

ICS 27.070; 91.120.10; 91.140.10

Energetische Bewertung gebäudetechnischer Anlagen – Brennstoffzellen

Energy efficiency of technical building systems –
Fuel cells

Évaluation de l'énergie des systèmes techniques de bâtiment –
Piles à combustible

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer Vornorm erstellt.

Gesamtumfang 31 Seiten

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen.....	4
3 Begriffe, Symbole, Einheiten und Indizes	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Symbole, Einheiten und Indizes.....	5
4 Bewertungsansatz Brennstoffzelle	7
4.1 Allgemeines	7
4.1.1 Grundlagen.....	7
4.1.2 Bilanzierung KWK-Systeme in DIN V 18599:2011	9
4.2 Wirkungsgrade, Leistungen	11
4.3 Deckungsanteil der Brennstoffzelle.....	16
4.4 Berechnungen.....	19
4.4.1 Berechnungen für Dauerbetrieb.....	19
4.4.2 Berechnungen für intermittierende Betriebsweise	21
4.5 Ergebnisse.....	24
4.5.1 Bilanzierung Primärenergiefaktor der Wärme	24
4.5.2 Bilanzierung von Brennstoff und Strom.....	25
4.6 Randbedingungen für die Standardwerte	26
Anhang A (informativ) Berechnungsbeispiel	27
A.1 Eingangsgrößen.....	27
A.2 Ermittlung der über die Nutzungsdauer gemittelten Kennwerte	28
A.3 Korrektur der Eingangsgrößen	29
A.4 Ermittlung des Deckungsanteils der Brennstoffzelle	29
A.5 Berechnungen.....	30
A.6 Berechnung des Primärenergiefaktors der Wärme.....	31

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 041-05-01 AA „Energetische Bewertung gebäudetechnischer Anlagen (SpA ISO/TC 205 "Umweltgerechte Gebäudeplanung)" des DIN-Normenausschusses Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) erarbeitet.

Eine DIN SPEC nach dem Vornorm-Verfahren ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Zur vorliegenden DIN SPEC wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Erfahrungen mit dieser DIN SPEC sind erbeten

— vorzugsweise als Datei per E-Mail an nhrs@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;

— oder in Papierform an den Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS), 10772 Berlin.

Einleitung

Brennstoffzellen werden seit längerem als eine Möglichkeit zur Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden angesehen, die eine ganze Reihe potenzieller Vorteile aufweist, z. B. sehr hohe Stromkennzahlen, niedriger Wartungsaufwand, geringe Geräuschemissionen und hohe Dynamik. Durch die in jüngerer Vergangenheit intensivierten Bemühungen um eine effiziente und umweltverträglichere Energieversorgung sind Brennstoffzellen im Bereich der Gebäudetechnik näher an die Marktreife herangerückt. Besondere Bedeutung haben Brennstoffzellen u. a. auch deshalb für die im Rahmen der „Energiewende“ angestrebte Umgestaltung der Energieversorgung, da sie in hervorragender Weise für eine dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung im Zusammenwirken mit den erneuerbaren Energien geeignet sind.

Es existierte bisher innerhalb der energetischen Systemnormung (DIN V 18599 und DIN V 4701-10) kein Verfahren, mit dem Brennstoffzellen als spezielle Form der Kraft-Wärme-Kopplung berechnet werden können. Erste Produkte sind am Markt vertreten bzw. in naher Zukunft verfügbar, daher gibt es einen dringenden Bedarf, um diese beispielsweise für die Energieeinsparverordnung, das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz oder darauf aufbauende Förderinstrumente normativ bewertbar zu machen.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Vorhabens wurde ein Algorithmus zur energetischen Bewertung von Brennstoffzellen innerhalb der energetischen Systemnormung für Gebäude und Gebäudetechnik erarbeitet. Das Bewertungsverfahren ermöglicht sowohl eine Ermittlung des Endenergiebedarfs als auch des Primärenergiebedarfs von Brennstoffzellen-KWK und umfasst Brennstoffzellen innerhalb von Gebäuden und als (Teil der) Wärmeversorgung von Wärmenetzen (Fern-/Nahwärme).

