



Energie – Praxiswissen
Panos Konstantin

Praxisbuch der Fernwärmeversorgung

Anwendungsbeispiele

Disclaimer: Die Rechenbeispiele sind als Unterstützung für das Buch gedacht und haben ausschließlich den Zweck, dem Leser Hilfestellung zu bieten, um die Inhalte besser zu verstehen und den Rechengang nachzuvollziehen. Eine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität kann nicht übernommen werden. Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt, eine Vervielfältigung ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des gültigen Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland zulässig.

Hinweise, Anregungen und Verbesserungsvorschläge sind erwünscht und willkommen!

Letzte Aktualisierung
Okt. 2018

FW_Beispiele.xls
B_2.1_gekoppelt-ungekoppelt

Position	Einheit	Unit	Wert	
Leistungsdaten				
Elektrische Leistung GT	MW	MW	9.0	
Brennstoff-Wärmeleistung (in Hu)	MW	MW	15.0	
Kennzahlen				
Energienutzungsgrad	-	-	80%	
Stromkennzahl	MWh _{el} / MWh _{th}	MWh _e / MWh _t	0.60	
Energiebilanz (gegeben)				
Stromerzeugung	MWh /a	MWh /a	65,700	
Wärmeerzeugung	MWh /a	MWh /a	90,000	
Brennstoffverbrauch (in Hu)	MWh /a	MWh /a	219,000	
Strom- und Brennstoffaufteilung				
KWK-Strom	0.60	MWh /a	MWh /a	54,000
Ungekoppelter Strom		MWh /a	MWh /a	11,700
Brennstoffverbrauch:				
für gekoppelten Strom- und Wärme		MWh /a	MWh /a	180,000
für ungekoppelten Strom		MWh /a	MWh /a	39,000
Gesamtwirkungsgrad	-	-	71.1%	

FW_Beispiele.xls
B_3.1_äquivalente KondLeistung

Position	Einheit	Wert
Gegeben		
Elektrische Leistung in KWK	MW	35.1
Brennstoffverbrauch	MW _{th}	172.7
Dampfauskopplung:	MW _{th}	19.8
Druck	bar	18.0
Stromverlust-Kennziffer	MWh _{el} / MWh _{th}	0.237
Dampfauskopplung:	MW _{th}	61.7
Druck	bar	6.0
Stromverlust-Kennziffer	MWh _{el} / MWh _{th}	0.205
Äquivalente elektrische Kond. Leistung	MW	52.4
Elektrische Leistung in KWK	MW	35.1
Verlustleistung durch 18 bar Dampf 0.237	MW	4.69
Verlustleistung durch 6 bar Dampf 0.205	MW	12.65
Elektrischer Wirkungsgrad, Mischbetrieb	-	20.3%
Äquivalenter elektrische Kond. Wirkungsgrad	-	30.4%

FW_Beispiele.xls
B_3.2_Spez. Brennstoffverbrauch

Position		Einheit	Wert
Gegeben			
Elektrischer Kond.-Wirkungsgrad		-	30.4%
Dampfauskopplung:			
Druck		bar	18.0
Stromverlust-Kennziffer		$\text{kWh}_{\text{el}} / \text{kWh}_{\text{th}}$	0.237
Dampfauskopplung:			
Druck		bar	6.0
Stromverlust-Kennziffer		$\text{kWh}_{\text{el}} / \text{kWh}_{\text{th}}$	0.205
Spezifischer Brennstoffverbrauch			
Kondensationsstrom	30.4%	$\text{kWh}_{\text{th}} / \text{kWh}_{\text{el}}$	3.289
18-bar Dampf	0.237	$\text{kWh}_{\text{th}} / \text{kWh}_{\text{el}}$	0.780
6-bar Dampf	0.205	$\text{kWh}_{\text{th}} / \text{kWh}_{\text{el}}$	0.674

FW_Beispiele.xls
B 3.3 GT Leistung

Höhe über NN m	Temperatur °C	Leistung MW	Temperatur °C	Leistung MW
0	15	100.0	0	109.0
0	35	88.0	50	78.2
600	15	93.3	35	87.7

FW_Beispiele.xls
B_3.4_B_ Q-T-Diagram

Merkm	Einheit	Wert	
Eingaben			
Abgasmassenstrom	kg/s	1.0	
Abgastemperatur	°C	487.0	
Dampf- Sättigungsdruck	bar	17.0	
Pinch-point	K	31.0	
Dampf-Überhitzung	K	45.0	
Spezifische Wärmekapazität, Abgas	kJ/kg K	1.0	
Kessel-Speisewassertemperatur	°C	105.0	
Zwischenrechnungen			
Dampf- Sättigungstemperatur t_s	°C	#NAME?	FluidEXL
Dampf Temperatur nach Überhitzung	°C	#NAME?	
Enthalpie überhitzten Dampfs	kJ/kg	#NAME?	FluidEXL
Sattdampfenthalpie des Dampfes	kJ/kg	#NAME?	FluidEXL
Wasserenthalpie bei Sättigung	kJ/kg	#NAME?	FluidEXL
Kessel-Speisewasser Enthalpie, beim Eintritt	kJ/kg	#NAME?	FluidEXL
Abgastemperatur am Pinch-point	°C	#NAME?	
Wärmeabgabe Abgas bis pinch-point	kJ/s	#NAME?	#NAME?
Wärmeabgabe Abgas bis pich-point	kW	#NAME?	
Dampfmassenstrom	kg/s	#NAME?	
Dampfwärme			
Überhitzungswärme	kJ/s	#NAME?	#NAME?
Verdampfungswärme	kJ/s	#NAME?	#NAME?
Speisewasseraufwärmung	kJ/s	#NAME?	#NAME?
Summe	kJ/s	#NAME?	#NAME?
	kW	#NAME?	

