

Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 6

Energetische Bewertung von Fernwärme und Fernkälte

**Teil 6: Emissionsfaktoren nach Arbeitswert- und
Carnotmethode**

**Energy performance of district heating and cooling
Part 6 – Emission factors acc. to the Power loss and
Carnot method**

Mai 2021

**Ersatz für Ausgabe Juni 2016
Frühere Fassung Dezember 2014**

Preisgruppe 2

© AGFW, Frankfurt am Main

Herausgeber:

AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.

Stresemannallee 30
60596 Frankfurt am Main

Telefon +49 69 6304-293
Telefax +49 69 6304-455
E-Mail info@agfw.de
Internet www.agfw.de

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des AGFW gestattet.

Vertrieb:

AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH

Stresemannallee 30
60596 Frankfurt am Main

Telefon +49 69 6304-416
Telefax +49 69 6304-391
E-Mail info@agfw.de
Internet www.agfw.de

Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	6
5 Systemgrenze und Berechnungszeitschritt	8
6 Einfaches Berechnungsverfahren	8
7 Ausführliches Berechnungsverfahren	9
7.1 Systeme mit Anlagen zur Koppelproduktion	9
7.2 Kraft-Wärme-Kopplung	10
7.2.1 Energieflüsse einer KWK-Anlage	10
7.2.2 Allokationsrelevante Energieflüsse	11
7.2.3 Allokationsfaktorberechnung	12
7.2.3.1 Carnotmethode	12
7.2.3.2 Arbeitswertmethode	13
7.2.4 Aufwandszahlen und Gewichtungsfaktoren	13
7.2.5 Ausnahmeverfahren	14
7.3 Wärme-Kälte-Kopplung	15
Anhang A (normativ) Gewichtungsfaktoren	16
A.1 Allgemeines	16
A.2 Standard-Emissionsfaktoren	16
Anhang B (informativ) Anwendungsbeispiele zu 7.1	18
B.1 Anpassung von Formel 2 an die Anlagenkonfiguration und die benötigten Kennzahlen	18
B.2 Beispiel 1: Wärmenetz mit motorischem BHKW und Erdgas-Spitzenkessel	18
B.2.1 Erweiterter Stromeigenbedarf wird aus dem Netz bezogen	18
B.2.2 Erweiterter Stromeigenbedarf wird durch KWK gedeckt	20
B.3 Beispiel 2: Stromlieferung einer Entnahmekondensationsdampfturbine	21
B.4 Beispiel 3: Kältelieferung aus einer Wärmepumpe	23
Literaturhinweise	24

Einleitung

Zur Arbeitsblattreihe:

Die Arbeitsblattreihe AGFW FW 309 *Energetische Bewertung von Fernwärme und Fernkälte* besteht aus

- Teil 1: Primärenergiefaktoren und Emissionsfaktoren nach Stromgutschriftmethode,
- Teil 4: Heizwasser-Fernwärmestationen,
- Teil 5: Erfüllungsgrad und Energiequellenkennzahlen,
- Teil 6: Emissionsfaktoren nach Arbeitswert- und Carnotmethode (dieses Dokument),
- Teil 7: Bescheinigungen.

Die Teile 1, 5, 6 und 7 wurden anlässlich der Zusammenlegung der Energieeinsparverordnung und des Erneuerbare Energien Wärme Gesetzes zum Gebäudeenergiegesetz im Jahr 2020 zeitgleich vollständig neu erarbeitet und dabei aufeinander abgestimmt. Die beiden Geschäftsordnungen zu den Teilen 1 und 6 und die Regelungen zur Bescheinigung des bisherigen Teiles 5 wurden in einem neuen Arbeitsblatt als Teil 7 zusammengefasst. In den Titel der Arbeitsblattreihe wurde der Zusatz "und Fernkälte" aufgenommen.

Zu diesem Dokument:

Das Bilanzierungsprinzip und die KWK-Bewertungsmethoden dieses Dokumentes wurden beibehalten. Für die Mehrzahl der Wärmenetze würde daher mit AGFW FW 309-6:2016 und AGFW FW 309-6:2021 bei identischen Bilanzdaten der gleiche CO₂-Emissionsfaktor errechnet werden. Die wichtigsten Änderungen gegenüber der Fassung 2016 sind:

- In der Fassung 2016 liegt der Fokus auf der Berichterstattung von absoluten Emissionsmengen E in Mg_{CO₂}, die konsistent zu den ETS-Mengen sind, da diese an Behörden berichtet werden. Bei vielen Anwendern stehen allerdings die relativen Emissionsfaktoren f_{WL} in g_{CO₂}/kWh_{WL} im Fokus, die an die Wärmekunden kommuniziert werden. Der vorliegende Entwurf reduziert sich daher auf die Berechnung von relativen Emissionsfaktoren. Die Gleichungen für die absoluten Emissionen aus der Fassung 2016 wurden nicht übernommen.
- Für den produzierten KWK-Strom kann ein spezifischer Stromfaktor berechnet werden. In der Fassung 2016 fehlte hierfür das Formelzeichen. In der vorliegenden Fassung sind die Gleichungen zur Ermittlung der Emissionsfaktoren und die Formelzeichen nun so gewählt, dass sie auch zur Ermittlung von spezifischen Stromfaktoren und Kältefaktoren genutzt werden können. Dadurch erweitert sich der Anwendungsbereich des Arbeitsblattes auf Stromlieferung und Kältelieferung.
- Für die am weitesten verbreitete Anlagenkonfiguration Gas-KWK mit Spitzenkessel stellt der neue informative Anhang B sofort anwendbare Formeln zur Verfügung.
- Die anzusetzende Strommenge und Temperaturen zur Ermittlung der Allokationsfaktoren wurden präzisiert.
- Neben den CO₂-Emissionsfaktoren können nun auch Treibhausgas-Emissionsfaktoren ermittelt werden, die die Brennstoffvorkette und CO₂-Äquivalente anderer Treibhausgase umfassen.
- Die Formelzeichensystematik wurde an die europäische Fernwärme-Norm angepasst.

1 Anwendungsbereich

Dieses Arbeitsblatt gilt für die Bestimmung von

- CO₂-und Treibhausgasemissionsfaktoren von Wärme- und Kälteversorgungssystemen,
- Emissionsfaktoren der KWK-Produkte Strom und Wärme nach Arbeitswert- und Carnotmethode.

2 Normative Verweisungen

Dieses Dokument beinhaltet keine normativen Verweisungen.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Allokationsfaktor

α

Kennzahl zwischen 0 und 1, die die Brennstoffanteile der Koppelprodukte Strom und Wärme beschreibt

3.2

Aufwandszahl

Energiebedarfszahl

ε

Faktor, welcher den Aufwand eines Prozesses gegenüber dessen Nutzen beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Basis der Betrachtung sind Energiemengen, wobei die Aufwandszahl selbst einheitenlos ist (Aufwand bezogen auf Nutzen). Prozesse sind die Übergabe/Regelung, die Verteilung, die Speicherung, die Erzeugung von Energiemengen.

[QUELLE: DIN V 18599-1, Begriff 3.1.37]

3.3

Gewichtungsfaktor

f_{we}

Primärenergiefaktor oder Emissionsfaktor

Anmerkung 1 zum Begriff: In DIN EN ISO 52000-1:2018 ist der Gewichtungsfaktor ein Oberbegriff für Primärenergiefaktor, Emissionsfaktor, Kostenfaktor und sonstige zusätzliche Faktoren zur Gewichtung von Energiemengen.