Der erarbeitete Lösungsansatz knüpft an die in der DIN V 18599-9:2011-12 vorhandene energetische Bewertung von KWK-Systemen an und passt in die Systematik der Norm.

Aufbauend auf dem im Rahmen des Projektes erarbeiteten Bewertungsverfahren für Brennstoffzellen wurde das vorliegende Dokument (DIN SPEC 32737) erarbeitet. Das Bewertungsverfahren wurde so aufbereitet, dass

— eine Berechnung mit den Ausgabegrößen beider EnEV-Normen (DIN V 18599, DIN V 4701-10) sowie

- eine Übernahme des Normtextes der DIN SPEC für die zukünftige DIN V 18599-9 möglich ist.

Bei dem in diesem Dokument enthaltenen Bewertungsverfahren werden folgende Eingangsgrößen berücksichtigt:

- Wärmeenergiebedarf Heizung und Warmwasser bei Berechnung mit DIN V 4108-6/DIN V 4701-10 bzw. Erzeugernutzwärmeabgabe Heizung und Warmwasser bei Berechnung mit DIN V 18599;
- jährliche rechnerische Betriebstage Heizung als Summe der Monatswerte nach DIN V 18599 bzw. als pauschale Angabe;
- Brennstoffzellen-Kennwerte (thermische Leistung, elektrische Leistung, Wirkungsgrade sowie Angaben zum Modulationsbereich);
- spezifische Eigenschaften der Brennstoffzellen wie Rücklaufftemperaturabhängigkeit, Betriebsunterbrechungen, Einfluss der Betriebszeit des Brennstoffzellen-Stapels (Degradation) etc.

Folgende Ausgangsgrößen werden ermittelt:

- Brennstoffbedarf, erzeugte Wärmemenge, Netto-Stromerzeugung;
- Primärenergiefaktor im Sinne der EnEV.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument (DIN SPEC 32737) legt ein Verfahren zur energetischen Bewertung von Brennstoffzellen fest und ermöglicht deren Bewertung im Rahmen der EnEV und darauf aufbauenden Regelungen. Alternativ kann eine Bewertung mit anerkannten Simulationsverfahren erfolgen.

Das Bewertungsverfahren gilt für Brennstoffzellen mit einer thermischen Leistung zwischen 0,3 kW und 5 kW, die in einem Wohngebäude bzw. in einem Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung eingesetzt werden und wärmegeführt betrieben werden.

Das Verfahren setzt die Verfügbarkeit von den nach DIN EN 50465 bestimmten Brennstoffzellen-Kennwerten (Leistungen, Wirkungsgrade) voraus.

Das Verfahren gilt nicht für Brennstoffzellen, die stromgeführt betrieben werden bzw. für welche, die ohne Wärmespeicher oder mit einem Speicherinhalt von weniger als 100 l je kW_{thermisch} eingesetzt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN V 4701-10:2003-08, *Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen — Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung*

DIN V 18599-1:2011-12, *Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung — Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich*

DIN V 18599-5:2011-12, *Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung — Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen*

DIN V 18599-7:2011-12, *Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung — Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlüftungstechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau*

DIN V 18599-8:2011-12, *Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung — Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen*

DIN V 18599-9:2011-12, *Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung — Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen*

DIN EN 50465, *Gasgeräte — Gerät mit Kraft-Wärme-Kopplung und einer Nennwärmebelastung kleiner oder gleich 70 kW*

3 Begriffe, Symbole, Einheiten und Indizes

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Brennstoffzellenheizgerät

Gerät, das eine Brennstoffzelle sowie einen zusätzlichen Wärmeerzeuger (Spitzenlastkessel, -brenner) enthält