S 45

Als werte eingesetzt

Merkm	Einheit	Wert	
Eingaben			
Abgasmassenstrom	kg/s	1.0	
Abgastemperatur	°C	487.0	
Dampf- Sättigungsdruck	bar	17.0	
Pinch-point	K	31.0	
Dampf-Überhitzung	K	45.0	
Spezifische Wärmekapazität, Abgas	kJ/kg K	1.0	
Kessel-Speisewassertemperatur	°C	105.0	
Zwischenrechnungen			
Dampf- Sättigungstemperatur t_s	°C	204.3	FluidEXL
Dampf Temperatur nach Überhitzung	°C	235.3	
Enthalpie überhitzten Dampfs	kJ/kg	2879.3	FluidEXL
Sattdampfenthalpie des Dampfes	kJ/kg	2794.5	FluidEXL
Wasserenthalpie bei Sättigung	kJ/kg	871.9	FluidEXL
Kessel-Speisewasser Enthalpie, beim Eintritt	kJ/kg	443.1	FluidEXL
Abgastemperatur am Pinch-point	°C	235.3	
Wärmeabgabe Abgas bis pinch-point	kJ/s	251.7	69.9 kW
Wärmeabgabe Abgas bis pich-point	kW	69.9	
Dampfmassenstrom	kg/s	0.1	
Dampfwärme			
Überhitzungswärme	kJ/s	10.6	3.0 kW
Verdampfungswärme	kJ/s	241.1	67.0 kW
Speisewasseraufwärmung	kJ/s	53.8	14.9 kW
Summe	kJ/s	305.5	84.8 kW
	kW	84.8	

FW_Beispiele.xls
B_4.1_4.2 K-Zuordnung BHKW

Merkmale	Einheit	Wert	
Leistungsdaten			
Anzahl Module	-	3	
Elektrische Leistung, netto	498 kW	1,494	
Thermische Leistung	751 kW	2,253	
Brennstoffwärmeleistung	1418 kW	4,254	
Energiebilanz			
Stromerzeugung *)	5,750 h/a	MWh / a	8,591
Wärmeerzeugung	5,500 h/a	MWh / a	12,392
Brennstoffverbrauch, in Hu	5,750 h/a	MWh / a	24,461
Wirtschaftliche Eckdaten			
Erdgaspreis in Hu	€ / MWh	25.00	
Strombezugspreis **)	€ / MWh	50.00	
Zuschlag für Netzeinspeisung in MS ***)	€ / MWh	17.05	
Jahreskosten			
Fixe Kosten (in separater Rechnung)	T€ / a	264.0	
Brennstoffkosten	25.00 T€ / a	611.5	
Zwischensumme	T€ / a	875.5	
Stromgutschrift			
Vermiedener Strombezug	T€ / a	429.5	
Zuschlag für Netzeinspeisung MS	T€ / a	146.4	
Zwischensumme	T€ / a	576.0	
Spezifische Stromgutschrift	€ / MWh	67.05	
Restkosten, Wärme			
Leistungskosten ***)	€ / (kW*a)	40.09	
Arbeitskosten ***)	€ / MWh	16.88	
spezifische Wärmekosten	€ / MWh	24.17	

*) in Bypass Betrieb

250 h/a

**) Beschaffung en block ohne Leistungspreis

***) getrennte Rechnung

***) Zuordnung nach dem Verhältnis fixe- variable Kosten zu Gesamtkosten

FW_Beispiele.xls
B. 4.3_Restwert_Brennstoff_CO2

Merkmale	Einheit	Elektrizität	Wärme
Energieerzeugung	MWh/a	8,591	12,392
Brennstoffzuordnung, Referenzanlage <u>Steinkohle Kraftwerk</u>			
Brennstoffverbrauch. Gesamt	MWh _{th} /a	24,461	
Brennstoffgutschrift*) η_{el} 38%	MWh _{th} /a	22,607	
Zuordnung zu den Produkten	MWh _{th} /a	18,366	6,095
Spezifischer Verbrauch	MW _{th} /MWh _{el}	2.14	0.49
Brennstoffzuordnung, Referenzanlage <u>GuD-Kraftwerk</u>			
Brennstoffverbrauch. Gesamt	MWh _{th} /a	24,461	
Brennstoffgutschrift*) η_{el} 56%	MWh _{th} /a	15,340	
Zuordnung zu den Produkten	MWh _{th} /a	15,340	9,120
Spezifischer Verbrauch	MW _{th} /MWh _{el}	1.79	0.74
CO₂ Emissionen, Referenzanlage <u>Steinkohlekraftwerk</u>			
Jahresemissionen, gesamt 202 kgCO ₂ /MWhbr	t CO ₂ / a	4,941	
Emissionsgutschrift*) 342 kgCO ₂ /MWhbr	t CO ₂ / a	7,731	
Zuordnung zu den Produkten	t CO ₂ / a	7,731	-2,790
Spezifische Emissionen	kg/MWh	900	-225
CO₂ Emissionen, Referenzanlage <u>GuD Kraftwerk</u>			
Jahresemissionen, gesamt 202 kgCO ₂ /MWhbr	t CO ₂ / a	4,941	
Emissionsgutschrift *) 202 kgCO ₂ /MWhbr	t CO ₂ / a	3,099	
Zuordnung zu den Produkten	t CO ₂ / a	3,099	1,842
Spezifische Emissionen	kg/MWh	0.36	0.15