Anmerkung 2 zum Begriff: In diesem Arbeitsblatt wird er nur für den CO₂-Emissionsfaktor und den THG-Emissionsfaktor verwendet.

[QUELLE: AGFW Arbeitsblatt FW 309-1:2021-05, Begriff 3.1. Anmerkung 2 hinzugefügt]

3.4

Nutzungsgrad

η

Faktor, welcher den nutzbaren Anteil eines Energieaufwandes beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Basis der Betrachtung sind Energiemengen, wobei der Nutzungsgrad selbst einheitenlos ist (Nutzen bezogen auf Aufwand). Prozesse sind die Übergabe/Regelung, die Verteilung, die Speicherung, die Erzeugung von Energiemengen.

[QUELLE: DIN V 18599-1, Begriff 3.1.38]

3.5

Stromverlust

$$\Delta E_{el}$$

Verlust an elektrischer Leistung bzw. Arbeit durch Heizdampf-Entnahme gegenüber Kondensation im Abwärmekondensator

[QUELLE: Arbeitsblatt AGFW FW 308:2015-09]

3.6

KWK-Anlage ohne Stromverlust

KWK-Anlage, bei der bauartbedingt der Teil der Dampfturbine fehlt, in dem alternativ zur Wärmeauskopplung Strom erzeugt werden könnte

BEISPIEL Gegendruckdampfturbine, Motor-BHKW, Gasturbine mit Abhitzeessel

3.7

Abwärme

Wärme, die in einem Prozess entsteht, dessen Hauptziel die Erzeugung eines Produktes oder die Erbringung einer Dienstleistung (inkl. Abfallentsorgung) ist

BEISPIEL Raffinerien, Stahlproduktion und -verarbeitung, Chemische Industrie, Rechenzentren, Elektrolyseure, Wäschereien, Kühlhäuser, Entsorgungssysteme (z. B. Thermische Abfallbehandlung (TAB), Abwasser)

[QUELLE: AGFW Arbeitsblatt FW 309-1:2021-05, Begriff 3.2]

3.8

prozessbedingter Anteil

(*Abwärme*) Anteil, der bei dem betrachteten Prozess als Nebenprodukt mindestens anfällt und im Falle der Nichtnutzung über Kühlvorrichtungen an die Umwelt abgeführt werden muss

[QUELLE: AGFW Arbeitsblatt FW 309-1:2021-05, Begriff 3.3]

3.9

fernwärmebedingter Anteil

(*Abwärme*) Anteil, der zusätzlich benötigt wird, um den prozessbedingten Anteil nach den Erfordernissen des Fernwärmesystems zu ergänzen

BEISPIEL Erhöhung von Druck, Temperatur, Volumenstrom

[QUELLE: AGFW Arbeitsblatt FW 309-1:2021-05, Begriff 3.4]

3.10

Vorkette

Aufwendungen zur Gewinnung, Aufbereitung, Umwandlung und Transport vom Ort der Primärenergiegewinnung bis zur Grenze des betrachteten Systems

[QUELLE: AGFW Arbeitsblatt FW 309-1:2021-05, Begriff 3.5]

4 Symbole und Abkürzungen

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Größe	Einheit
E	Energie allgemein	J, Wh
f	Faktor	-
Q	thermische Energie	J, Wh
T	thermodynamische Temperatur	K

α	Allokationsfaktor	-
β	Stromverlustkennzahl	-
Δ	Differenz	-
ε	Aufwandszahl, Energiebedarfszahl	-
η	Nutzungsgrad	-
σ	Stromkennzahl	-

Tabelle 2 — Indizes

Index	Benennung
a	Luft (en: air)
avg	Durchschnitt (en: average)
C	Carnot
chp	Kraft-Wärme-Kopplung (en: combined heat and power)
cm	gekoppelt (en: cogeneration mode)
cr	Energieträger (en: energy carrier) (generischer Index: steht für verschiedene Energieträger)
e	Außen- (en: external)
el	elektrisch
ex	exergetisch
exp	exportiert
in	zugeführt (en: into)
KL	Kältelieferung
mn	mittlere (en: mean)
ncm	ungekoppelt (en: non-cogeneration mode)
out	abgegeben
pr	erzeugt, produziert
SL	Stromlieferung
T	thermisch
WL	Wärmelieferung

Tabelle 3 — Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
FW	Fernwärme
THG	Treibhausgas

5 Systemgrenze und Berechnungsschritt

Die Systemgrenze wird durch Messgeräte festgelegt. Stromzähler, die die Systemgrenze definieren, müssen nicht Übergabezähler zum Stromnetz der öffentlichen Versorgung sein.

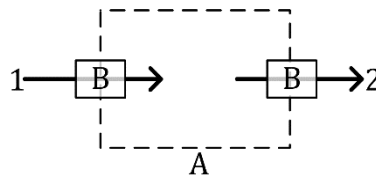
Benachbarte Versorgungssysteme für thermische Energie dürfen nur dann als ein einziges Versorgungssystem bewertet werden, wenn zwischen allen Systemkomponenten eine thermische Verbindung besteht z. B. durch das Wärmeträgermedium selbst oder Bauteile wie Wärmeübertrager.

Thermisch verbundene Versorgungssysteme dürfen nur dann in eigenständige Teilsysteme aufgeteilt und einzeln bewertet werden, wenn die Energie an der Systemgrenze mit einem Messgerät vollständig erfasst wird.

Die Bewertungsmethoden in Formel (1) und Formel (2) sind unabhängig vom gewählten Berechnungsschritt anwendbar und benötigen als Eingangsdaten die Energieflüsse, die die Systemgrenze überschreiten, und deren Gewichtungsfaktoren. Zur Berechnung von Jahres-Gewichtungsfaktoren müssen die Eingangsdaten einen zusammenhängenden Zeitraum von einem, zwei oder drei Jahren umfassen. Neue Versorgungssysteme und bestehende Versorgungssysteme, die umgebaut wurden oder umgebaut werden sollen und daher noch nicht entsprechend der künftigen Bedingungen betrieben werden, dürfen auch unter Verwendung von Planungsdaten berechnet werden.

6 Einfaches Berechnungsverfahren

Das Versorgungssystem wird als Blackbox betrachtet (siehe Bild 1). Die Bewertungsmethode in Formel (1) benötigt als Eingangsdaten nur die Energieflüsse, die die Systemgrenze überschreiten, und deren Gewichtungsfaktoren.



Legende

A	Systemgrenze	1	Energiezufuhr	E_{in}
B	Messgerät	2	Energieabgabe	E_{out}

Bild 1 — Versorgungssystem als Blackbox

$$f_{we,out} = \frac{\sum_{cr} E_{in,cr} \cdot f_{we,in,cr}}{E_{out}} \quad (1)$$

Dabei ist

$f_{we,out}$	Gewichtungsfaktor der abgegebenen Energie
$E_{in,cr}$	Energie des zugeführten Energieträgers cr
$f_{we,in,cr}$	Gewichtungsfaktor des zugeführten Energieträgers cr
E_{out}	Energieabgabe des Versorgungssystems

Standard-Gewichtungsfaktoren für $f_{we,in,cr}$ dürfen den Tabellen in Anhang A entnommen werden.