3.1.2

Brennstoffzelle

KWK-Gerät zur chemischen Umwandlung der Brennstoffenergie in Strom und Wärme

3.1.3

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

(en: cogenerated heat and power, CHP)

gleichzeitige Erzeugung thermischer Energie und elektrischer und/oder elektrochemischer und/oder mechanischer Energie in einem thermodynamischen oder elektrochemischen Prozess

3.2 Symbole, Einheiten und Indizes

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in diesem Dokument verwendeten Symbole und Einheiten. Gleiches gibt die Tabelle 2 für Indizes.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Bedeutung	Übliche Einheit
f	Faktor	—
A	Fläche	m ²
$a...p$	Koeffizient	—
n	Anzahl	—
P	Leistung der KWK Anlage (ohne Spitzenlastkessel)	kW
Q	Energie	kWh
q	spezifische Energie	kWh/(m ² a)
t	Zeitspanne	d/a
V	Volumen	m ³ , l
W	Hilfsenergie, elektrisch	kWh
x	Grad	—
κ	Deckungsanteil	—
η	Nutzungsgrad, Wirkungsgrad	—
θ	Temperatur	°C

Tabelle 2 — Indizes

Index	Bedeutung
a	Jahr
aux	Hilfsenergie
BOL	Beginn der Nutzungsdauer (Begin of Life)
CHP	Kraft-Wärme-Kopplung
el,CHP	elektrisch der KWK-Anlage
f	Endenergie
Grenz	Grenz-
h	Heizung
Hi	heizwertbezogen
HN	Heiznetz
HP	Wärmeerzeuger (Spitzenlastkessel, -brenner)
HS/HI	Brennwert/Heizwert
lower	untere
m	mittlere
min	minimal
mod	Modulations-
N	Nutzfläche
op	Betrieb

outg	Erzeugernutzwärmeabgabe
p	primär-
Pint	Teillast
prod	produziert
PS	Pufferspeicher, Wärmespeicher
RA	Rücklauf bei Auslegungsbedingungen
RL	Rücklauftemperatur
S	Sommer
Start	Start-Vorgang
th,CHP	thermisch der KWK-Anlage (ohne Spitzenlastkessel)
w	Trinkwarmwasser

4 Bewertungsansatz Brennstoffzelle

4.1 Allgemeines

4.1.1 Grundlagen

Bei Brennstoffzellen im kleinen Leistungsbereich ist je nach Gerätekonfiguration und Empfehlungen des Herstellers sowohl eine wärmegeführte als auch eine stromgeführte/stromoptimierte Betriebsweise möglich. Im Sinne der EnEV wird nur die Wärme bewertet, die zur Deckung des im Gebäude anfallenden Wärmebedarfs (Heizwärmebedarf, Trinkwasserwärmebedarf, usw.) genutzt wird. Der Berechnungsansatz gilt daher nur für eine wärmegeführte Betriebsweise des KWK-Systems. Der Berechnungsgang wird schematisch in folgender Abbildung dargestellt.

