

# SCOP-Berechnung für Split-Inverter-Klimageräte

gemäß EU-VO Nr. 206/2012 (Ökodesign-Richtlinie)

Seit 1. Januar 2014 müssen Split-/Multisplit-Raumklimageräte bis 12 kW Kälteleistung im Heizbetrieb einen **SCOP** (*Seasonal Coefficient of Performance*) von 3,8 bzw. bei Verwendung eines Kältemittels mit einem GWP < 150 (*Global Warming Potential*) einen SCOP von 3,42 erreichen. Geräte mit einem niedrigeren SCOP dürfen in den EU-Staaten nicht mehr in Verkehr gebracht werden.

Auf das doch recht umfangreiche Berechnungsverfahren zu Ermittlung des SCOP's, das immer wieder Fragen aufwirft, soll im folgenden näher eingegangen werden.

Während der früher gängige COP (*Coefficient Of Performance*) die Effizienz bei einem einzigen Betriebspunkt im Heizbetrieb angibt, steht der SCOP für die **Arbeitszahl (JAZ=Jahresarbeitszahl) im Heizbetrieb** u. soll nach dem Willen des Gesetzgebers ein wesentlich realitätsnäheres Effizienzmaß darstellen.

## Grundsätzliche Annahmen

Zur seiner Ermittlung müssen allerdings eine ganze Reihe von Annahmen getroffen werden.

So ist in einem ersten Schritt das **Referenzklima** festzulegen. Dazu wurde Europa in drei Klimazonen, nämlich eine durchschnittliche, eine wärmere und eine kältere unterteilt, wobei für Mitteleuropa die durchschnittliche Klimazone, die dem Klima von Strassburg entspricht, relevant ist.

Die in den Datenblättern ohne Zusatz angegebenen SCOP-Werte beziehen sich auf diese durchschnittliche Klimazone, von der auch hier im folgenden ausgegangen wird.

Die durchschnittliche, auf empirischen Daten beruhende, Anzahl von Stunden pro Jahr bei den jeweiligen Außenlufttemperaturen  $h_j$  ist in Tabelle 7 der EU-VO Nr. 206/2012 angegeben.

Dabei fällt auf, dass bei Temperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$  keine „Betriebsstunden“ mehr anfallen, da bei der mittleren Klimazone die **Auslegungsgrenze bei  $-10^{\circ}\text{C}$**  liegt. Sollte über einen längeren Zeitraum die mittlere Außenlufttemperatur unter  $-10^{\circ}\text{C}$  fallen, dann kann u. U. noch ein Wärmerezeuger nötig sein. Da diese Situation, über die Jahre betrachtet, sehr selten auftritt, würde für diese wenigen Stunden ein einfacher u. billiger Heizlüfter zum Aufrechterhalten der gewünschten Raumtemperatur vollauf ausreichen.

Genauso fallen über  $+15^{\circ}\text{C}$  keine Betriebsstunden an, da bei  **$+16^{\circ}\text{C}$  die Heizgrenze** festgelegt wurde. Werden nun sehr gut isolierte Niedrigenergiehäuser bzw. Passivhäuser mit einer deutlich niedrigeren Heizgrenze mittels Klimageräten (Luft-/Luft-Wärmepumpen) beheizt, dann dürfte der dabei erreichte SCOP etwas niedriger als der gemäß der gegenständlichen VO ermittelte Wert liegen, da die Beheizung bei im Schnitt niedrigeren Außenlufttemperaturen erfolgt.

Eine weiter Festlegung findet sich in Tabelle 8. Darin sind die **Betriebsstunden** festgeschrieben, wobei im Heizbetrieb in der mittleren Klimazone von

$H_{\text{HE}} = 1400$  h im Ein-Zustand

$H_{\text{TO}} = 179$  h mit Temperaturregler aus u.

$H_{\text{CK}} = 179$  h mit Kurbelwannenheizung

ausgegangen wird. Dies gilt jedoch nur sofern das Raumklimagerät sowohl Heizen als auch Kühlen kann.