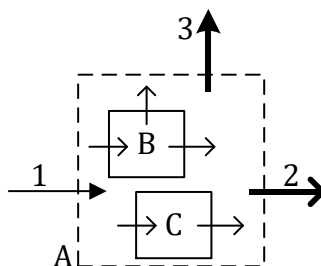
ANMERKUNG E_{out} entspricht bei Fernwärmesystemen i. d. R. der Summe der gelieferten Wärme gemessen an den Wärmehäusern der Kundenanlagen.

7 Ausführliches Berechnungsverfahren

7.1 Systeme mit Anlagen zur Koppelproduktion

Wenn das Versorgungssystem Anlagen mit Koppelproduktion umfasst und die Koppelprodukte an verschiedene Versorgungssysteme geliefert werden, ist die Betrachtung als Blackbox nicht mehr ausreichend, da zur Bewertung der Koppelprodukte Informationen zu systeminternen Energieflüssen benötigt werden (siehe Bild 2).

BEISPIEL Kraft-Wärme-Kopplung, Wärme-Kälte-Kopplung



Legende

A	Systemgrenze	1	Energiezufuhr zum Versorgungssystem	E_{in}
B	Anlage mit Koppelproduktion	2	Energieabgabe des Versorgungssystems	E_{out}
C	Anlage ohne Koppelproduktion	3	Energieexport an ein weiteres Versorgungssystem	E_{exp}

Bild 2 — Versorgungssystem mit Koppelproduktion

Die Gesamtbilanz des Versorgungssystems ist stets ausgeglichen, d. h. es gilt

$$\sum_{cr} E_{in,cr} \cdot f_{we,in,cr} = E_{out} \cdot f_{we,out} + E_{exp} \cdot f_{we,exp} \quad (2)$$

$$\Leftrightarrow f_{we,out} = \frac{\sum_{cr} E_{in,cr} \cdot f_{we,in,cr} - E_{exp} \cdot f_{we,exp}}{E_{out}}$$

Dabei ist

$E_{in,cr}$	Energie des zugeführten Energieträgers cr
$f_{we,in,cr}$	Gewichtungsfaktor des zugeführten Energieträgers cr
E_{out}	Energieabgabe des Versorgungssystems
$f_{we,out}$	Gewichtungsfaktor der abgegebenen Energie
E_{exp}	Energie des exportierten Energieträgers
$f_{we,exp}$	Gewichtungsfaktor des exportierten Energieträgers

Formel 2 wird an die Anlagenkonfiguration und die benötigten Kennzahlen angepasst. Vorgehen:

- 1) Bestimmung der allokatonsrelevanten Energieflüsse
- 2) Allokationsfaktorberechnung
- 3) Ermittlung von Aufwandszahlen und Gewichtungsfaktoren der Koppelprodukte
- 4) Anpassung von Formel 2 und Integration der Energieflüsse der Koppelproduktion in Formel 2

ANMERKUNG 1 E_{out} entspricht bei Fernwärmesystemen i. d. R. der Summe der gelieferten Wärme gemessen an den Wärmezählern der Kundenanlagen. $f_{we,out}$ ist daher in diesen Fällen der Emissionsfaktor der Wärmelieferung und damit die benötigte Kennzahl.

ANMERKUNG 2 E_{exp} entspricht bei Fernwärmesystemen mit KWK-Anlage i. d. R. dem Strom, der in ein Stromnetz eingespeist wird.

ANMERKUNG 3 Beispiele für die Anpassung der Formel an konkrete Anlagenkonfigurationen werden in Anhang B gezeigt.

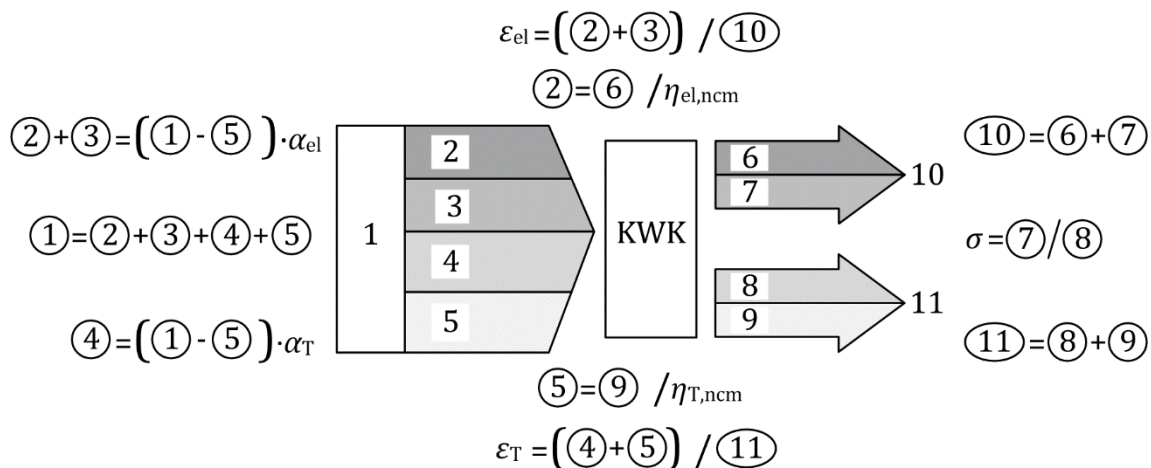
7.2 Kraft-Wärme-Kopplung

7.2.1 Energieflüsse einer KWK-Anlage

KWK-Anlagen können im KWK-Betrieb, Nicht-KWK-Betrieb oder im Mischbetrieb laufen, so dass die Energieflüsse ungekoppelte Wärme und ungekoppelten Strom beinhalten können.

BEISPIEL Entnahmekondensationsturbine

ANMERKUNG 1 Alle Energieflüsse in diesem Abschnitt sind Netto-Energieflüsse der KWK-Anlage gemäß Bild 3 bzw. Element B in Bild 2.



Legende

A	KWK-Anlage	6	ungekoppelter Strom	$E_{el,ncm}$
1	Brennstoffzufuhr	7	gekoppelter Strom	$E_{el,cm}$
2	Brennstoff für ungekoppelten Strom	8	gekoppelte Wärme	Q_{cm}
3	Brennstoff für gekoppelten Strom	9	ungekoppelte Wärme	Q_{ncm}
4	Brennstoff für gekoppelte Wärme	10	erzeugter Strom	$E_{el,pr}$
5	Brennstoff für ungekoppelte Wärme	11	erzeugte Wärme	Q_{pr}

Bild 3 — Energieflüsse und Kennzahlen einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage

ANMERKUNG 2 Nur die Energieflüsse 1, 10 und 11 können im Mischbetrieb gemessen werden.

ANMERKUNG 3 Detailliertere Informationen zu den Energieflüssen und Kennzahlen einer KWK-Anlage können AGFW FW 308 entnommen werden.

