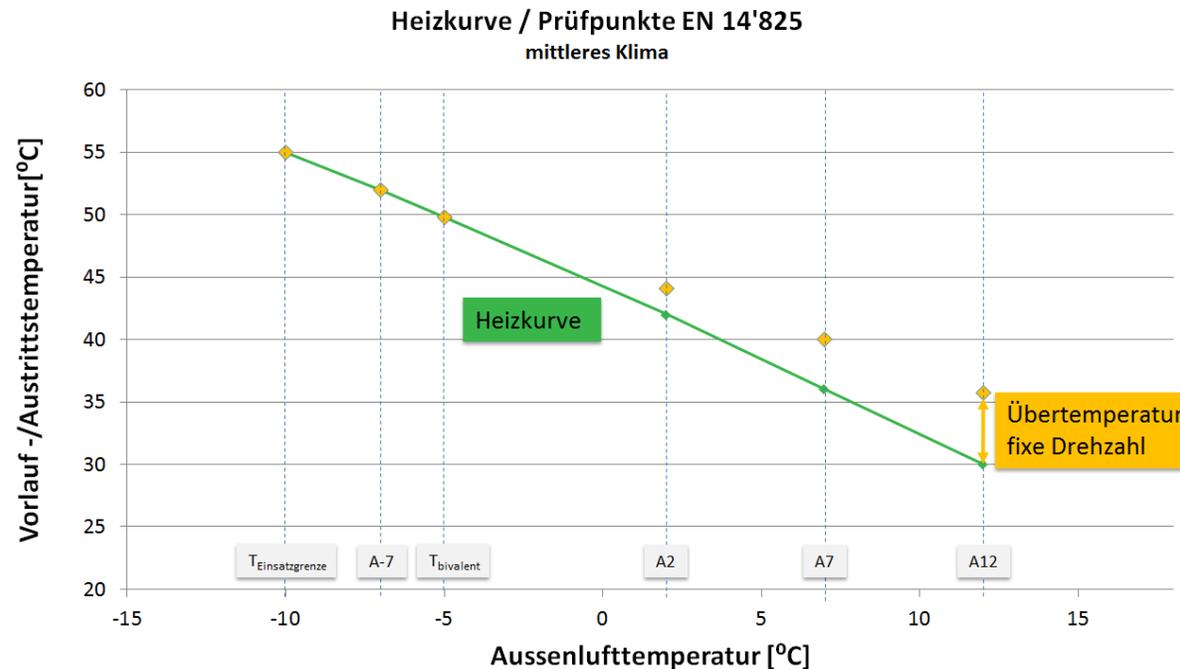
Wichtig:

- die Peripherie ist nicht abgebildet
- die Messpunkte sind „willkürlich“ gewählt
- der COP lässt keine Systemvergleiche zu
- on/off Betrieb



SCOP (Seasonal COP gemäss EN 14825

SCOP basiert auf im Labor gemessenen COP-Werten (und Heizleistungen), in der Regel im Teillastbereich gefahren, bei mehreren Prüfpunkten, mit unterschiedlichen Wasser- und Luft-Temperaturen.





GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Die Norm EN 14825 definiert folgendes:

- 3 Heizzonen:	C = colder	Helsinki	-22°C
	A = average	Strassburg	-10°C
	W= warmer	Athen	+2°C

Die Heizgrenze liegt bei allen Zonen bei +16°C

- 2 Wassertemperaturen:	Niedertemperatur	35°C
	Hochtemperatur	55°C

- Messpunkte für Zone A: 12°C, 7°C, 2°C, -7°C, -10°C



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Prüfpunkt	<u>Wärmequelle</u> Aussenluft- temperatur	<u>Wärmesenke</u> Austrittstemperatur im Betrieb	Heizleistung Wärmepumpe	COP bei Teillast
	°C	°C	kW	-
A	-7	52	5.28	1.96
B	2	44	7.24	2.80
C	7	40	9.22	3.52
D	12	36	10.75	4.13
E (Einsatzgrenze)	-10	55	4.67	1.69
F (Bivalenztemperatur)	-5	50	5.70	2.16