*) Gutschrift für die Wärme = Brennstoff bzw. Emissionen der Referenzanlage

FW_Beispiele.xls
B_4.4_Dampfkosten SK_GKW

Merkmal		Formel	Einheit	Zahlenwert
Steinkohle Dampfkraftwerk		-	MW	700
Leistungskosten, Kond.-Strom	7000 h/a	$c_{L,el}$	€ / (kW*a)	205.00
Arbeitskosten, Kond.-Strom		$c_{A,el}$	€ / MWh	23.00
Strom-Mischmkosten	7000 h/a	$c_{m,el}$	€ / MWh	52.29
Dampfauskopplung		-	bar/°C	6 / 250°C
Dampflieferung, Höchstlast		Q_{max}	MW	250
Dampflieferung, Jahresarbeit	7000 h/a	W_{th}	MWh / a	1,750,000
Stromverlustkennziffer, Dampf *)		β	kWh _{el} / kWh _{th}	0.280
Dampfkosten				
Spez. Leistungskosten, Dampf		$c_{L,D} = \beta \times c_{L,el}$	€ / (kW*a)	57.40
Spez. Arbeitskosten, Dampf		$c_{A,D} = \beta \times c_{A,el}$	€ / MWh	6.44
Jahreskosten, Dampf			T€ / a	25,620
davon Leistungskosten		$C_{L,D} = c_{L,D} \times Q_{max}$	T€ / a	14,350
davon Arbeitskosten		$C_{A,D} = c_{A,D} \times W_{th}$	T€ / a	11,270
Durchschnittskosten, Dampf		c_D	€ / MWh	14.64

*) aus Abb. 3.6 im Textteil,

FW_Beispiele.xls
B_4.5_SpezKostenWärme_GKW

Wärmeauskopplung aus Steinkohle-Großkraftwerk mit ZÜ						
		Strom-Leistungskosten $c_{L,el}$	€/ (kW a)	205.00		
		Strom-Arbeitskosten $c_{A,el}$	€/ MWh	23.00		
Dampfauskopplung			Spezifische Wärmegestehungskosten			
Dampfdruck p bar	Sättigungstemperatur *) t_s °C	Stromverlustkennziffer **) β kW _{el} /kW _{th}	Leistungskosten $\beta \times c_{L,el}$ €/ (kW a)	Arbeitskosten $\beta \times c_{A,el}$ €/ MWh	Mischkosten 7000 h / a €/ MWh	Mischkosten 3500 h / a €/ MWh
12.0	#NAME?	0.327	67.04	7.52	17.10	26.67
6.0	#NAME?	0.280	57.40	6.44	14.64	22.84
4.0	#NAME?	0.260	53.30	5.98	13.59	21.21
3.0	#NAME?	0.239	49.00	5.50	12.50	19.50
1.7	#NAME?	0.202	41.41	4.65	10.56	16.48

*) Daten wurden mit der Software FluidExcel berechnet

**) Siehe auch typische Werte in Abb. 3.6 und 3.7 im Textteil

S 68

Als werte eingesetzt

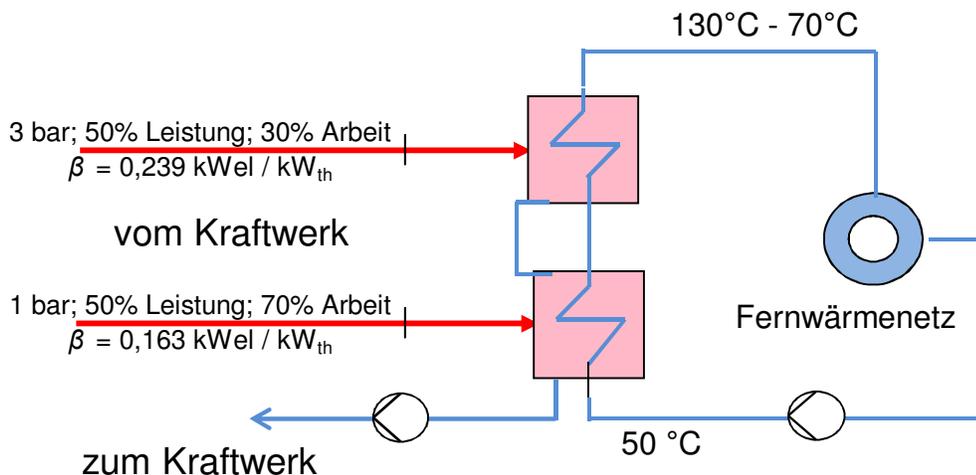
Wärmeauskopplung aus Steinkohle-Großkraftwerk mit ZÜ						
		Strom-Leistungskosten $c_{L,el}$	€/ (kW a)	205.00		
		Strom-Arbeitskosten $c_{A,el}$	€/ MWh	23.00		
Dampfauskopplung			Spezifische Wärmegestehungskosten			
Dampfdruck p bar	Sättigungstemperatur *) t_s °C	Stromverlustkennziffer **) β kW _{el} /kW _{th}	Leistungskosten $\beta \times c_{L,el}$ €/ (kW a)	Arbeitskosten $\beta \times c_{A,el}$ €/ MWh	Mischkosten 6000 h / a €/ MWh	Mischkosten 3500 h / a €/ MWh
12.0	188	0.327	67.04	7.52	18.69	26.67
6.0	159	0.280	57.40	6.44	16.01	22.84
4.0	144	0.260	53.30	5.98	14.86	21.21
3.0	134	0.239	49.00	5.50	13.66	19.50
1.7	115	0.202	41.41	4.65	11.55	16.48