Für die Energieflüsse gelten folgende Beziehungen:

$$E_{in} = E_{in,el,ncm} + E_{in,el,cm} + E_{in,T,cm} + E_{in,T,ncm} \quad (3)$$

$$E_{in,cm} = E_{in,el,cm} + E_{in,T,cm} \quad (4)$$

$$E_{in,T,ncm} = \frac{Q_{ncm}}{\eta_{T,ncm}} \quad (5)$$

Dabei ist

$\eta_{T,ncm}$ Nutzungsgrad der ungekoppelten Wärmeerzeugung

ANMERKUNG 4 Ungekoppelte Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen kann in Gasturbinenabhitzeesseln mit Zusatzfeuerung, Dampfturbinen mit Umgehung direkt zum Heizkondensator oder Anlagen mit integriertem Spitzenlastbrenner vorkommen.

$$E_{in,el,ncm} = \frac{E_{el,ncm}}{\eta_{el,ncm}} \quad (6)$$

Dabei ist

$\eta_{el,ncm}$ Nutzungsgrad der ungekoppelten Stromerzeugung

ANMERKUNG 5 Ungekoppelte Stromerzeugung in KWK-Anlagen kann vorkommen, wenn Einrichtungen zur Abfuhr von Wärme an die Umwelt vorhanden sind.

$$\sigma = \frac{E_{el,cm}}{Q_{cm}} \quad (7)$$

Dabei ist

σ Stromkennzahl des KWK-Prozesses

$$E_{el,pr} = E_{el,ncm} + E_{el,cm} \quad (8)$$

$$Q_{pr} = Q_{ncm} + Q_{cm} \quad (9)$$

Die Bestimmung von $E_{in,el}$ und $E_{in,T}$ ist der Zweck der folgenden Allokationsmethoden (Allokation: Zuordnung, Aufteilung).

7.2.2 Allokationsrelevante Energieflüsse

Die allokationsrelevanten Energieflüsse sind $E_{in,el}$, $E_{in,T,cm}$, $E_{el,pr}$ und Q_{cm} (Energieflüsse 2, 3, 4, 6, 7 und 8 in Bild 4), d. h. die Allokation erfordert, dass zunächst eventuelle Energieflüsse der ungekoppelten Wärmeerzeugung $E_{in,T,ncm}$ und Q_{ncm} (Energieflüsse 5 und 9 in Bild 4) bestimmt werden. Sie sind nicht Teil der Allokationsfaktorberechnung.

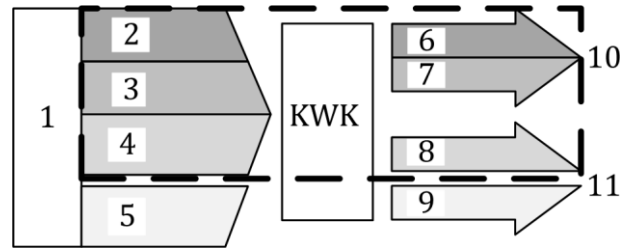


Bild 4 — Allokationsrelevante Energieflüsse

7.2.3 Allokationsfaktorberechnung

7.2.3.1 Carnotmethode

$$\beta_C = 1 - \frac{T_{a,e,avg}}{T_{chp,mn}} \quad (10)$$

Dabei ist

β_C	äquivalente Stromverlustkennziffer der Wärmeauskopplung nach Carnot
$T_{a,e,avg}$	durchschnittliche Luftaußentemperatur in Kelvin [K]
$T_{chp,mn}$	mittlere Temperatur aus Vorlauf und Rücklauf der Nutzwärme der KWK-Anlage in Kelvin [K]

Liegt $T_{chp,mn}$ nicht vor, dann darf ersatzweise die mittlere Temperatur aus Vorlauf und Rücklauf der Wärmenetzeinspeisung eingesetzt werden. Für Dampfversorgung ist als Mitteltemperatur die Sättigungstemperatur des eingespeisten Dampfes zu verwenden.

$$E_{ex,Q} = \beta_C \cdot Q_{cm} \quad (11)$$

Dabei ist

$E_{ex,Q}$	Exergiegehalt der gekoppelt erzeugten Wärme
------------	---

Wenn die Vorlauftemperatur im Jahresverlauf um mehr als 20 K variiert, ist als Berechnungszeitschritt für die Formeln 10 und 11 ein Monat oder kürzer zu wählen.

$$\alpha_T = \frac{E_{ex,Q}}{E_{el,pr} + E_{ex,Q}} \quad (12)$$

$$\alpha_{el} = \frac{E_{el,pr}}{E_{el,pr} + E_{ex,Q}} \quad (13)$$

$$\alpha_T + \alpha_{el} = 1 \quad (14)$$

Dabei ist

α_T	Allokationsfaktor der KWK-Wärme
α_{el}	Allokationsfaktor des Stroms

Wenn der produzierte Strom $E_{el,pr}$ nicht bekannt ist, darf ersatzweise der exportierte Strom $E_{el,exp}$ in die Formeln (13) und (14) eingesetzt werden, wenn die Differenz zwischen $E_{el,pr}$ und $E_{el,exp}$

- nur den üblichen erweiterten elektrischen Eigenbedarf für z. B. Netzpumpen, Kesselbetrieb, Steuerungs-, Regelungs- und Messtechnik umfasst,
- keinen Antriebsstrom für elektrische Wärmeerzeuger wie Wärmepumpen oder Elektrokessel umfasst.

7.2.3.2 Arbeitswertmethode

Die Arbeitswertmethode ist nur bei KWK-Anlagen anwendbar, die durch die Wärmeauskopplung einen Stromverlust erleiden (Anzapf- und Entnahmekondensationsturbinen).

$$\alpha_T = \frac{\Delta E_{el}}{E_{el,pr} + \Delta E_{el}} \quad (15)$$

$$\alpha_{el} = \frac{E_{el,pr}}{E_{el,pr} + \Delta E_{el}} \quad (16)$$

Dabei ist

ΔE_{el} Stromverlust durch Wärmeauskopplung

$$\Delta E_{el} = (E_{in} - E_{in,T,ncm}) \cdot \eta_{el,ncm} - E_{el,pr} \quad (17)$$

oder

$$\Delta E_{el} = \beta \cdot Q_{cm} \quad (18)$$

Dabei ist

β Stromverlustkennziffer der KWK-Anlage

7.2.4 Aufwandszahlen und Gewichtungsfaktoren

Mit den Energieflüssen der KWK-Anlage nach Abschnitt 7.2.2 und den Allokationsfaktoren nach Abschnitt 7.2.3 werden die benötigten Kennzahlen für die KWK-Produkte Strom und Wärme ermittelt. Wärmenetzverluste sind in diesen Kennzahlen noch nicht abgebildet.

$$\varepsilon_T = \frac{(E_{in} - E_{in,T,ncm}) \cdot \alpha_T + E_{in,T,ncm}}{Q_{pr}} \quad (19)$$

Dabei ist

ε_T Aufwandszahl der Wärme der KWK-Anlage

$$f_{we,T} = \varepsilon_T \cdot f_{we,in,cr} \quad (20)$$

Dabei ist

$f_{we,T}$ Gewichtungsfaktor der Wärme der KWK-Anlage

$f_{we,in,cr}$ Gewichtungsfaktor des der KWK-Anlage zugeführten Brennstoffes cr

$$\varepsilon_{el} = \frac{(E_{in} - E_{in,T,ncm}) \cdot \alpha_{el}}{E_{el,pr}} \quad (21)$$

Dabei ist

ε_{el} Aufwandszahl des Stroms der KWK-Anlage

$$f_{we,el} = \varepsilon_{el} \cdot f_{we,in,cr} \quad (22)$$

Dabei ist

$f_{we,el}$ Gewichtungsfaktor des Stroms der KWK-Anlage

7.2.5 Ausnahmeverfahren

Wenn eine KWK-Anlage ohne Stromverlust über Einrichtungen zur Abfuhr von Wärme an die Umgebung verfügt wie z. B. Notkühler, dann ist zu überprüfen, ob wesentliche Wärmemengen gezielt an die Umgebung abgeführt werden.

ANMERKUNG In diesem Fall würde der ungekoppelt erzeugte Stromanteil das Ergebnis der Allokationsfaktorberechnung verzerren. Als Folge würde etwas zu viel Brennstoff der KWK-Wärme zugeordnet und entsprechend etwas zu wenig Brennstoff dem Strom.

