

# Leistungszahlen für Kälte-, Klima- und Wärmepumpensysteme

Die fachgerechte Auswahl von Kälte-, Klima- und Wärmepumpensystemen erfolgt, neben vielen andern Einflussgrössen, durch die Beurteilung der Energieeffizienz aufgrund der Leistungszahlen. Je nach System werden unterschiedliche Leistungszahlen angewendet. Die Definitionen müssen daher bei Beurteilung und Vergleich unterschieden werden.

Von Claudio Müller

Allgemein werden Leistungszahlen als Verhältnis aus Nutzen und Aufwand definiert. Anders als bei Wirkungsgraden, die in praktischen Systemen immer kleiner sind als 1, sollen Leistungszahlen möglichst gross sein.

$$\text{Leistungszahl} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$$

Bei Kältemaschinen wird die Leistungszahl allgemein auf das Verhältnis der Kälteleistung zur Leistungsaufnahme bezogen.

$$[\epsilon_K] = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\dot{Q}_0}{P}$$

$\epsilon_K$  : Kälteleistungszahl

$\dot{Q}_0$  : Kälteleistung

$P$  : Leistungsaufnahme

Wird hingegen die Leistungszahl für eine Wärmepumpe definiert, so ergibt sich diese beim Vergleich von Nutzen und Aufwand aus dem Verhältnis der Verflüssigerleistung zur Leistungsaufnahme.

$$[\epsilon_{WP}] = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\dot{Q}_C}{P}$$

$\epsilon_{WP}$  : WP – Leistungszahl

$\dot{Q}_C$  : Verflüssigerleistung

$P$  : Leistungsaufnahme

### Coefficient of Performance COP

Der Begriff COP hat sich neben dem Begriff «Leistungszahlen» durchgesetzt: COP = Coefficient of Performance, also der Vergleich von Leistungen.

So wird der COP allgemeingültig für Vergleichszahlen verwendet:

1. für Kältemaschinen:

$$[COP] = \frac{\dot{Q}_0}{P}$$

2. für Wärmepumpen:

$$[COP] = \frac{\dot{Q}_C}{P}$$

### Energy Efficiency Ratio EER

Um die Begriffe der unterschiedlichen Anwendungen besser voneinander zu unterscheiden, wurde vor allem in der Klimatechnik, der Begriff EER eingeführt. EER steht für Energy Efficiency Ratio und bezeichnet die Effizienz für den Kühlbetrieb. Deshalb werden nun umschaltbare Klimageräte (kühlen/heizen) mit zwei Leistungszahlen bewertet:

EER: Kälteleistungszahl  
COP: Leistungszahl für Heizbetrieb

Die EER-Vergleichszahlen dienen bei Klimageräten bis zu 12 kW Kälteleistung zur Einteilung in die Energieeffizienzklassen A bis G, mit entsprechender Energieetikette.

Seit der Einführung der Energieetikette für Klimageräte, wurden die EER durch effizienter gebaute Geräte bereits verbessert. Dadurch sind Geräte mit hohem Verbrauch der Klasse G, mehrheitlich vom Markt verschwunden.

Energieeffizienzklasse	Luftgekühlte Split- und Multisplit-Geräte im Kühlbetrieb
A	3.20 < EER
B	3.20 ≥ EER > 3.00
C	3.00 ≥ EER > 2.80
D	2.80 ≥ EER > 2.60
E	2.60 ≥ EER > 2.40
F	2.40 ≥ EER > 2.20
G	2.20 ≥ EER

### Leistungszahlen von Kältemaschinen und Wärmepumpen

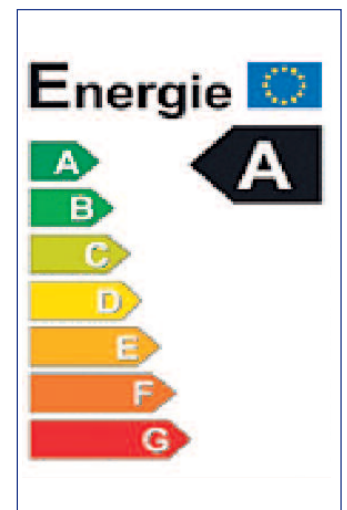
	to	tc	$\dot{Q}_0$	P	$\epsilon_K$
Klima-Kälteanlage	+1 °C	+35 °C	10 kW	2.40 kW	4.16
Pluskühlanlage	-10 °C	+45 °C	10 kW	4.16 kW	2.40
Tiefkühlanlage	-35 °C	+40 °C	10 kW	7.09 kW	1.41

	to	tc	$\dot{Q}_C$	P	$\epsilon_{WP}$
Abwärme-Wärmepumpe	+15 °C	+40 °C	10 kW	1.87 kW	5.33
Sole-Wasser-Wärmepumpe	-3 °C	+40 °C	10 kW	2.38 kW	4.20
Luft-Wasser-Wärmepumpe	-15 °C	+40 °C	10 kW	3.17 kW	3.15