Bei einem Gerät, das nur Heizen kann, fallen zusätzlich

$H_{\text{OFF}} = 3672$  h im Aus-Zustand an,

während die Kurbelwannenheizung  $H_{\text{CK}} = 3851$  h in Betrieb ist.

Etwas befremdlich wirkt hier der Umstand, dass die Summe der Stunden im (Temperaturregler)-Ein-Zustand, Temperaturregler Aus-Zustand, Bereitschaftszustand (Standby) u. Aus-Zustand die

Jahresstundenzahl  $365 \times 24 = 8760$  bei weitem nicht erreicht. Eine Begründung für die angegebenen Werte findet man leider nicht.

Vorgeschrieben sind weiters die **Außenlufttemperaturen**  $T_j$ , nämlich **12°C, 7°C, -2°C, -7°C, -15°C<sup>1</sup>** sowie die Bivalenztemperatur  $T_{biv}$  als auch die Betriebsgrenzwert-Temperatur  $T_{ol}$ , bei denen die Hersteller den COP u. die Heizleistung zu ermitteln haben. Zu beachten ist, dass bei allen Temperaturen oberhalb der Bivalenztemperatur die Raumluft-Inverter-Klimageräte im Teillastbetrieb arbeiten. Das ist auch der Grund dafür, dass sich der früher bei 7°C u. Nennleistung spezifizierte COP von dem nun in die SCOP-Berechnung einfließende COP bei 7°C in der Regel unterscheidet.

Von Relevanz für die SCOP-Ermittlung ist schließlich noch die **Auslegungsleistung**  $P_{designh}$ , die bei der **Auslegungstemperatur**  $T_{designh}$  von **-10°C** spezifiziert ist u. vom Hersteller „frei“ gewählt werden kann. Angenommen wird jedoch, dass bei einer Auslegungsleistung die über der vom Raumklimagerät zu erbringenden Leistung liegt, die Differenz durch eine direktelektrische Heizung mit COP = 1 ausgeglichen wird. Daher würde eine deutlich zu hoch gewählte Auslegungsleistung den SCOP rapide verschlechtern, während eine zu klein gewählte Auslegungsleistung durch das bereits bei tieferen Temperaturen beginnende, effizienzverringende Takten den SCOP ebenfalls langsam abfallen lässt. Daher ergibt sich letztlich die Auslegungsleistung als Ergebnis eines Optimierungsprozesses, wobei auffällt, dass beim maximalen SCOP in der Regel eine kleine Differenz durch eine direktelektrische Wärmequelle auszugleichen ist.

Liegt die vom Wohnort abhängige **Auslegungstemperatur** unter (oder über) der bei der SCOP-Berechnung unterstellten Temperatur von -10°C, so ist ein entsprechend leistungsstärkeres (schwächeres) Gerät auszuwählen.

Beispiel: Auslegungstemperatur  $T_A$ : -15°C, Auslegungsleistung  $P_A$ : 3 kW (bei -15°C) u. die Gerätekennwerte  $P_{dh_{Tol}}$ : 2,56 kW bei  $T_{ol}$ : -15°C,  $P_{dh_{Tdesignh}}$ : 2,79 kW bei  $T_{designh}$ : -10°C.

Unter der Annahme, dass das Verhältnis aus Heizleistung des Klimagerätes zu direktelektrischer Zusatzheizung gleich bleibt, benötigt man ein Klimagerät mit folgender  $P_{designh}$ :