In diesem Fall dürfen die Energieflüsse der ungekoppelten Stromerzeugung $E_{in,el,ncm}$ und $E_{el,ncm}$ (Energieflüsse 2 und 6 in Bild 5) abgegrenzt werden. Sie sind nicht Teil der Allokationsfaktorberechnung. Die allokationsrelevanten Energieflüsse sind dann $E_{in,el,cm}$, $E_{in,T,cm}$, $E_{el,cm}$ und Q_{cm} (Energieflüsse 3, 4, 7 und 8 in Bild 5).

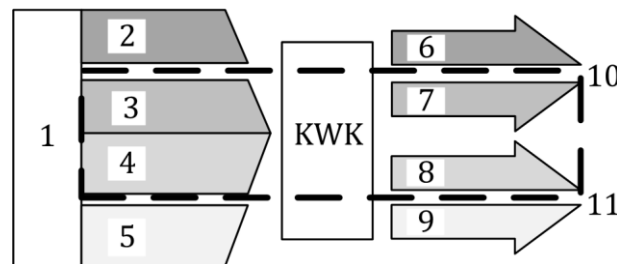


Bild 5 — Allokationsrelevante Energieflüsse des Ausnahmeverfahrens

Die Allokationsfaktoren berechnen sich entsprechend nach

$$\alpha_T = \frac{E_{ex,Q}}{E_{el,cm} + E_{ex,Q}} \quad (23)$$

$$\alpha_{el} = \frac{E_{el,cm}}{E_{el,cm} + E_{ex,Q}} \quad (24)$$

Die Aufwandszahlen berechnen sich entsprechend nach

$$\varepsilon_T = \frac{E_{in,cm} \cdot \alpha_T + E_{in,T,ncm}}{Q_{pr}} \quad (25)$$

$$\varepsilon_{el} = \frac{E_{in,cm} \cdot \alpha_{el} + E_{in,el,ncm}}{E_{el,pr}} \quad (26)$$

Die resultierenden Gewichtungsfaktoren werden nach Abschnitt 7.2.4 berechnet.

7.3 Wärme-Kälte-Kopplung

Wärmepumpen können gleichzeitig nutzbare Wärme und Kälte erzeugen. Wenn die beiden Koppelprodukte getrennt bewertet werden sollen, wird die Antriebsenergie der Wärmepumpe im gleichen Mengenverhältnis aufgeteilt wie die beiden Koppelprodukte zueinander.

Anhang A (normativ) Gewichtungsfaktoren

A.1 Allgemeines

Alle Gewichtungsfaktoren in diesem Arbeitsblatt sind Emissionsfaktoren. Es wird unterschieden nach

- CO₂-Emissionsfaktoren f_{CO_2} . Diese Faktoren bilden die Kohlendioxidemissionen am Ort der Verbrennung ab. Dabei wird die vollständige Verbrennung angenommen.
- Treibhausgasemissionsfaktoren f_{THG} . Diese Faktoren beinhalten zusätzlich zu den Kohlendioxidemissionen aus der Verbrennung alle Aufwendungen zur Gewinnung, Aufbereitung und Transport vom Ort der Primärenergiegewinnung bis zum Ort der Verbrennung. Diese Aufwendungen werden umgangssprachlich als Vorkette bezeichnet. Zusätzlich beinhalten sie alle damit verbundenen Emissionen von anderen Treibhausgasen wie Methan und Lachgas, umgerechnet in CO₂-Äquivalente.

Unterliegt die Anlage den gesetzlichen Regelungen des europäischen Emissionshandels, dann sind die gleichen Emissionsfaktoren für Brennstoffe zu verwenden, die auch im Rahmen der Emissionsberichterstattung verwendet werden oder wurden. Sind entsprechende Informationen nicht bekannt, dann sind die Standard-Emissionsfaktoren aus A.2 zu verwenden.

A.2 Standard-Emissionsfaktoren

Die Standard-Emissionsfaktoren wurden heizwertbezogen ermittelt, gelten daher zur Bewertung einer heizwertbezogen ermittelten Energiemenge.

Tabelle A.1 — Standard-Emissionsfaktoren für Brennstoffe

	Energieträger <i>cr</i>	f_{CO_2} [g/MJ] [kg/GJ] [Mg/TJ]	f_{CO_2} [g/kWh] [kg/MWh] [Mg/GWh]	f_{THG} [g/kWh] [kg/MWh] [Mg/GWh]
1	Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	74,1 ^b	266,8
2		Heizöl S	80,9 ^b	291,2
3		Erdgas	56 ^b	201,6
4		Flüssiggas (100% Propan)	64,7 ^b	232,9
5		Flüssiggas (100% Butan)	66,3 ^b	238,7
6		Steinkohle	96 ^b	345,6
7		Braunkohle	114 ^b	410,4
8	Biogene Brennstoffe	Biomethan	0	0
9		Biogas, direkt aus Biogasanlagen	0	0
10		Biogenes Flüssiggas	0	0
11		Bioöl	0	0
12		Bioöl, gebäudenah erzeugt	0	0
13		Holz	0	0

	Energieträger <i>cr</i>	f_{CO_2} [g/MJ] [kg/GJ] [Mg/TJ]	f_{CO_2} [g/kWh] [kg/MWh] [Mg/GWh]	f_{THG} [g/kWh] [kg/MWh] [Mg/GWh]
14	Stoffe die thermisch behandelt oder entsorgt werden müssen (Abfall, Klärschlamm, Deponiegas, Grubengas etc.)	0 ^c	0 ^c	0 ^c
a) Quelle: Gebäudeenergiegesetz b) Quelle: Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) c) Quelle: DIN EN 15316-4-5:2017-09				

Tabelle A.2 — Standard-Emissionsfaktoren für Wärme

	Energieträger <i>cr</i>		f_{CO_2} [g/MJ] [kg/GJ] [Mg/TJ]	f_{CO_2} [g/kWh] [kg/MWh] [Mg/GWh]	f_{THG} [g/kWh] [kg/MWh] [Mg/GWh]
1	Umweltwärme	Erdwärme, Geothermie, Solarthermie, Umgebungswärme	0	0	0
2	Abwärme	prozessbedingter Anteil	0	0	0
3		prozessbedingter Anteil + fernwärmebedingter Anteil	19,4 ^d	70 ^d	90 ^{cd}
4		aus Abfallverbrennung	4,7	17	20 ^a
a) Quelle: Gebäudeenergiegesetz					
c) Quelle: DIN EN 15316-4-5:2017-09					
d) nicht anwendbar auf Wärme aus Wärmepumpen					

Tabelle A.3 — Standard-Emissionsfaktoren für Strom

	Energieträger <i>cr</i>		f_{CO_2} [g/MJ] [kg/GJ] [Mg/TJ]	f_{CO_2} [g/kWh] [kg/MWh] [Mg/GWh]	f_{THG}^a [g/kWh] [kg/MWh] [Mg/GWh]
1	Strom	netzbezogen	b	b	560
2		unmittelbar aus Photovoltaik, Wasser- oder Windkraft	0	0	0
a) Quelle: Gebäudeenergiegesetz					
b) Es muss der Emissionsfaktor, der vom Umweltbundesamt [8] für den betrachteten Zeitraum veröffentlicht wird, genutzt werden, auch wenn der Wert als vorläufige Angabe gekennzeichnet ist. Basiert der Stromnetzbezug auf Planungsdaten, muss der neueste dort angegebene Wert auf die geplanten Strommengen angewendet werden.					