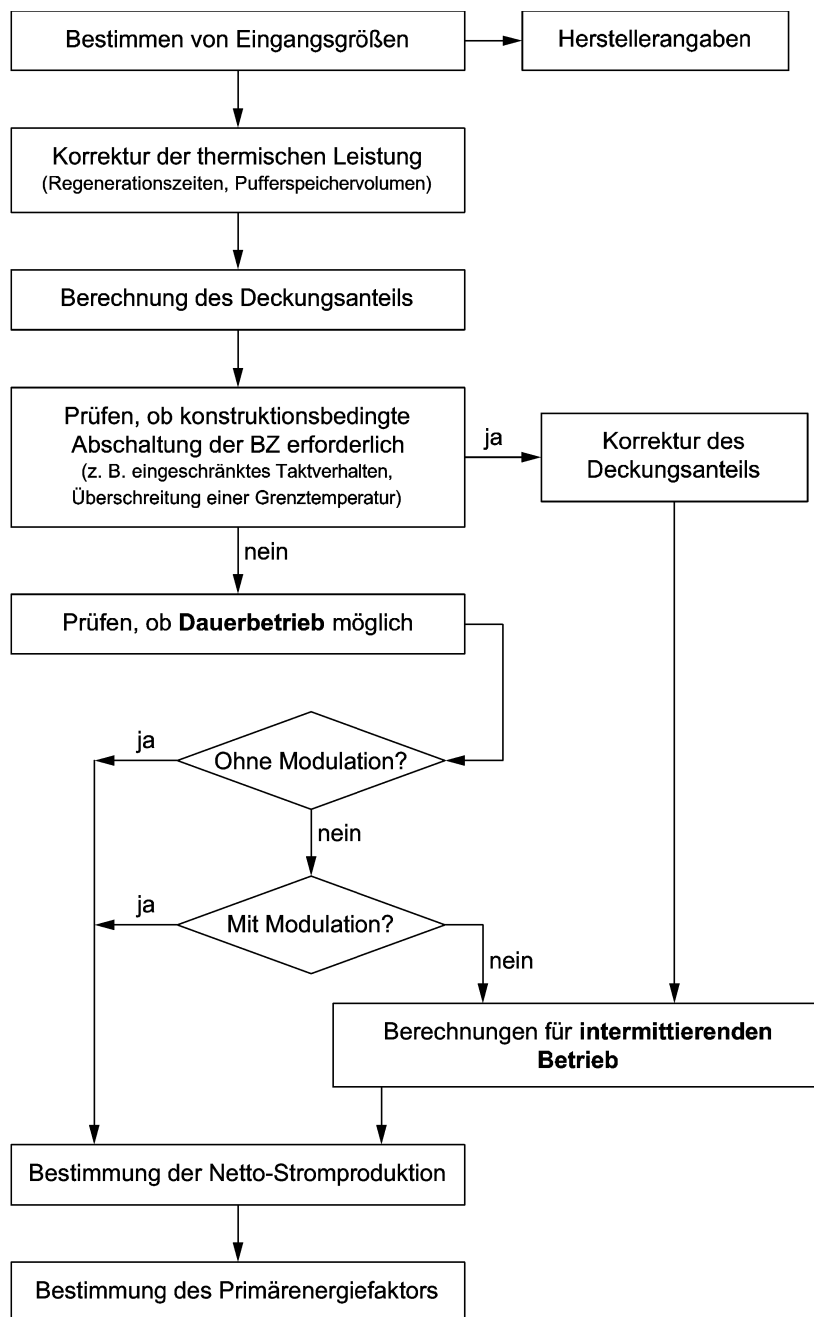


Bild 1 — Schematischer Ablaufplan der Berechnung für Brennstoffzellen

Das Bewertungsverfahren für Brennstoffzellen knüpft an die in DIN V 18599 vorhandene energetische Bewertung von KWK-Systemen an. In 4.1.2 wird daher einleitend die Bilanzierung von KWK-Systemen nach DIN V 18599 erläutert. Der Berechnungsalgorithmus für Brennstoffzellen bezieht sich zum Teil auf Gleichungen dieses Bilanzierungsverfahrens. Aus Verständlichkeitsgründen wurden für Brennstoffzellen zutreffende/gültige Textpassagen der DIN V 18599 mit aufgeführt. Die als Eingangsgröße erforderliche Wärmeenergiemenge, die vom KWK-System gedeckt werden soll, kann sowohl nach DIN V 4701-10 als auch DIN V 18599 ermittelt werden. Im Vorschlag werden, wegen der geplanten Übernahme in DIN V 18599-9, die Begrifflichkeiten und Indizierung entsprechend der Normreihe DIN V 18599 verwendet. Es wird jedoch drauf hingewiesen, wie die jeweilige Größe nach DIN V 4701-10 zu ermitteln ist.