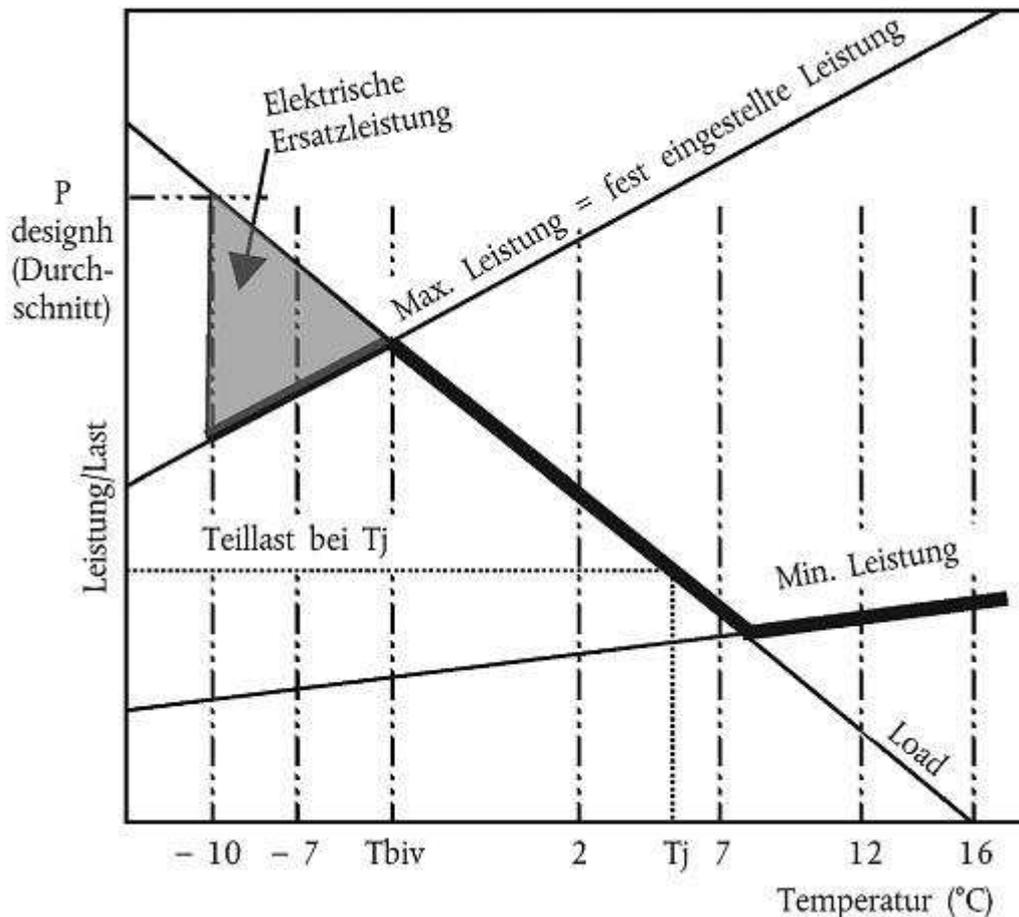
$$P_{designh} = P_A / (1 + (1 - P_{dh_{Tol}} / P_{dh_{Tdesignh}}) * (T_A - T_{designh}) / (T_{designh} - T_{ol})) =$$

$$3 / (1 + (1 - 2,56/2,79) * (-15 + 10) / (-10 + 15)) = 3,27 \text{ kW}$$

---

<sup>1</sup> Dieser Wert ist nur bei Geräten, die zusätzlich zum Heizen in einem kühleren Klima vorgesehen sind, anzugeben.

Die nachstehende Grafik soll die Annahmen zur SCOP-Berechnung veranschaulichen.



Quelle: Amtsblatt der Europäischen Union, EU-VO 206/2012, C172/24

Man erkennt, dass beim Bivalenzpunkt  $T_{biv}$  die Leistung des Klimagerätes gerade noch ausreicht die benötigte Heizlast (Load) abzudecken. Bei niedrigeren Temperaturen ist zusätzlich eine elektrische Ersatzleistung notwendig. Bei  $-10^{\circ}\text{C}$  ist die Auslegungstemperatur  $T_{designh}$  erreicht u. damit die Auslegungsleistung  $P_{designh}$  fixiert.

Bei der Temperatur  $T_j$  arbeitet das Gerät im Teillastbetrieb ohne zu Takten.

Erst bei Temperaturen über ca.  $8^{\circ}\text{C}$  sinkt die Heizlast unter die minimale Leistung des Klimagerätes. Zur Anpassung beginnt das Klimagerät zu takten. Dieses Takten, in der Verordnung als zyklischer Betrieb bezeichnet, führt zu einer Verminderung des für die betreffende Temperatur ermittelten COP.