Anhang B (informativ) Anwendungsbeispiele zu 7.1

B.1 Anpassung von Formel 2 an die Anlagenkonfiguration und die benötigten Kennzahlen

Wärmenetzsysteme umfassen neben KWK-Anlagen weitere Erzeuger wie Kessel und Wärmepumpen und sonstige Anlagen wie z. B. Netzpumpen oder Speicher. Die energetische Bewertung solcher Systeme erfordert ein planvolles schrittweises Vorgehen, das in die vier Teilschritte unterteilt ist:

- 1) Bestimmung der allokatonsrelevanten Energieflüsse;
- 2) Allokationsfaktorberechnung;
- 3) Ermittlung von Aufwandszahlen und Gewichtungsfaktoren der Koppelprodukte;
- 4) Anpassung von Formel 2 und Integration der Energieflüsse der Koppelproduktion in Formel 2.

Die Schritte 1) bis 3) beziehen sich nur auf die Koppelprodukte. Erst im Schritt 4) werden die Zwischenergebnisse der Koppelprodukte mit den weiteren Erzeugern und sonstigen Anlagen zur Gesamtsystembewertung zusammen gefasst. Die Formel für den Schritt 4) muss zur konkreten Anlagenkonfiguration und den verfügbaren Eingangsdaten passen.

In den folgenden Beispielen wird dieses Vorgehen gezeigt.

B.2 Beispiel 1: Wärmenetz mit motorischem BHKW und Erdgas-Spitzenkessel

B.2.1 Erweiterter Stromeigenbedarf wird aus dem Netz bezogen

Anlagenkonfiguration: Das BHKW wird wärmegeführt betrieben und erzeugt keine ungekoppelten Energieflüsse. KWK-Nettostrom wird vollständig in das Stromnetz eingespeist. Strombedarf für Netzpumpen und Kesselbetrieb wird aus dem Stromnetz bezogen. Benötigte Kennzahl: Gewichtungsfaktor der Wärmelieferung.

Formel (2):	
$f_{we,out} = \frac{\sum_{cr} E_{in,cr} \cdot f_{we,in,cr} - E_{exp} \cdot f_{we,exp}}{E_{out}}$	
Formel- element	wird zu
$E_{in,cr}$	1. Brennstoffwärme Erdgas für das BHKW und den Spitzenkessel: E_{Erdgas} in kWh _{Hi} 2. Aus dem Netz bezogener Strom für Netzpumpen $E_{el,Netzpumpen}$ und Kesselbetrieb $E_{el,Kessel}$ in kWh
$f_{we,in,cr}$	Gewichtungsfaktor Erdgas $f_{we,Erdgas}$ und Gewichtungsfaktor des Strombezugs $f_{we,Strombezug}$ aus Anhang A
E_{out}	Summe der Wärmelieferungen an die Kunden, gemessen an den Übergabestationen in den angeschlossenen Gebäuden: $\sum Q_{WL}$ in kWh.

$f_{we,out}$	Gewichtungsfaktor der Wärmelieferung $f_{we,WL}$: gesuchte Größe
E_{exp}	in das Stromnetz eingespeister KWK-Nettostrom $E_{el,cm}$ in kWh
$f_{we,exp}$	Gewichtungsfaktor des eingespeisten KWK-Stroms $f_{we,el}$ aus Abschnitt 7.2.4.

angepasste Formel 2 für Beispiel 1, Variante A:

$$f_{we,WL} = \frac{E_{Erdgas} \cdot f_{we,Erdgas} + (E_{el,Kessel} + E_{el,Netzpumpen}) \cdot f_{we,Strombezug} - E_{el,cm} \cdot f_{we,el}}{\Sigma Q_{WL}}$$

In dieser Form sieht die Formel aus wie die Stromgutschriftmethode, mit dem entscheidenden Unterschied, dass der Stromfaktor $f_{we,el}$ nicht vorgegeben sondern spezifisch berechnet wird.

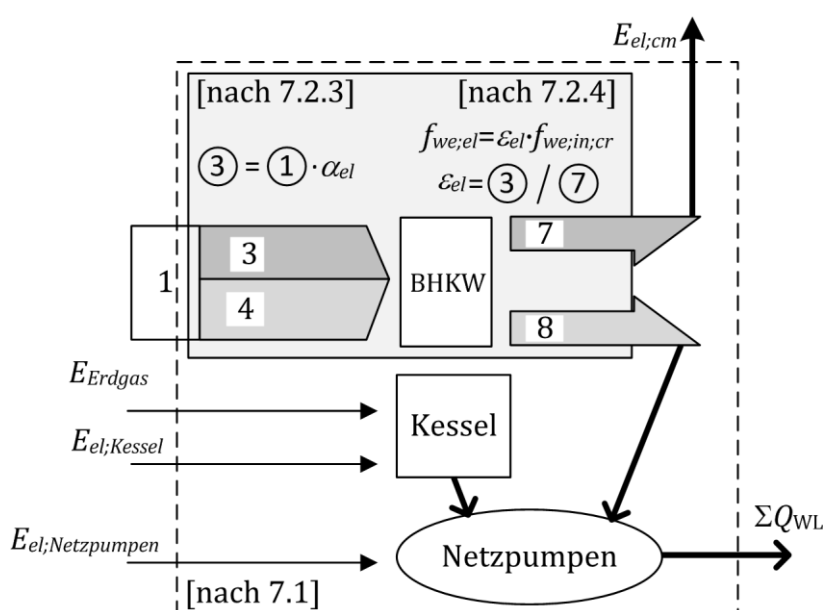


Bild B.1 – Energieflüsse Beispiel BHKW+Spitzenkessel, Variante A

Variante B: Für diese Anlagenkonfiguration führt auch eine zweite Variante der Formel 2 zum gleichen Ergebnis:

$$f_{we,WL} =$$

$$\frac{(E_{Erdgas,BHKW} \cdot \alpha_T + E_{Erdgas,Kessel}) \cdot f_{we,Erdgas} + (E_{el,Kessel} + E_{el,Netzpumpen}) \cdot f_{we,Strombezug}}{\Sigma Q_{WL}}$$

Anstatt des Abzugsglieds für den KWK-Strom wird hier nur der wärmebedingte Erdgasanteil mit Hilfe von α_T aus Abschnitt 7.2.3 in der angepassten Formel 2 berücksichtigt. Die strombedingten Energieflüsse der KWK und ihre Kennzahlen aus 7.2.4 werden für diese Variante nicht benötigt. (siehe Bild B.2)