*) Daten wurden mit der Software FluidExcel berechnet und als Wert kopiert

**) Siehe auch typische Werte in Abb. 5.15 im Textteil

Merkmal		Formel	Einheit	Zahlenwert	
Angaben					
Leistungskosten, Strom	7000 h/a	$C_{L,el}$	€ / (kW*a)	205.00	
Arbeitskosten, Strom		$C_{A,el}$	€ / MWh	23.00	
Wärmelieferung, Höchstlast		Q_{max}	MW	125	
davon aus unterem 1 bar- Heizkondensator			%	50%	
Wärmelieferung, Jahresarbeit	5500 h/a	W_{FW}	MWh / a	687,500	
davon aus unterem 1bar- Heizkondensator			%	70%	
Stromverlustkennziffer, 3 bar- Dampf		β_{3bar}	kWh _{el} / kWh _{th}	0.239	
Stromverlustkennziffer, 1 bar-Dampf		β_{1bar}	kWh _{el} / kWh _{th}	0.164	
Fernwärmekosten					
Stromverlustkennziffer, gemittelt:					
Leistung 50% 1 bar / 50% 3 bar		$\beta_L = 0,5 \times \beta_{1bar} + 0,5 \times \beta_{3bar}$	kWh _{el} / kWh _{th}	0.202	
Arbeit 70% 1 bar / 30% 3 bar		$\beta_A = 0,7 \times \beta_{1bar} + 0,3 \times \beta_{3bar}$	kWh _{el} / kWh _{th}	0.187	
Spez. Leistungskosten Fernwärme		$C_{L,FW} = \beta_L \times C_{L,el}$	€ / (kW*a)	41.31	
Spez. Arbeitskosten Fernwärme		$C_{A,FW} = \beta_A \times C_{A,el}$	€ / MWh	4.29	
Jahreskosten, Fernwärme frei Kraftwerk			$C_{FW} = C_{L,FW} + C_{A,FW}$	€ / a	8,112,469
davon Leistungskosten		$C_{L,FW} = C_{L,FW} \times Q_{max}$	€ / a	5,163,438	
davon Arbeitskosten		$C_{A,FW} = C_{A,FW} \times W_{FW}$	€ / a	2,949,031	
Durchschnittskosten, Fernwärme			C_{FW}	€ / MWh	11.80

Wärmelieferung Abbildung



FW_Beispiele.xls
B_4.7_Spez. Brennstoffverbrauch

Merkmale	Einheit	SK-KW-ZÜ	GuD-KW
Gegeben			
Elektrischer Kond.-Wirkungsgrad	-	43.0%	52.5%
Dampfauskopplung:	-		
Druck	bar	12.0	12.0
Stromverlust-Kennziffer	$\text{kWh}_{\text{el}} / \text{kWh}_{\text{th}}$	0.278	0.256
Dampfauskopplung:			
Druck	bar	6.0	6.0
Stromverlust-Kennziffer	$\text{kWh}_{\text{el}} / \text{kWh}_{\text{th}}$	0.243	0.224
Spezifischer Brennstoffverbrauch			
Kondensationsstrom	$\text{kWh}_{\text{Br}} / \text{kWh}_{\text{el}}$	2.326	1.905
12-bar Dampf *)	$\text{kWh}_{\text{Br}} / \text{kWh}_{\text{th}}$	0.647	0.488
6-bar Dampf *)	$\text{kWh}_{\text{Br}} / \text{kWh}_{\text{th}}$	0.565	0.427
Spezifische CO₂ Emissionen			
Spez. Brennstoffemissionen	$\text{g}_{\text{CO}_2} / \text{kWh}_{\text{Br}}$	342	202
Kondensationsstrom	$\text{g}_{\text{CO}_2} / \text{kWh}_{\text{el}}$	795	385
12-bar Dampf *)	$\text{g}_{\text{CO}_2} / \text{kWh}_{\text{th}}$	221	98
6-bar Dampf *)	$\text{g}_{\text{CO}_2} / \text{kWh}_{\text{th}}$	193	86

*) siehe typische Werte im Textteil Abb.. 3.6 und 3.7

FW_Beispiele.xls
B_4.8_Exergie_Wärmeträger

Energieträger	bar	°C	Energie- gehalt*)	Exergie *)	
			kJ / kg	kJ / kg	%
Elektrizität	n.a.	n.a.	100%	n.a.	100%
Dampf	245	620	#NAME?	#NAME?	#NAME?
	180	540	#NAME?	#NAME?	#NAME?
	20	250	#NAME?	#NAME?	#NAME?
	6	159	#NAME?	#NAME?	#NAME?
	0.045	31	#NAME?	#NAME?	#NAME?
Kühlwasser	3.5	15	#NAME?	#NAME?	#NAME?