Bei  $16^{\circ}\text{C}$  ist schließlich die Heizgrenze erreicht.

### Berechnungsschritte

Der SCOP stellt den Quotienten aus Jahresheizenergiebedarf  $Q_H$  und Jahresstromverbrauch für die Heizung  $Q_{HE}$  dar:

$$SCOP = Q_H / Q_{HE}$$

Der Jahresheizenergiebedarf ergibt sich per Definition aus:

$$Q_H = P_{designh} * H_{HE}$$

wobei  $H_{HE}$  die Anzahl der äquivalenten Heizstunden im (Thermostat-)Ein-Zustand, also die bereits oben erwähnten 1400 h sind.

Der Jahresstromverbrauch für die Heizung wird folgendermaßen berechnet:

$$Q_{HE} = Q_H / SCOP_{on} + H_{TO} * P_{TO} + H_{CK} * P_{CK} + H_{OFF} * P_{OFF} + H_{SB} * P_{SB}$$

$H_{TO}$ ,  $H_{CK}$ ,  $H_{OFF}$  wurden bereits oben angegeben u.  $H_{SB} = 0$

$P_{TO}$ ,  $P_{CK}$ ,  $P_{OFF}$ ,  $P_{SB}$  findet man im Datenblatt.

$SCOP_{on}$  ist die durchschnittliche Arbeitszahl im Heizbetrieb, die sich als Quotient aus der mit den Stunden  $h_j$  gewichteten Heizlasten  $Ph(T_j)$  zu den ebenfalls mit den Stunden  $h_j$  gewichteten Stromverbräuchen bei den relevanten Außenlufttemperaturen (von  $T_{designh} = -10^\circ\text{C}$  bis  $+16^\circ\text{C}$ ) ergibt, wobei die Ersatzheizleistung  $elbu(T_j)$  hier mit zu berücksichtigen ist.

$$SCOP_{on} = \frac{\sum_{j=-10^\circ}^{+16^\circ} h_j * Ph(T_j)}{\sum_{j=-10^\circ}^{+16^\circ} h_j * \frac{Ph(T_j) - elbu(T_j)}{COPbin(T_j)} + elbu(T_j)}$$

Die Heizlasten  $Ph(T_j)$  fallen, ausgehend von der Auslegungsleistung  $P_{designh}$  bei  $-10^\circ\text{C}$ , linear mit steigender Außenlufttemperatur bis zur Heizgrenze  $+16^\circ\text{C}$  auf Null und ergeben sich folglich aus:

$$Ph(T_j) = P_{designh} * (T_j - 16) / (-10 - 16)$$

Die elektrische Ersatzheizleistung  $elbu(T_j)$  ergibt sich, wenn bei einer Temperatur  $T_j$  die Heizleistung des Klimagerätes  $Pdh(T_j)$  kleiner als die Heizlast des Raumes  $Ph(T_j)$  ist, aus:  $elbu(T_j) = Ph(T_j) - Pdh(T_j)$  und ist für alle anderen Fälle Null.

Die Betriebsstunden  $h_j$  bei den entsprechenden Außenlufttemperaturen entnimmt man, wie oben bereits erwähnt, aus Tabelle 7.

Einzig zur Ermittlung der  $COPbin(T_j)$  - Werte, die außenlufttemperaturabhängigen Leistungszahlen im Heizbetrieb, bedarf es noch weiterer Berechnungsschritte.

Hierbei wird differenziert zwischen Raumklimageräten mit:

- \* fest eingestellter Leistung (Ein/Aus-Geräte)
- \* Geräte mit abgestufter Leistung u.
- \* Geräte mit **variabler Leistung (Inverter)**.