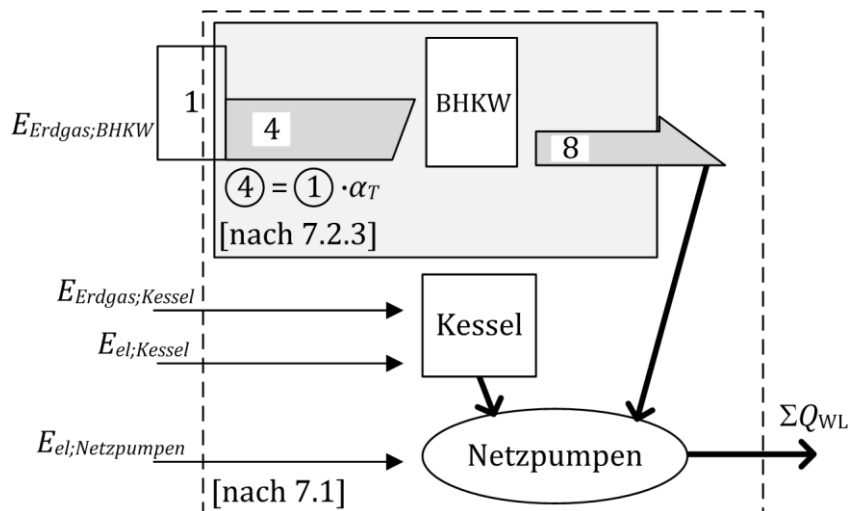


Bild B.2 – Energieflüsse Beispiel BHKW+Spitzenkessel, Variante B

B.2.2 Erweiterter Stromeigenbedarf wird durch KWK gedeckt

Anlagenkonfiguration: Wärmenetz mit motorischem BHKW und Erdgas-Spitzenkessel. Das BHKW wird wärmegeführt betrieben und erzeugt keine ungekoppelten Energieflüsse. Strombedarf für Netzpumpen und Kesselbetrieb wird mit dem selbsterzeugten KWK-Strom gedeckt. Der restliche KWK-Strom wird in einen anderen Bilanzkreis exportiert. Benötigte Kennzahl: Gewichtungsfaktor der Wärmelieferung.

Formel 2:

$$f_{we,out} = \frac{\sum_{cr} E_{in,cr} \cdot f_{we,in,cr} - E_{exp} \cdot f_{we,exp}}{E_{out}}$$

Formel- element	wird zu
$E_{in,cr}$	Brennstoffwärme Erdgas für das BHKW und den Spitzenkessel: E_{Erdgas} in kWh _{Hi}
$f_{we,in,cr}$	Gewichtungsfaktor Erdgas $f_{we,Erdgas}$ aus Anhang A
E_{out}	Summe der Wärmelieferungen an die Kunden, gemessen an den Übergabestationen in den angeschlossenen Gebäuden: $\sum Q_{WL}$ in kWh.
$f_{we,out}$	Gewichtungsfaktor der Wärmelieferung $f_{we,WL}$: gesuchte Größe
E_{exp}	in das Stromnetz eingespeister KWK-Strom $E_{el,cm}$ nach Abzug des Eigenbedarfs des Kessels und der Netzpumpen in kWh
$f_{we,exp}$	Gewichtungsfaktor des KWK-Stroms $f_{we,el}$ aus Abschnitt 7.2.4

angepasste Formel 2:

$$f_{we,WL} = \frac{E_{Erdgas} \cdot f_{we,Erdgas} - (E_{el,cm} - E_{el,Kessel} - E_{el,Netzpumpen}) \cdot f_{we,el}}{\sum Q_{WL}}$$

In dieser Form sieht die Formel aus wie die Stromgutschriftmethode, mit dem entscheidenden Unterschied, dass der Stromfaktor nicht vorgegeben sondern spezifisch berechnet wird. Da nach Abschnitt 7.2.4 $f_{we,el} = \varepsilon_{el} \cdot f_{we,Erdgas}$ ist, kann $f_{we,Erdgas}$ im Zähler ausgeklammert werden, so dass die Formel nun lautet:

$$f_{we,WL} = \frac{f_{we,Erdgas} \cdot [E_{Erdgas} - (E_{el,cm} - E_{el,Kessel} - E_{el,Netzpumpen}) \cdot \varepsilon_{el}]}{\Sigma Q_{WL}}$$

Alternativ kann anstatt des Abzugsglieds für den KWK-Strom nur der wärmebedingte Erdgasanteil mit Hilfe von α_T aus Abschnitt 7.2.3 in der angepassten Formel 2 berücksichtigt werden:

$$f_{we,WL} = \frac{(E_{Erdgas,BHKW} \cdot \alpha_T + E_{Erdgas,Kessel}) \cdot f_{we,Erdgas} + (E_{el,Kessel} + E_{el,Netzpumpen}) \cdot f_{we,el}}{\Sigma Q_{WL}}$$

oder

$$f_{we,WL} = \frac{f_{we,Erdgas} \cdot [E_{Erdgas,BHKW} \cdot \alpha_T + E_{Erdgas,Kessel} + (E_{el,Kessel} + E_{el,Netzpumpen}) \cdot \varepsilon_{el}]}{\Sigma Q_{WL}}$$

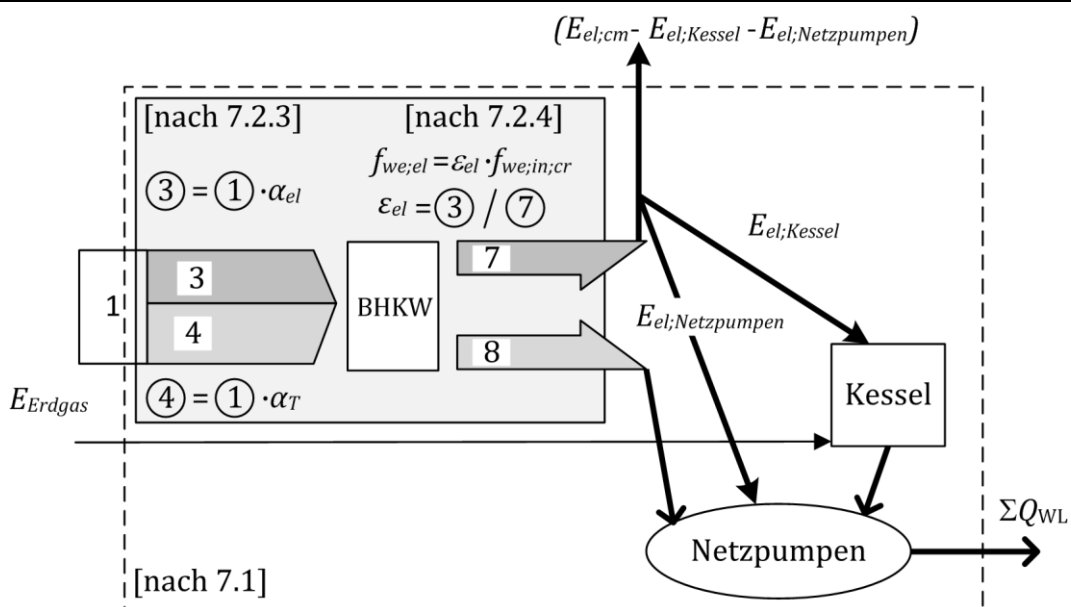


Bild B.3 – Beispiel BHKW+Spitzenkessel, Variante C

B.3 Beispiel 2: Stromlieferung einer Entnahmekondensationsdampfturbine

Anlagenkonfiguration: Stromlieferung einer Entnahmekondensationsdampfturbine und einer PV-Anlage an einen Elektrolyseur. Der Dampf stammt aus einem vorgelagerten Versorgungssystem. Die KWK-Wärme wird an ein nachgelagertes Versorgungssystem geliefert. Der Strombedarf für die Netzpumpen wird aus der Turbine gedeckt. Benötigte Kennzahl: Gewichtungsfaktor der Stromlieferung.