Anmerkung: Exergie ist der Teil der Energie eines Energieträgers, der maximal in mechanische Energie umgewandelt werden kann.

*) berechnet mit FluidEXL, Null Exergie Niveau Kühlwasser Tu =

als Werte eingesetzt

Energieträger	bar	°C	Energie- gehalt*)	Exergie *)	
			kJ / kg	kJ / kg	%
Elektrizität	n.a.	n.a.	100%	n.a.	100%
Dampf	245	620	3,557	1,702	48%
	180	540	3,390	1,555	46%
	20	250	2,903	1,018	35%
	6	159	2,756	810	29%
	0.045	31	130	2	1.3%
Kühlwasser	3.5	15	63	0	0%

Anmerkung: Exergie ist der Teil der Energie eines Energieträgers, der maximal in mechanische Energie umgewandelt werden kann.

*) berechnet mit FluidEXL, Null Exergie Niveau Kühlwasser Tu =

FW_Beispiele.xls
B_4.9_Aufteilun_Exergie

Energieträger	Druck bar	Temperatur °C	Enthalpie *) kJ/kg	Exergie *) kJ/kg	Nutzbarer Exergie Anteil kJ/kg	Exergie nach Verlust MWh/t	Spezifische kosten -
Elektrizität	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	52.29 €/MWh
Dampf 12 bar	12.0	284	#NAME?	#NAME?	#NAME?	#NAME?	#NAME?
Dampf 6 bar	6.0	216	#NAME?	#NAME?	#NAME?	#NAME?	#NAME?
Dampf 3 bar	3.0	164	#NAME?	#NAME?	#NAME?	#NAME?	#NAME?
Null Exergie Niveau	1.0	54	#NAME?	#NAME?	#NAME?	#NAME?	n.a.
*) Daten wurden mit der Software FluidEXL berechnet				Exergieverlust	25%	kWh/kg=MWh/t	Tu=54
Vollbenutzungsstunden für alle		7,000 h/a	205 €/kW _a	23.00 €/MWh		Durchschnitt	52.29 €/MWh

Energieträger	Druck bar	Temperatur °C	Enthalpie *) kJ/kg	Exergie *) kJ/kg	Nutzbarer Exergie Anteil kJ/kg	Exergie- Energie Anteil %	Spezifische Durchschnitts- kosten € / MWh
Elektrizität	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	100.0%	52.29 €/MWh
Dampf 12 bar	12.0	284	3,012	755	566	0.188	9.83
Dampf 6 bar	6.0	216	2,885	606	455	0.158	8.24
Dampf 3 bar	3.0	164	2,790	476	357	0.128	6.69
Null Exergie Niveau	1.0	54	224	(0)	(0)	- 0.000	n.a.
Vollbenutzungsstunden für alle				7,500 h/a	Exergieverlust	25%	Tu=54
*) Daten wurden mit der Software FluidEXL berechnet							

Technische Parameter			Kosten		
Merkmal	Einheit	Wert	Merkmal	Einheit	Wert
Strom			Strom		
Exergieanteil	-	100.0%	Leistung	€ / (kW _{el} a)	205
Leistung	MW _{el}	600	Arbeit	€ / MWh _{el}	23.00
Vollbenutzungsstunden	h /a	7,000	Durchschnitt *)	€ / MWh _{el}	52.29
Dampf 6 bar			Dampf 6 bar		
Nutzbarer Exergieanteil	MWh _{ex} /t	0.158	Leistung	€ / (t a)	32.3
Leistung	MW _{ex}	50	Arbeit	€ / t	3.62
Vollbenutzungsstunden	h /a	5,000	Durchschnitt *)	€ / t	10.08
Anmerkung: Es wird angenommen, dass das HKW 2500 h/a Strom anstatt Wärme erzeugen kann					
Kontrollrechnung vs. B4.9	h /a	7000			8.24 €/t

Leistungs- und Energiebilanz					
Position	Höchst- last MW	Leistungs- anteil %	Vollast stunden h/a	Energie- erzeugung MWh/a	Arbeits- anteil %
Strom,brutto	86.2		8,000	689,907	
Strom, netto *)	83.7	42.4%	8,000	669,209	46.5%
23bar Dampf	20.4	10.4%	7,500	153,370	10.6%
12bar Dampf	79.0	40.0%	7,000	553,043	38.4%
4,5bar Dampf	14.4	7.3%	4,500	64,657	4.5%
Summe	197.5	100.0%	-	1,440,279	100.0%

*) Stromeigenverbrauch 3.0% gelb aus Kreisprozessrechnung S 77

Brennstoffverbrauch					
Position	Strom- kennzahl	thermische Energie	elektrische Energie *)	Energie Nutzungs- grad *)	Brennstoff- verbrauch in Hu **)
	MWh _{el} /MWh _{th}	MWh/a	MWh/a	%	MWh/a
Bypass-Strom	-	0	78,014	30.4%	257,025
KWK-Energie aus 23bar Dampf	0.800	153,370	122,700	82.1%	336,425
KWK-Energie aus 12 bar Schiene	0.885	553,043	489,192	82.1%	1,270,091
KWK-Energie aus 4,5bar Dampf	0.000	64,657	0	82.1%	78,792
Summe		771,069	689,907	-	1,942,334
Energieeinutzungsgrad, brutto über alles im Jahresmittel					75.2%