Für letztere gilt, dass im Außenlufttemperaturbereich, in dem das Inverter-Klimagerät seine Heizleistung, ohne zu Takten, an die Heizlast des Raumes anpassen kann, die zu verwendenden  $COPbin(T_j)$  - Werte den durch Inter-/Extrapolation gewonnenen COP-Werten aus den Datenblättern  $COPd(T_j)$  entsprechen.

$$COPbin(T_j) = COPd(T_j)$$

Ist die Heizlast  $Pd(T_j)$  um mehr als 10% (=Toleranz) kleiner als die minimale Heizleistung des Klimagerätes  $Pdh(T_j)_{io}$ , was zum Takten des Klimagerätes führt, dann sind die COP-Werte mittels des im Datenblatt angegebenen Minderungsfaktors  $Cdh$  nach unten zu korrigieren:

$$COPbin(T_j) = COP(T_j)_{io} * (1 - Cdh * (1 - Ph(T_j)/Pdh(T_j)_{io}))$$

Aus der folgenden Abbildung des EXCEL-Berechnungsblattes, in dem die Berechnungsschritte nachgestellt wurden, lassen sich nochmals die oben aufgelisteten Berechnungsschritte ersehen, wobei blau unterlegte Felder die Eingabedaten aus dem Datenblatt enthalten, hellblau Felder Zwischenergebnisse enthalten u. im gelben Feld das Endergebnis steht.