- to: Verdampfungstemperatur
- tc: Verflüssigungstemperatur
- $\dot{Q}_0$ : Kälteleistung
- $\dot{Q}_C$ : Verflüssigungsleistung
- P: Leistungsaufnahme
- $\epsilon_K$ : Kälteleistungszahl
- $\epsilon_{WP}$ : Leistungszahl Wärmepumpe

Die Gegenüberstellung von Leistungszahlen verschiedener Kältemaschinen und Wärmepumpen, bei üblichen Betriebsbedingungen, zeigt die unterschiedlichen Grössenordnungen der Leistungszahlen.

EER-Vergleichszahlen und Energieeffizienzklassen für Klimageräte



TECS-HF	IPLV	Valore EER - EER Value			
		100%	75%	50%	25%
1AI	9,82	5,34	7,77	11,30	11,90
1AN	9,60	5,09	7,51	11,10	11,80
1AS	9,29	4,62	7,14	10,70	11,80

TECS-HF	ESEER	Valore EER - EER Value			
		100%	75%	50%	25%
1AI	9,27	5,33	7,24	9,60	12,10
1AN	9,11	5,08	7,01	9,47	12,00
1AS	8,90	4,64	6,69	9,28	11,95

**IPLV- und ESEER-Werte für drei Kaltwassersätze im Vergleich**

**ESEER und IPLV**

Für Kaltwassersätze wird ebenso der EER angewendet. Aber mit dem Wissen, dass ein Kaltwassersatz sehr viele Betriebsstunden im Teillastbereich arbeitet, hat die Eurovent Certification jedoch eine besser zutreffende Methode entwickelt. Für Kaltwassersätze gilt nach dem Zertifizierungsprogramm LCP (Liquid Cooler Package), die Vergleichszahl ESEER. Die European Seasonal Energy Efficiency Ratio (ESEER) bietet die Möglichkeit, die Effizienz einer Kaltwassermaschine unter Berücksichtigung der wechselnden klimatischen Bedingungen zu bewerten. Dabei wird mit der Definition von vier typischen Betriebszuständen eine durchschnittliche Leistungszahl ermittelt. Das Erreichen einer hohen Leistungszahl nach dieser Methode setzt voraus, dass ein Kaltwassersatz mit energieeffizienten Komponenten und Kältemitteln, und vor allem mit einer sehr effizienten Verdichter-Leistungsregulierung ausgestattet ist. Die Anpassung der Verdichterkälteleistung an den effektiven Bedarf, durch saisonale Änderung der Betriebsbedingungen, wird also beim ESEER berücksichtigt. Die ESEER-Zahlen treffen für europäische Standorte zu. Daneben werden nach US-amerikanischer Methode, durch das Air-conditioning and Refrigeration Institute (ARI), die Integrated Part Load Value (IPLV) definiert. Das Bewertungsschema entspricht dem ESEER weitgehend, allerdings werden andere Bezugstemperaturen und Bewertungsanteile der Laufzeiten zu Grunde gelegt.



**Kaltwassersatz mit drehzahlregulierten Turboverdichtern**

**COP für Wärmepumpen**

Leistungszahlen für Kältemaschinen werden also immer bei genau definierten Bedingungen festgelegt. Dabei werden, je nach Anwendung, entweder die Verdampfungs- und Verflüssigungstemperaturen im Kältemittelkreislauf oder die Medientemperaturen festgelegt. Bei der Leistungsaufnahme sind neben der Verdichterteistung auch die Leistungsaufnahmen von Steuerung und Regulierung sowie der Sole- und Wasserpumpen resp. Ventilatoren entsprechend den statischen Druckverlusten in den Wärmeaustauschern einzurechnen. Der COP-Vergleich für Wärmepumpen erfolgt nach EN14511-2 bei folgenden Bedingungen:

- EER = Energy Efficiency Ratio
- ESEER = European Seasonal Energy Efficiency Ratio
- ESEER =  $(3 \cdot EER_{100\%} + 33 \cdot EER_{75\%} + 41 \cdot EER_{50\%} + 23 \cdot EER_{25\%}) / 100$

	Teillastfaktoren	Lufttemperatur °C	Wassertemperatur °C	Bewertungsanteil
EER A	100 %	35	30	3 %
EER B	75 %	30	26	33 %
EER C	50 %	25	22	41 %
EER D	25 %	20	18	23 %

- IPLV = Integrated Part Load Value
- IPLV =  $(1 \cdot EER_{100\%} + 42 \cdot EER_{75\%} + 45 \cdot EER_{50\%} + 12 \cdot EER_{25\%}) / 100$

	Teillastfaktoren	Lufttemperatur °C	Bewertungsanteil
EER A	100 %	35	1 %
EER B	75 %	26.7	42 %
EER C	50 %	18.3	45 %
EER D	25 %	12.8	12 %

**Bewertungsschemen für ESEER und IPLV**

WP-Art	Wärmequelle	Wärmeabgabe
Luft-Wasser-WP	A -7	W 45
	A 2	W 35
	A 7	W 35
Sole-Wasser WP	B 0	W 35
Wasser-Wasser-WP	W 10	W 35

A: Air Temperatur Umgebungsluft in °C  
 B: Brine Temperatur der Solemischung in °C  
 W: Water Temperatur des Wassers in °C

**Arbeitszahlen**

Da mit Leistungszahlen jeweils nur ein Vergleich bei momentanen Bedingungen möglich ist, existieren auch Arbeitszahlen. Diese dienen dem Vergleich der Energien, z.B. in kWh/kWh.

Für Wärmepumpen heisst dies also, dass die genutzte Heizenergie in kWh mit dem Verbrauch an elektrischer Energie in kWh verglichen wird.

Arbeitszahlen können durch Feldmessungen mit einem Wärmehähler und einem Elektro-Energiezähler während einer definierten Zeitspanne bestimmt werden. Mit der Berücksichtigung der saisonalen Wärmebedarfsschwankungen sind bei Wärmepumpen vor allem die Jahresarbeitszahlen (JAZ) von Interesse:

$$[ JAZ ] = \frac{Q_{WP} - Q_{Verluste}}{W_{WP} + W_{\text{übrige\_Antriebe}}}$$

JAZ : Jahresarbeitszahl –  
 Q<sub>WP</sub> : Wärmeabgabe\_WP kWh  
 Q<sub>WP</sub> : Wärmeverluste kWh  
 W<sub>WP</sub> : Antriebsenergie\_WP kWh  
 W<sub>WP</sub> : Antriebsenergie\_übrige kWh

Um Jahresarbeitszahlen (JAZ) ohne Messungen zu bestimmen, sind ausgeklügelte Rechenmodelle erforderlich, die den genauen Energiefluss berücksichtigen. JAZ sind daher als Vergleichszahlen erheblich aufwändiger als Leistungszahlen.

**Energieeffizienz**

Das Bewusstsein zum Betreiben energieeffizienter Systeme ist allgemein gestiegen, und doch darf auch an dieser Stelle auf die Optimierung der Leistungszahlen in Kältesystemen hingewiesen werden. Für Kältesysteme und Wärmepumpen gilt:

*Es sind eine möglichst tiefe Verflüssigungstemperatur und eine möglichst hohe Verdampfungstemperatur anzustreben!*

Für Wärmepumpen bedeutet dies weiter:

*Ein niedriges Temperaturniveau der Wärmeabgabe und ein hohes Temperaturniveau der Wärmequelle begünstigen gute Leistungszahlen!*

**Fazit**

Anwendungsspezifisch werden andere Begriffe, aber auch andere Definitionen für Leistungszahlen von Kälte-, Klima- und Wärmepumpensystemen verwendet. Für faire Systemvergleiche sind die Kenntnisse der Definitionen unerlässlich. ■

**Links:**  
[www.eurovent-certification.com](http://www.eurovent-certification.com)  
[www.ari.org](http://www.ari.org)  
[www.topten.ch](http://www.topten.ch)  
[www.wpz.ch](http://www.wpz.ch)

**Normen für weiterführende Hinweise:**  
 EN 255  
 EN 12900  
 EN 14511