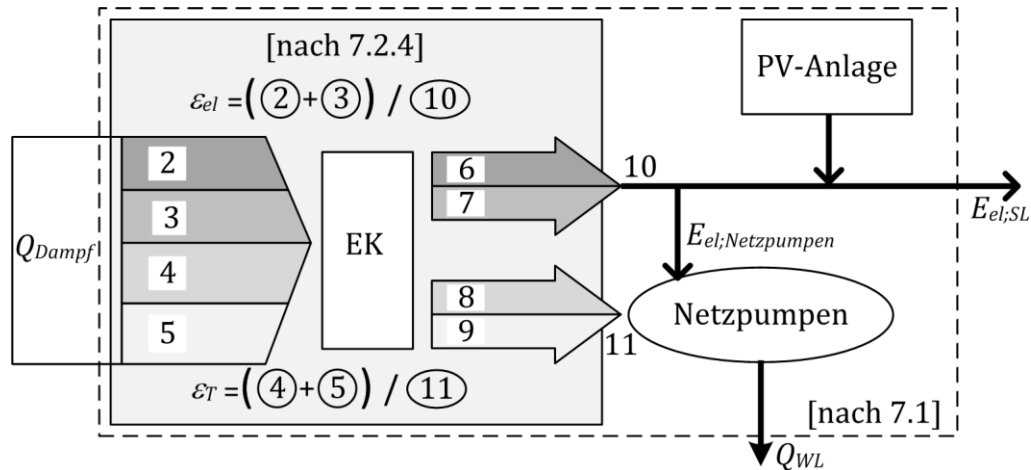


Bild B.4 – Beispiel Stromlieferung

Formel 2:

$$f_{we,out} = \frac{\sum_{cr} E_{in,cr} \cdot f_{we,in,cr} - E_{exp} \cdot f_{we,exp}}{E_{out}}$$

**Formel-
element**

wird zu

$E_{in,cr}$

Dampf aus vorgelagertem Versorgungssystem Q_{Dampf} in kWh

$f_{we,in,cr}$

Gewichtungsfaktor Dampf $f_{we,Dampf}$

E_{out}

Stromlieferung $E_{el,SL}$ in kWh_{el}.

$f_{we,out}$

Gewichtungsfaktor der Stromlieferung $f_{we,el,SL}$: gesuchte Größe

E_{exp}

in das Wärmenetz eingespeiste Nutzwärme Q_{WL} in kWh

$f_{we,exp}$

Gewichtungsfaktor der eingespeisten Nutzwärme $f_{we,WL}$ aus Abschnitt 7.2.4.

angepasste Formel 2:

$$f_{we,el,SL} = \frac{Q_{Dampf} \cdot f_{we,Dampf} - Q_{WL} \cdot f_{we,WL} - E_{el,Netzpumpen} \cdot f_{we,el,EK-Turbine}}{E_{el,SL}}$$

In dieser Form sieht die Formel aus wie die Wärmegutschriftmethode, mit dem entscheidenden Unterschied, dass der Wärmefaktor nicht vorgegeben sondern spezifisch berechnet wird. Da nach Abschnitt 7.2.4 $f_{we,WL} = \varepsilon_{WL} \cdot f_{we,Dampf}$ ist, kann $f_{we,Dampf}$ im Zähler ausgeklammert werden, so dass die Formel nun lautet:

$$f_{we,el,SL} = \frac{f_{we,Dampf} \cdot (Q_{Dampf} - Q_{WL} \cdot \varepsilon_{WL} - E_{el,Netzpumpen} \cdot \varepsilon_{el,EK-Turbine})}{E_{el,SL}}$$

B.4 Beispiel 3: Kältelieferung aus einer Wärmepumpe

Anlagenkonfiguration: Eine Wärmepumpe erzeugt gekoppelt Wärme und Kälte. Eine Kompressionskältemaschine ergänzt die Kälte aus der Wärmepumpe. Die Kälte wird über ein Kältenetz an Gebäude geliefert. Die erzeugte Wärme wird an ein Wärmenetz exportiert. Benötigte Kennzahl: Gewichtungsfaktor der Kältelieferung.

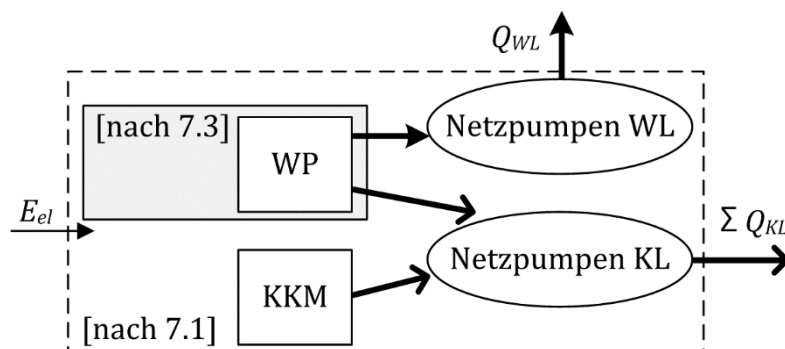


Bild B.5 – Beispiel Kältelieferung

Formel 2:

$$f_{we,out} = \frac{\sum_{cr} E_{in,cr} \cdot f_{we,in,cr} - E_{exp} \cdot f_{we,exp}}{E_{out}}$$

Formel- element	wird zu
$E_{in,cr}$	Strombezug aus dem Verbundnetz zum Antrieb von Wärmepumpe und Kompressionskältemaschine E_{el}
$f_{we,in,cr}$	Gewichtungsfaktor Strombezug $f_{we,Strombezug}$ aus Anhang A
E_{out}	Summe der Kältelieferungen an die Kunden $\sum Q_{KL}$ in kWh
$f_{we,out}$	Gewichtungsfaktor der Kältelieferung $f_{we,KL}$: gesuchte Größe
E_{exp}	in das Wärmenetz eingespeiste Nutzwärme Q_{WL} in kWh
$f_{we,exp}$	Gewichtungsfaktor der eingespeisten Nutzwärme $f_{we,WL}$ aus Abschnitt 7.3.

angepasste Formel 2:

$$f_{we,KL} = \frac{E_{el} \cdot f_{we,Strombezug} - Q_{WL} \cdot f_{we,WL} - E_{el,Netzpumpen,WL} \cdot f_{we,Strombezug}}{\sum Q_{KL}}$$

oder

$$f_{we,KL} = \frac{f_{we,Strombezug} \cdot (E_{el,WP} \cdot \alpha_{KL} + E_{el,KKM} + E_{el,Netzpumpen,KL})}{\sum Q_{KL}}$$

Literaturhinweise

- [1] Arbeitsblatt AGFW FW 309-1, *Energetische Bewertung von Fernwärme und Fernkälte – Teil 1: Primärenergie- und Emissionsfaktoren nach Stromgutschriftmethode*
- [2] Merkblatt AGFW FW 309-4, *Energetische Bewertung von Fernwärme – Teil 4: Heizwasser-Fernwärmestationen*
- [3] Arbeitsblatt AGFW FW 309-5, *Energetische Bewertung von Fernwärme und Fernkälte – Teil 5: Erfüllungsgrad und Energiequellenkennzahlen*
- [4] DIN V 18599-1:2018-09, *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung — Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger*
- [5] DIN EN ISO 52000-1:2018-03, *Energieeffizienz von Gebäuden - Festlegungen zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Allgemeiner Rahmen und Verfahren (ISO 52000-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 52000-1:2017*
- [6] Arbeitsblatt AGFW FW 308, *Zertifizierung von KWK-Anlagen - Ermittlung des KWK-Stromes*
- [7] Arbeitsblatt AGFW FW 309-7, *Energetische Bewertung von Fernwärme und Fernkälte – Teil 7: Bescheinigung*
- [8] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen> (URL bestand im März 2021)