Berechnung des SCOP nach EU 626/2011																
für ein (mittel-)europäisches Durchschnittsklima (Average)																
Info !!!																
Geräte-Bezeichnung IG	SRK20ZMX-S								SRK35ZMX-S							
Geräte-Bezeichnung AG	SRC20ZMX-S								SRC35ZMX-S							
Pdesignh kW	2,70								3,30							
SCOP aus Datenblatt	4,13								4,27							
Tdesign (Auslegungstemperatur) °C	-10								-10							
Tbiv (Bivalenztemperatur) °C	-7								-7							
Tol (Grenztemperatur) °C	-15								-15							
Pdh (Tdesign = -10°C) kW	2,24								2,79							
elbu (elektrische Zusatzheizleistung) kW	0,46								0,51							
Pdh (-7°C) kW	2,39								2,92							
Pdh (+2°C) kW	1,45								1,78							
Pdh (+7°C) kW	1,24								1,29							
Pdh (+12°C) kW	1,53								1,56							
Pdh (Tbiv = -7°C) kW	2,39								2,92							
Pdh (Tol = -15°C) kW	2,00								2,56							
COPd (-7°C)	2,70								2,65							
COPd (+2°C)	4,20								4,35							
COPd (+7°C)	5,40								5,60							
COPd (+12°C)	6,90								7,10							
COPd (Tbiv)	2,70								2,65							
COPd (Tol)	2,40								2,40							
Cdh (Minderungsfaktor)	0,25								0,25							
Poff (Aus-Zustand) W	5								5							
Psb (Stand by) W	5								5							
Pto (Thermostat-Aus) W	20								30							
Pck (Kurbelgehäuseheizung) W	0								0							
Q <sub>HE</sub> (elektrische Energieaufnahme p.a., mit obigen SCOP berechnet) kWh/a	915								1082							
Q <sub>H</sub> kWh/a	3780								4620							
Q <sub>HE</sub> kWh/a	915								1081							
SCOPon	4,15								4,30							
<b>SCOP</b>	<b>4,13</b>								<b>4,27</b>							
	Tj	hj	Ph	Pdh	elbu	COP	COP	Wärme	Strom	Ph	Pdh	elbu	COP	COP	Wärme	Strom
Tdesign = Tj=	-10	1	2,70	2,24	0,46	2,20	2,20	2,70	1,48	3,30	2,79	0,51	2,08	2,08	3,30	1,85
Tj=	-9	25	2,60	2,29	0,31	2,37	2,37	64,90	31,84	3,17	2,83	0,34	2,27	2,27	79,33	39,67
Tj=	-8	23	2,49	2,34	0,15	2,53	2,53	57,32	24,75	3,05	2,88	0,17	2,46	2,46	70,06	30,79
Tbiv = Tj=	-7	24	2,39	2,39	0,00	2,70	2,70	57,32	21,23	2,92	2,92	0,00	2,65	2,65	70,06	26,44
Tj=	-6	27	2,28	2,29	0,00	2,87	2,87	61,68	21,52	2,79	2,79	0,00	2,84	2,84	75,39	26,56
Tj=	-5	68	2,18	2,18	0,00	3,03	3,03	148,29	48,89	2,67	2,67	0,00	3,03	3,03	181,25	59,86
Tj=	-4	91	2,08	2,08	0,00	3,20	3,20	189,00	59,08	2,54	2,54	0,00	3,22	3,22	231,00	71,81
Tj=	-3	89	1,97	1,97	0,00	3,37	3,37	175,60	52,21	2,41	2,41	0,00	3,41	3,41	214,63	63,02
Tj=	-2	165	1,87	1,87	0,00	3,53	3,53	308,42	87,46	2,28	2,28	0,00	3,59	3,59	376,96	104,87
Tj=	-1	173	1,77	1,76	0,00	3,70	3,70	305,41	82,80	2,16	2,16	0,00	3,78	3,78	373,28	98,66
Tj=	0	240	1,66	1,66	0,00	3,87	3,87	398,77	103,60	2,03	2,03	0,00	3,97	3,97	487,38	122,70
Tj=	1	280	1,56	1,55	0,00	4,03	4,03	436,15	108,82	1,90	1,90	0,00	4,16	4,16	533,08	128,11
Tj=	2	320	1,45	1,45	0,00	4,20	4,20	465,23	111,71	1,78	1,78	0,00	4,35	4,35	568,62	130,72
Tj=	3	357	1,35	1,41	0,00	4,44	4,44	481,95	108,55	1,65	1,68	0,00	4,60	4,60	589,05	128,05
Tj=	4	356	1,25	1,37	0,00	4,68	4,68	443,63	94,79	1,52	1,58	0,00	4,85	4,85	542,22	111,80
Tj=	5	303	1,14	1,32	0,00	4,92	4,75	346,12	72,85	1,40	1,48	0,00	5,10	5,10	423,03	82,95
Tj=	6	330	1,04	1,28	0,00	5,16	4,91	342,69	69,72	1,27	1,39	0,00	5,35	5,35	418,85	78,29
Tj=	7	326	0,93	1,24	0,00	5,40	5,07	304,68	60,12	1,14	1,29	0,00	5,60	5,44	372,39	68,46
Tj=	8	348	0,83	1,30	0,00	5,70	5,19	289,11	55,74	1,02	1,34	0,00	5,90	5,54	353,35	63,79
Tj=	9	335	0,73	1,36	0,00	6,00	5,30	243,52	45,91	0,89	1,40	0,00	6,20	5,64	297,63	52,82
Tj=	10	315	0,62	1,41	0,00	6,30	5,42	196,27	36,22	0,76	1,45	0,00	6,50	5,73	239,88	41,88
Tj=	11	215	0,52	1,47	0,00	6,60	5,53	111,63	20,18	0,63	1,51	0,00	6,80	5,82	136,44	23,46
Tj=	12	169	0,42	1,53	0,00	6,90	5,64	70,20	12,44	0,51	1,56	0,00	7,10	5,90	85,80	14,54
Tj=	13	151	0,31	1,59	0,00	7,20	5,75	47,04	8,18	0,38	1,61	0,00	7,40	5,99	57,50	9,60
Tj=	14	105	0,21	1,65	0,00	7,50	5,86	21,81	3,72	0,25	1,67	0,00	7,70	6,07	26,65	4,39
Tj=	15	74	0,10	1,70	0,00	7,80	5,97	7,68	1,29	0,13	1,72	0,00	8,00	6,15	9,39	1,53
<b>Summen</b>								<b>5577</b>	<b>1345</b>						<b>6817</b>	<b>1587</b>

Quelle: eigene Zusammenstellung

Interessant ist, dass sich bei den zwei vom Aufbau vergleichbaren Inverter-Klimageräten vom Mitsubishi Heavy Industries mit einem COP von 5,56 beim SRK20ZMX-S u. von 4,48 beim SRK35ZMX-S sich nun die Reihung nach dem neuen Effizienzmaß SCOP umgedreht hat.