4.1.2 Bilanzierung KWK-Systeme in DIN V 18599:2011

Das System wird durch die Gesamtheit der verbundenen Wärmeerzeugungsanlagen einschließlich der KWK-Anlagen abgegrenzt. Alle Energieströme, die diese Systemgrenze durchfließen, werden bilanziert. Bild 2 verdeutlicht das Vorgehen. Die erzeugte elektrische Energie wird dem Gesamtsystem „Gebäude“ einschließlich der technischen Anlagen oder alternativ der Wärmeerzeugungsanlage gutgeschrieben.

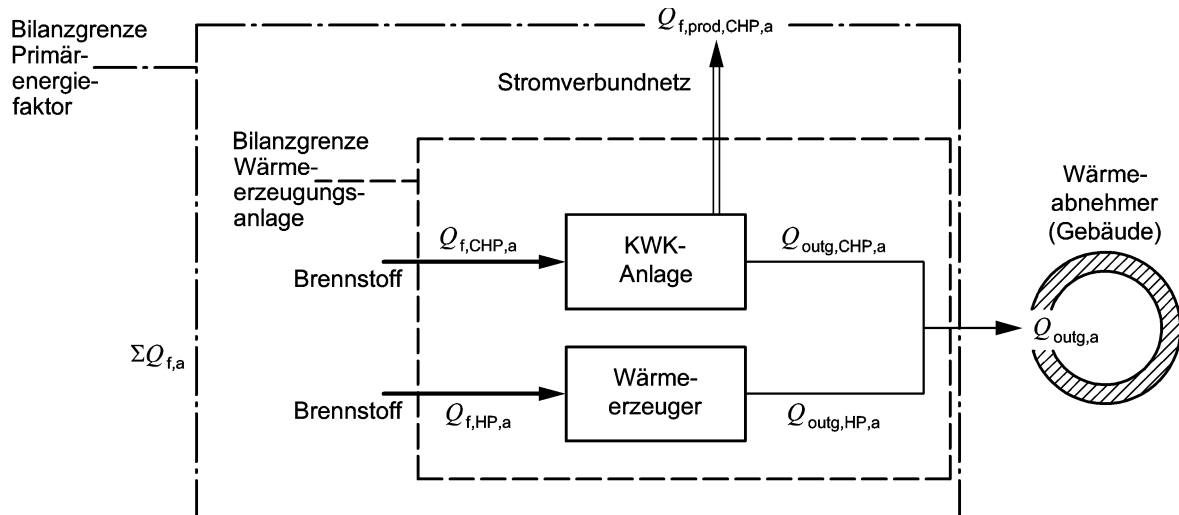


Bild 2 — Bilanzgrößen bei Wärmeerzeugungsanlagen mit KWK

Ausgangsbasis aller Betrachtungen ist die jährlich von der Wärmeerzeugungsanlage bereitzustellende Wärmemenge $Q_{\text{outg},a}$. Die in Bild 2 dargestellten Energieströme dürfen auf zwei unterschiedliche Arten als Endergebnis dargestellt werden:

- Bilanzgrenze „Wärmeerzeugungsanlage“: es ergibt sich der Endenergiebedarf für die zuzuführenden Brennstoffe der KWK-Anlage und des zweiten Wärmeerzeugers $\Sigma Q_{f,i}$ sowie die erzeugte Strommenge $Q_{f,\text{prod},\text{CHP},a}$.
- Bilanzgrenze „Primärenergiefaktor“: es ergibt sich ein Primärenergiefaktor f_p für das Gesamtsystem bzw. als Bewertungsfaktor für die bereitzustellende Wärmemenge $Q_{\text{outg},a}$.

Es werden der Betrachtung und Berechnung in allen folgenden Gleichungen Jahresenergiemengen zugrunde gelegt.

Erzeugernutzwärmeabgabe

Die von der Wärmezentrale (KWK plus Spitzenlast-Wärmeerzeuger) bereitzustellende Energiemenge ist nach Gleichung (2) anhand der jährlichen Energiemengen der Bilanz nach DIN V 18599 zu bestimmen.