Tabelle A.2 — Temperaturstufen(BIN)-Nummer j , Außentemperatur T_j in °C und Anzahl der Stunden je Temperaturstufe (BIN) h_j entsprechend den Referenzheizperioden „wärmer“, „mittel“, „kälter“

j #	T_j °C	Wärmer (W) h_{jW} h	Mittel (A) h_{jA} h	Kälter (C) h_{jC} h
1 bis 8	-30 bis -23	0	0	0
9	-22	0	0	1
10	-21	0	0	6
11	-20	0	0	13
12	-19	0	0	17
13	-18	0	0	19
14	-17	0	0	26
15	-16	0	0	39
16	-15	0	0	41
17	-14	0	0	35
18	-13	0	0	52
19	-12	0	0	37
20	-11	0	0	41
21	-10	0	1	43
22	-9	0	25	54
23	-8	0	23	90
24	-7	0	24	125
25	-6	0	27	169
26	-5	0	68	195
27	-4	0	91	278
28	-3	0	89	306
29	-2	0	165	454
30	-1	0	173	385
31	0	0	240	490
32	1	0	280	533
33	2	3	320	380
34	3	22	357	228
35	4	63	356	261
36	5	63	303	279
37	6	175	330	229
38	7	162	326	269
39	8	259	348	233
40	9	360	335	230
41	10	428	315	243
42	11	430	215	191
43	12	503	169	146
44	13	444	151	150
45	14	384	105	97
46	15	294	74	61
Gesamt		3 590	4 910	6 446

Tabelle C.2 — Berechnung Temperaturstufen (BIN) für $SCOP_{on}$

Temperaturstufe (BIN)	Außentemperatur (Trockenkugel)	Stunden	Heizlast	Heizlast der Wärmepumpe	Widerstandsheizung	Jahres-Widerstandsheizung	$COP_{bin}(T_j)$	Jahresheizlast	Jahresleistungsaufnahme einschließlich elektrisches Zusatzheizgerät ^a	
j	T_j	h_j	$P_{h(T_j)}$		$elbu_{(T_j)}$	$H_j \times elbu_{(T_j)}$		$h_j \times P_{h(T_j)}$		
-	°C	h	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	
F	21	-10	1	11,46	7,80	3,66	4	2,60	11	7
	22	-9	25	11,02	8,38	2,64	66	2,82	276	140
	23	-8	23	10,58	8,97	1,62	37	3,04	243	105
A	24	-7	24	10,14	9,55	0,59	14,18	3,26	243	84
E	25	-6	27	9,70	9,70	0,00	0,00	3,30	262	79
	26	-5	68	9,26	9,26	0,00	0,00	3,35	630	188
	27	-4	91	8,82	8,82	0,00	0,00	3,40	802	236
	28	-3	89	8,38	8,38	0,00	0,00	3,45	746	216
	29	-2	165	7,94	7,94	0,00	0,00	3,50	1310	374
	30	-1	173	7,50	7,49	0,00	0,00	3,55	1297	365
	31	0	240	7,05	7,05	0,00	0,00	3,60	1693	470
	32	1	280	6,61	6,61	0,00	0,00	3,65	1852	507
B	33	2	320	6,17	6,17	0,00	0,00	3,70	1975	534
	34	3	357	5,73	5,73	0,00	0,00	3,77	2046	543
	35	4	356	5,29	5,29	0,00	0,00	3,83	1884	492
	36	5	303	4,85	4,85	0,00	0,00	3,90	1470	377
	37	6	330	4,41	4,41	0,00	0,00	3,96	1455	367
C	38	7	326	3,97	3,97	0,00	0,00	4,03	1294	321
	39	8	348	3,53	3,53	0,00	0,00	3,87	1227	318
	40	9	335	3,09	3,09	0,00	0,00	3,70	1034	279
	41	10	315	2,65	2,64	0,00	0,00	3,54	833	236
	42	11	215	2,20	2,20	0,00	0,00	3,37	474	140
D	43	12	169	1,76	1,76	0,00	0,00	3,21	298	93
	44	13	151	1,32	1,32	0,00	0,00	3,05	200	66
	45	14	105	0,88	0,88	0,00	0,00	2,88	93	32
	46	15	74	0,44	0,43	0,00	0,00	2,72	33	12
				Σ =>					23 679	6 582

 $SCOP_{on}$ (Gleichung (11))

3,61

^a Die Jahresleistungsaufnahme mit der Widerstandsheizung wird für jede Klasse berechnet, indem das Verhältnis von Heizlast zum COP-Wert mit der Anzahl dieser entsprechenden Temperaturstufen(BIN)-Stunden einschließlich der Widerstandsheizung nach folgender Gleichung multipliziert wird:

$$\text{Jahresleistungsaufnahme mit Widerstandsheizung} = h_j \times ((P_{h(T_j)} - elbu_{(T_j)}) / COP_{bin}(T_j)) \times elbu_{(T_j)}$$



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Temperaturstufen, Aussentemperaturen und deren Gewichtung (EN 14825:2013)