*) brutto

gelb aus Kreisprozessrechnung

** (therm, Energie +Stromerzeugung) / Eneregieeinutzungsgrad

S 77

Wirtschaftliche Eckdaten					
Position	Einheit	Zahlenwert	Bemerkungen		
	Mio€	65.0			
spez. Brennstoffkosten in Hu	€/MWh	15.00	inkl. Zuschläge für sonst. Variable Kosten		
Jahresfixkosten	T€/a	9,750	bekannt aus anderen Rechnungen		
Brennstoffkosten	T€/a	29,135	inkl. Zuschläge für sonst. Variable Kosten		

Aufteilung der Energiegestehungskosten					
Position	Leistungskosten *)		Arbeitskosten **)		Misch- kosten ***)
	Gesamt	spezifisch	Gesamt	spezifisch	
	T€ / a	€ / (kW*a)	T€ / a	€ / MWh	€ / MWh
Strom	4,130	49.37	13,537	20.23	26.40
23bar Dampf	1,010	49.37	3,102	20.23	26.81
12bar Dampf	3,901	49.37	11,187	20.23	27.28
4,5bar Dampf	709	49.37	1,308	20.23	31.20
Summe ****)	9,750	-	29,135		-

*) Verteilt auf Basis der Leistungsanteile aus der Leistungsbilanz

***) Verteilt auf der Basis der Energieanteile aus der Energiebilanz

****) bezogen auf die Energieerzeugung aus Leistungs- und Energiebilanz

*****) Jahreskosten in separater Rechnung ermittelt

FW_Beispiele.xls
B_5.1 und 5.2

Im Textteil S.83

Position		Einheit	Auswahl automatisch	Manuelle Eingabe
Eingaben				
Wärmemenge		MW	50	
Vorlauftemperatur		°C	130	
Rücklauftemperatur		°C	70	
Länge der Leitung	incl. Zuschlag für ζ	m	5,750	
Ergebnisse *)				
Normdurchmesser		DN	400	300
Lichte Weite		mm	388.8	309.7
Volumenstrom		m ³ /s	0.2025	0.2025
Wassergeschwindigkeit		m/s	1.71	2.69
Widerstandsbeiwert Lambda		-	0.016	0.017
Spezifischer Druckverlust, pro m Trasse		N/m ²	115	378
Gesamt Druckverlust	Dp_end=0.50 bar	bar	7.13	22.23
Pumpleistung		kW	206	643

Graphik! Berechnung siehe Tool 1_FW_Wasserleitung, B_6.1

FW_Beispiele.xls
B_6.2_FW-Transport

Merkmal	Einheit	Wert
Gegeben		
Nenn Durchmesser	DN	500
Lichte Weite	mm	486
Trassenlänge	km	5
Temperaturspreizung	K	60
zulässiger Druckverlust	bar	12
Ergebnis		
mittlerer spez. Druckverlust	Pa/m	240
Max. Transportkapazität	MW	116.6
Wassergeschwindigkeit	m/s	2.60

FW_Beispiele.xls
B_6.3_Pumparbeit

Merkmal	Einheit	Wert
Gegeben		
Nenndurchmesser	DN	500
Lichte Weite	mm	486
Trassenlänge	km	5
Temperaturspreizung	K	60
zulässiger Druckverlust	bar	12
Benutzungsdauer, Fernleitung	h/a	7,250
Benutzungsdauer, Pumpe	h/a	7,000
Ergebnis		
mittlerer spez. Druckverlust	Pa	240
Max. Transportkapazität	MW	116.6
Volumenstrom	m ³ /s	0.467
Wassergeschwindigkeit	m/s	2.52
Pumpleistung	kW _{el}	826.5
Spez. Pumparbeit	kWh _{el} /MWh _{th}	6.8

FW_Beispiele.xls
 B_10.1BWvsAnu

Position	Einheit	Kapitalwert	Annuität
Formel		BW	an x BW
kalkulatorischer Zinssatz	-	6.50%	6.50%
Einnahmenüberschuss (E-A)	€ /a	1,000	1,000
Lebensdauer n:			
10 a	-	7189 €	1,000 €/a
20 a	-	11019 €	1,000 €/a
30 a	-	13059 €	1,000 €/a

FW_Beispiele.xls
B._10.2_LEC_BW

Position		Einheit	Dampf-KW	GuD-KW
Leistung & Energiebilanz				
Elek. Leistung, netto		MW	600	400
Volllaststunden		h / a	5,500	5500
Elek. Arbeit, netto		MWh /a	3,300,000	2,200,000
Elek. Wirkungsgrad		-	42%	55%
Brennstoffverbrauch		MWh _{th} /a	7,857,143	4,000,000
Investitionsausgaben		mln. €	1,343	433
Kalkulatorischer Zinssatz, real		% /a	6.5%	6.5%
Lebensdauer		a	35	25
Fixe Betriebskosten		% Inv.	2.50%	1%
Brennstoffpreis ¹⁾		€ / MWh _{th}	10.44	25.00
Betriebskosten				
Fixe Betriebskosten		mln. € / a	33.58	4.33
Variable Betriebskosten ²⁾	10%	mln. € / a	90.25	110.00
Summe		mln. € / a	123.83	114.33
Barwertermittlung				
Barwert Investitionsausgaben		mln €	1,343	433
Barwert Betriebskosten		mln €	1,695	1,395
Barwert der Stromerzeugung		MWh	45,166,957	26,835,329
Spez. Stromgestehungskosten, LEC		€ / MWh	67.26	68.10
davon variable Kosten		€ / MWh	27.35	50.00