Wenn man die Zwischenergebnisse miteinander vergleicht, wird diese Veränderung nachvollziehbar.

So sind die COP<sub>bin(Tj)</sub> – Werte beim SRK20ZMX-S nur noch bei den nahezu irrelevanten Außenlufttemperaturen unter -6°C gegenüber dem leistungsstärkeren Bruder überlegen.

Der hohe COP von 5,56 bei 7°C Außentemperatur und 2,5 kW Nennheizleistung beim SRK20ZMX-S verringert sich bei der minimalen Heizleistung von 1,24 kW u. leicht taktendem Betrieb auf 5,07, während das SRK35ZMX-S einen verblüffend hohen COP von 5,44 bei 1,29 kW minimaler Heizleistung u. deutlich geringer taktendem Betrieb erreicht.

Verwunderlich erscheint, dass in den Datenblättern als minimale Heizleistung 0,9 kW angegeben wird, wohingegen bei den Daten zur SCOP-Ermittlung 1,24 bzw. 1,29 kW als minimale Heizleistungen aufscheinen. Möglicherweise wird die durch keine Norm spezifizierte minimale Heizleistung von 0,9 kW erst bei deutlich niedrigeren Außentemperaturen erreicht.

Da bei den hier vorliegenden Klimageräten die Messwerte bei -15°C Außenlufttemperatur nicht erfasst werden müssten, dürfen diese auch nicht in die Berechnung einfließen. Daher werden die COP-Werte unterhalb von -7°C durch Extrapolation, ausgehend von den Werten bei Außenlufttemperaturen von +2°C u. -7°C ermitteln. Da aber gerade in diesem Außenlufttemperaturbereich aufgrund der häufiger auftretenden Abtauzyklen der COP stärker fällt als bei tieferen Temperaturen, liegen unter -7°C die in die Berechnung einfließenden COP-Werte zu tief. Diese Abweichung wird auch durch Vergleich mit dem COP bei -15°C Außenlufttemperatur ersichtlich, der jeweils bei 2,4 liegt. Dieser „Berechnungsfehler“ verringert den SCOP letztlich jedoch nur um ca. 1 bis 2 Hundertstel.

## Hinweise für die Dimensionierung bzw. Klimageräteauswahl

- 1) Bei Einsatz eines Klimagerätes als Vollheizung sollte die Auslegungsleistung  $P_{\text{designh}}$  keinesfalls kleiner als die Heizlast des Raumes sein. Weicht die Auslegungstemperatur  $T_A$  am Standort von  $T_{\text{designh}} = -10^\circ\text{C}$  ab, dann muss die benötigte Auslegungsleistung  $P_{\text{designh}}$  entsprechend angepasst werden. Wie dies erfolgen kann wurde bereits oben aufgezeigt. Generell gilt hier: Leichte Überdimensionierung schadet kaum, Unterdimensionierung verringert jedoch die Effizienz rapide.
- 2) Bei bivalentem Betrieb, wenn also zusätzlich ein anderes Heizsystem vorhanden ist, sollten die Klimageräte auf die Heizlast beim frei gewählten Bivalenzpunkt  $Ph(T_{\text{bivh}})$  ausgelegt werden:

$$Ph(T_{\text{bivh}}) = P_{\text{AH}} * (T_{\text{bivh}} - 16) / (T_{\text{AH}} - 16)$$

$P_{\text{AH}}$  steht für die Heizlast des Raumes bei Auslegungstemperatur  $T_{\text{AH}}$ .

Die benötigte Auslegungsleistung  $P_{\text{designh}}$  des Klimagerätes muss wieder, wie oben gezeigt, auf die Temperatur im Bivalenzpunkt  $T_{\text{bivh}}$  angepasst werden.

Hier gilt in abgewandelter Form: leichte Überdimensionierung schadet kaum, bei Unterdimensionierung sollte der Bivalenzpunkt in Richtung höherer Temperaturen verschoben werden.