Tabelle A.2 — Temperaturstufen(BIN)-Nummer j , Außentemperatur T_j in °C und Anzahl der Stunden je Temperaturstufe (BIN) h_j entsprechend den Referenzheizperioden „wärmer“, „mittel“, „kälter“

j #	T_j °C	Wärmer (W)	Mittel (A)	Kälter (C)
		h_{jW} h	h_{jA} h	h_{jC} h
1 bis 8	-30 bis -23	0	0	0
9	-22	0	0	1
10	-21	0	0	6
11	-20	0	0	13
12	-19	0	0	17
13	-18	0	0	19
14	-17	0	0	26
15	-16	0	0	39
16	-15	0	0	41
17	-14	0	0	35
18	-13	0	0	52
19	-12	0	0	37
20	-11	0	0	41
21	-10	0	1	43
22	-9	0	25	54
23	-8	0	23	90
24	-7	0	24	125
25	-6	0	27	169
26	-5	0	68	195
27	-4	0	91	278
28	-3	0	89	306
29	-2	0	165	454
30	-1	0	173	385
31	0	0	240	490
32	1	0	280	533
33	2	3	320	380
34	3	22	357	228
35	4	63	356	261
36	5	63	303	279



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
 Lauetstrasse 39
 8112 Otelfingen
 Tel.: 043 243 53 53
 Fax: 043 243 53 54

Tabelle C.2 — Berechnung Temperaturstufen (BIN) für $SCOP_{on}$

	Temperaturstufe (BIN)	Außenlufttemperatur (Trockenkugel)	Stunden	Heizlast	Heizlast der Wärmepumpe	Widerstandsheizung	Jahres-Widerstandsheizung	$COP_{bin}(T_j)$	Jahresheizlast	Jahresleistungsaufnahme einschließlich elektrisches Zusatzheizgerät ²⁾
	j	T_j	h_j	$P_{h(T_j)}$		$eibu_{(T_j)}$	$H_j \times eibu_{(T_j)}$		$h_j \times P_{h(T_j)}$	
	-	°C	h	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh
F	21	-10	1	11,46	7,80	3,66	4	2,60	11	7
	22	-9	25	11,02	8,38	2,64	66	2,82	276	140
	23	-8	23	10,58	8,97	1,62	37	3,04	243	105
A	24	-7	24	10,14	9,55	0,59	14,18	3,26	243	84
E	25	-6	27	9,70	9,70	0,00	0,00	3,30	262	79
	26	-5	68	9,26	9,26	0,00	0,00	3,35	630	188
	27	-4	91	8,82	8,82	0,00	0,00	3,40	802	236
	28	-3	89	8,38	8,38	0,00	0,00	3,45	746	216
	29	-2	165	7,94	7,94	0,00	0,00	3,50	1310	374
	30	-1	173	7,50	7,49	0,00	0,00	3,55	1297	365
	31	0	240	7,05	7,05	0,00	0,00	3,60	1693	470
	32	1	280	6,61	6,61	0,00	0,00	3,65	1852	507
	B	33	2	320	6,17	6,17	0,00	0,00	3,70	1975
34		3	357	5,73	5,73	0,00	0,00	3,77	2046	543
35		4	356	5,29	5,29	0,00	0,00	3,83	1884	492



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Der SCOP ist aufgrund der Referenz Strassburg bezüglich der Temperaturen in der Schweiz zu hoch.

nicht gewichtete Durchschnittstemperaturen für:	9 Monate	3 Monate
Strassburg	7.5°C	1.8°C
Bern	6.1°C	0°C
Zürich	6.7°C	0.2°C
St. Moritz	0.7°C	-16.4°C
Lugano	8.9°C	3.6°C

1 K Unterschied bei der Verdampfungstemperatur, je nach Wirkungsgrad im Teillastbereich, bringt eine Verschlechterung von ca. 3 - 4 %.

Somit müsste der SCOP, mit den Temperaturen Schweiz gerechnet, ca. 5 - 7 % tiefer liegen.
(ohne St. Moritz und Lugano)



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Wichtig:

Obwohl der SCOP versucht eine Heizperiode abzubilden, zeigt dieser nur bedingt die Verhältnisse in der Schweiz auf.

Der SCOP bezieht sich nur auf die Wärmepumpe. Die Peripherie/Einbindung ist nicht berücksichtigt. (Speicher-, Fernleitungsverluste etc.)

Der SCOP lässt keine Systemvergleiche mit anderen Energieträgern und anderen Wärmepumpensystemen zu

Die Warmwasseraufbereitung ist nicht berücksichtigt

Der SCOP EN14825 ist ein Laborwert mit welchem nur LW-WP's untereinander verglichen werden können



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Systemvergleich SW-WP mit LW-WP (COP versus SCOP)

COP SW-WP bei B0/W35: 4.7

SCOP LW-WP: 4.3





GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Der COP zeigt Effizienz eines Gerätes bei einem bestimmten Betriebszustand

Für die Beurteilung des Jahres-Wirkungsgrad bzw. der Kosten für eine Heizperiode nicht anwendbar

Parameter B0/W35 entspricht nicht dem aktuellen Stand der Technik

Bei Erdwärmesonde nach SIA 384/6 dimensioniert, liegen die durchschnittlichen Sondentemperaturen bei ca. +5°C und nicht bei 0°C

der COP basiert auf einem Festwert von (35°C),
(keine Heizkurve)





GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

SCOP (EN14825) Abbild des Wirkungsgrades einer LW-WP während einer Heizperiode bei vordefinierten und gewichteten Laborwerten für Aussen- und Vorlauftemperatur inkl. Standby-Verlusten, für ein fiktives Gebäude.





GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Um fair vergleichen zu können, sind Korrekturen nötig

Anstieg der durchschnittlichen WQ-Temp. um 5K = COP plus ca. 15 %

Reduktion der durchschnittlichen VL-Temp. auf 30°C = COP plus ca. 10 %

Rechnung: $4.7 + 25\% = 5.9$ (korrigierte Wirkungsgrad)

Weiter sind noch die Klimadaten an Schweizer Verhältnisse anzupassen,
Dies hat eine Verschlechterung des SCOP um ca. 5 % zur Folge.

$5.9 : (4.3 - 0.2) = \text{Faktor } 1.44$

Die vermeintlich kleine Differenz der LW-WP versus SW-WP, steigt somit
auf einen stolzen Unterschied der Effizienz von ca. 44 %

abzgl. Stand-by-Verluste von max. 1 % = 43 %





GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

JAZ ist die richtige Zahl

Für wirtschaftliche Systemvergleiche mit anderen Energieträgern und unterschiedlichen Wärmepumpensystemen brauchen wir eine andere Zahl

Wir verwenden dafür den Begriff JAZ (Jahresarbeitszahl)

JAZ wird unterschiedlich definiert. Wir verwenden zwei Definitionen die für unsere Wirtschaftlichkeitsberechnungen Sinn machen:

1.
$$\text{JAZ} = \frac{\text{von der Wärmepumpe produzierte Wärme} - \text{Verluste für Speicher, Boiler etc.}}{\text{vom System aufgenommene elektrische Energie}}$$

diese Definition entspricht derjenigen von Minergie. Andere Literaturen reden dabei auch von Systemnutzungsgrad (SNG)



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Mit dieser JAZ kann z.B. eine Ölheizung mit einer Wärmepumpe verglichen werden.

Beispiel: 3'000 lt. Öl für Heizung und Warmwasser pro Jahr

Faustregel 3'000 lt. x 10 kWh x 0.85 % = 25'500 kWh genutzte Energie
Wärmepumpe mit einer JAZ von 4 = 25'500 kWh : 4 = 6'375 kWh benötigte Energie

Öl 3000 lt. x Fr. 80.00/100 lt.	Fr.	2'400.00
Strom 6'375 kWh x Fr. 0.15	Fr.	956.25

Es versteht sich, dass die JAZ, wie vorgängig definiert, nicht mit einem Stromzähler und/oder Wärmezähler einfach nachkontrolliert werden kann.



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

2.

Es gibt aber eine noch genauere und wesentlich einfacher zu kontrollierende JAZ die für unsere wirtschaftlichen Berechnungen, besonders beim Ersatz von bestehenden Anlagen, optimal geeignet ist.

Wir nennen sie „JAZEnergie“ und berechnen sie wie folgt:

bisheriger Ölverbrauch 3000 lt.	30'000 kWh
Stromverbrauch neue Wärmepumpe	6'375 kWh

Berechnung JAZEnergie: $30'000 : 6'375 = 4,7$



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Die JAZEnergie kann sehr einfach kontrolliert werden. Der bisherige Energieverbrauch des alten Heizsystems ist bekannt. Wir benötigen nun nur noch einen Stromzähler für die Wärmepumpe und die Umwälzpumpen etc. (Wärmezähler entfallen)

Die JAZEnergie funktioniert bei allen Wärmeträgern

In der JAZEnergie sind sämtliche Verluste der unterschiedlichen Energieträger enthalten:

- Verluste durch die Verbrennung
- Verluste durch Abwärme
- Verluste der Verteilung
- Verluste der Speicherung



GRÜNENWALD



... wirtschaftlich ökologisch



Grünenwald AG
Lauetstrasse 39
8112 Otelfingen
Tel.: 043 243 53 53
Fax: 043 243 53 54

Viel stärker als bei anderen Heizsystemen wird die JAZ wie auch die JAZEnergie, im Zusammenhang mit Wärmepumpen, durch eine sorgfältige Planung und eine optimale Einbindung ins Heizsystem beeinflusst.

möglichst verzichten auf:

- Speicher sowie Speicher-Boiler-Kombinationen
- Fernleitungen

weiter zu beachten:

- möglichst tiefe Vorlauftemperatur beim Ausgang der Wärmepumpe
- Wärmequelle optimieren
- einfache Systeme bauen