1) Kohlepreis 85 €/SKE Erdgas LHV 25 €/MWh

2) Zuschag+.10% für nicht Brennstoffkosten

FW_Beispiele.xls
B._10.3_LEC_Anu

Position		Einheit	Dampf KW	GuD KW
Leistung & Energiebilanz				
Elek. Leistung, netto		MW	600	400
Volllaststunden		h / a	5,500	5500
Elek. Arbeit, netto		MWh /a	3,300,000	2,200,000
Elek. Wirkungsgrad		-	42%	55%
Brennstoffverbrauch		MWh _{th} /a	7,857,143	4,000,000
Investitionsausgaben		mln. €	1,343	433
Kalkulatorischer Zinssatz, real		% /a	6.5%	6.5%
Lebensdauer		a	35	25
Fixe Betriebskosten		% Inv.	2.50%	1%
Brennstoffpreis ¹⁾		€ / MWh _{th}	10.44	25.00
Jahreskosten				
Kapitaldienst, Annuität		mln. € / a	98.12	35.50
Fixe Betriebskosten		mln. € / a	33.58	4.33
Variable Betriebskosten ²⁾ 10%		mln. € / a	90.25	110.00
Summe Jahreskosten		mln. € / a	221.95	149.83
Spez. Stromgestehungskosten; LEC		€ / MWh	67.26	68.10
davon variable Kosten		€ / MWh	27.35	50.00

1) Kohlepreis

85 €/SKE

Erdgas LHV

25 €/MWh

2) Zuschag+.10% für nicht Brennstoffkosten

FW_Beispiele.xls
B_10.4_10.5_FW-Kosten_BHKW

Position	Einheit	Wert	
Leistungsdaten			
Anzahl Module	-	4	
Elektrische Leistung, je Modul	kW	532	
Thermische Leistung	kW	652	
Elektrische Leistung, gesamt	kW	2,128	
Thermische Leistung	kW	2,608	
Brennstoffwärmeleistung 40.6%	kW	6,424	
Energiebilanz			
Stromerzeugung ¹⁾	6,000 h/a	MWh / a	12,768
Wärmeerzeugung	5,500 h/a	MWh / a	14,344
Brennstoffverbrauch, in Hu	6,000 h/a	MWh / a	38,542
Wirtschaftliche Eckdaten			
Zinssatz, real	-		6.50%
Investitionsausgaben ²⁾	894 €/kW	T€	1,903
kalkulatorische Lebensdauer	a		20
Erdgaspreis in Hu	€ / MWh		25
Strombezugspreis ³⁾	EG-Preis x 2	€ / MWh	50
Netznutzungsentgelte (NNE) ⁴⁾			
Leistung	€ / (kW*a)		72.21
Arbeit	1.48 Cent / kWh	€ / MWh	14.80
Netzreservekapazität ⁵⁾	€/kWa		60.68
Jahreskosten			T€ / a
Kapitaldienst	6.50%	T€ / a	172.7
Instandhaltungskosten	1 Cent / kWh	T€ / a	127.7
Reservekapazität	1 Module	T€ / a	32.3
Brennstoffkosten		T€ / a	963.5
Stromgutschrift			T€ / a
Vermiedener Strombezug		T€ / a	638.4
Vermiedene NNE, Leistung		T€ / a	153.7
Vermiedene NNE, Arbeit		T€ / a	189.0
Spezifische Stromgutschrift			€ / MWh
Restkosten, Wärme			T€ / a
spezifische Wärmekosten			€ / MWh
			21.97

- 1) in Bypass Betrieb 500 h/a
 2) Aus ASUE Broschüre BHKW-Kenndaten 2014 / 2015
 3) Wird als Vielfaches vom Erdgaspreis berechnet
 4) NNE aus Netze BW, Preisblatt 5) Netze BW, Preisblatt 4.bis 400 h / a