Alternativ können als Eingangsgrößen die nach DIN V 4701-10 ermittelten Wärmeenergiebedarfswerte (Heizenergiebedarf Q_H , Trinkwasser-Energiebedarf Q_{TW}) herangezogen werden. Die Erzeugernutzwärmeabgabe an das Gebäude $Q_{\text{outg},a}$ würde dann der Summe aus Heizenergiebedarf Q_H und Trinkwasser-Energiebedarf Q_{TW} entsprechen.

Dabei ist

$$Q_{x,\text{outg},a} = \sum_{\text{Monate}} Q_{x,\text{outg}} \quad (1)$$

Wobei $Q_{\text{outg},a}$ für die verschiedenen Erzeugernutzwärmeabgaben steht.

Es ergibt sich:

$$Q_{\text{outg},a} = Q_{h,\text{outg},a} + Q_{h^*,\text{outg},a} + Q_{rv,\text{outg},a} + Q_{c,\text{outg},\text{therm},a} + Q_{w,\text{outg},a} \quad (2)$$

Dabei ist

$Q_{\text{outg},a}$	die Erzeugernutzwärmeabgabe an das Gebäude/Gesamtsystem, Jahressumme (entspricht der Summe aus Heizenergiebedarf Q_H und Trinkwasser-Energiebedarf Q_{TW} nach DIN V 4701-10) [kWh/a]
$Q_{h,\text{outg},a}$	die Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem, Jahressumme nach DIN V 18599-5 (entspricht dem Heizenergiebedarf Q_H nach DIN V 4701-10) [kWh/a];
$Q_{h^*,\text{outg},a}$	die Erzeugernutzwärmeabgabe für die RLT-Heizfunktion, Jahressumme nach DIN V 18599-7 [kWh/a];
$Q_{rv,\text{outg},a}$	die Erzeugernutzwärmeabgabe an das Lüftungssystem, Jahressumme nach DIN V 18599-7 [kWh/a];
$Q_{c,\text{outg},\text{therm},a}$	die Erzeugernutzwärmeabgabe für Absorptionskältemaschinen, Jahressumme nach DIN V 18599-7 [kWh/a];
$Q_{w,\text{outg},a}$	die Erzeugernutzwärmeabgabe für Trinkwarmwasser, Jahressumme nach DIN V 18599-8 (entspricht dem Trinkwasser-Energiebedarf Q_{TW} nach DIN V 4701-10) [kWh/a];

Sofern mehrere Zonen, RLT-Anlagen bzw. Absorptionskältemaschinen an die Wärmezentrale angeschlossen werden, sind in Gleichung (2) die Summenwerte der Erzeugernutzwärmeabgaben einzusetzen.

Deckungsanteile

Für die Bewertung der KWK-Anlage und des Wärmeerzeugers werden die anteiligen Deckungsanteile als Jahreswerte benötigt. Dabei gilt:

a) Wärmeabgabe der KWK-Anlage an das System:

$$Q_{\text{outg},\text{CHP},a} = \frac{\kappa \cdot Q_{\text{outg},a}}{\eta_{\text{HN}}} \quad (3)$$

b) Wärmeabgabe des Wärmeerzeugers (z. B. Spitzenlastkessel) an das System:

$$Q_{\text{outg},\text{HP},a} = \frac{(1 - \kappa) \cdot Q_{\text{outg},a}}{\eta_{\text{HN}}} \quad (4)$$

Dabei ist in den Gleichungen (3) und (4)

$Q_{\text{outg},\text{CHP},a}$	die Erzeugernutzwärmeabgabe der KWK-Anlage, Jahressumme [kWh/a];
$Q_{\text{outg},\text{HP},a}$	die Erzeugernutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers, Jahressumme [kWh/a];
κ	der KWK-Deckungsanteil, nach Planung oder Gleichung (19) bzw. der nach (20) und/oder (21) korrigierter Wert;