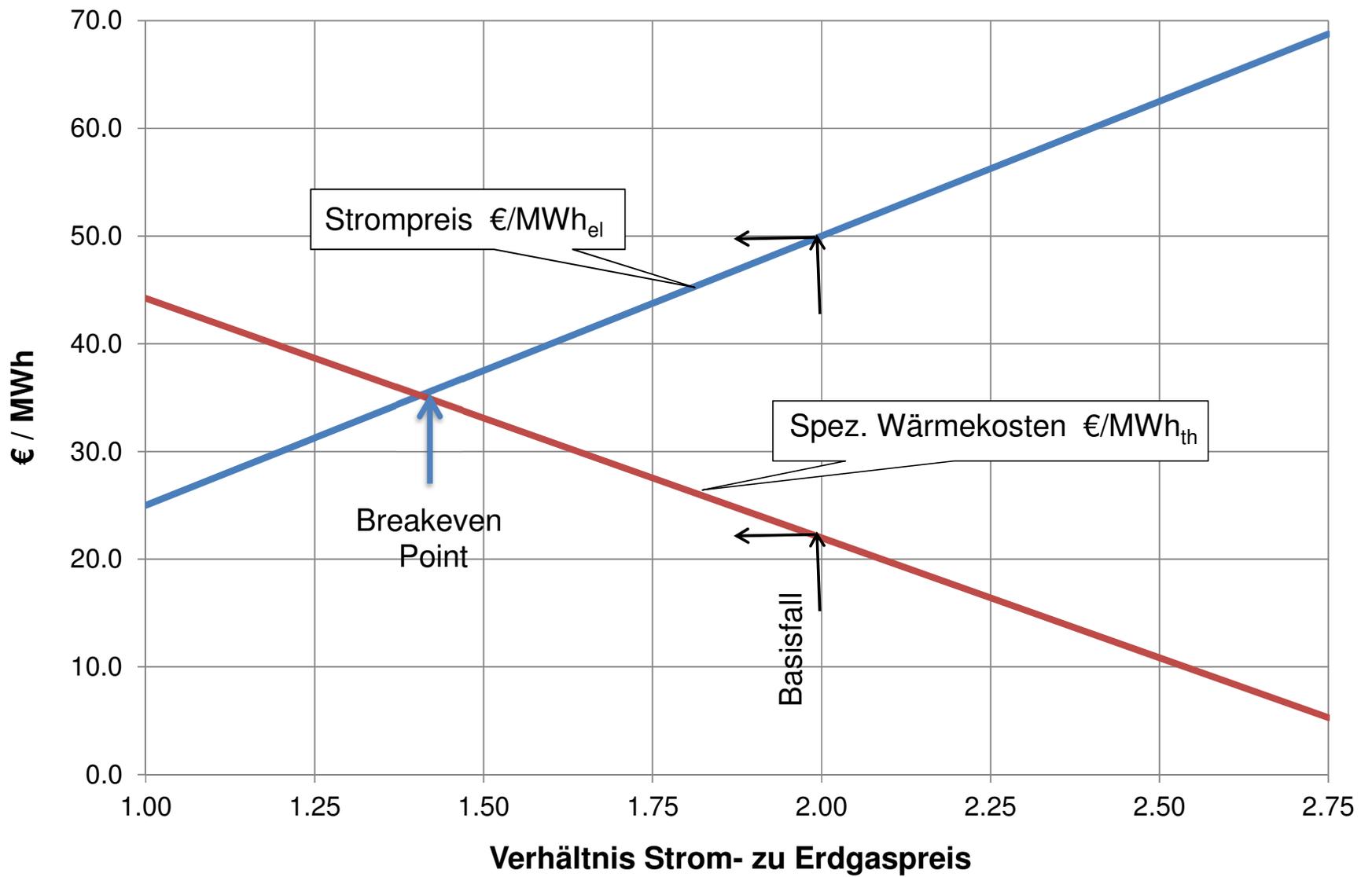
B_10.5
Unten



B_10.5 >

Geändertes Verhältnis Strom/EG - Preis		
Strom / EG Preis	Strompreis €/MW _{el}	Wärme €/MW _{th}
1.00	25.00	44.22
1.25	31.25	38.66
1.50	37.50	33.10
1.75	43.75	27.54
2.00	50.00	21.97
2.25	56.25	16.41
2.50	62.50	10.85
2.75	68.75	5.28

Strom/EG-Preis konstant geänderter Gaspreis		
Gas- preis	Strom- preis	Wärme €/MW _{th}
12.50	25.00	10.64
15.00	30.00	12.90
17.50	35.00	15.17
20.00	40.00	17.44
22.50	45.00	19.71
25.00	50.00	21.97
27.50	55.00	24.24
30.00	60.00	26.51



FW_Beispiele.xls
B_10.6_10.7_FW-Kosten_GT

Position		Einheit	Wert
Leistungsdaten			
Anzahl Module	Solar Titan 130	-	3
Elektrische Leistung, je Modul ¹⁾		kW _{el}	14,554
Dampferzeugung 10 bar, je Modul	h=2,777 kJ/kg	t/h	29.8
Kondensatrückführung	h=763 kJ/kg	-	30%
Thermische Leistung		kW _{th}	21,094
Elektrische Leistung, gesamt		kW _{el}	43,662
Thermische Leistung		kW _{th}	63,283
Brennstoffwärmeleistung ¹⁾	34.5%	kW _{Br}	126,593
Energiebilanz			
Stromerzeugung ²⁾	7,750 h/a	MWh / a	338,381
Wärmeerzeugung	7,500 h/a	MWh / a	474,624
Dampferzeugung 10 bar, gesamt		t/a	670,500
Brennstoffverbrauch, in Hu	34.4%	MWh / a	983,664
Wirtschaftliche Eckdaten			
Zinssatz, real		-	6.50%
Investitionsausgaben GT-Generator ³⁾	635 €/kW_{el}	T€	27,704
Investitionsausgaben Abhitzeessel ³⁾	250 €/kW_{th}	T€	5,274
kalkulatorische Lebensdauer		a	20
Erdgaspreis in Hu		€ / MWh	25
Strombezugspreis ⁴⁾	EG-Preis x 2	€ / MWh	50
Netznutzungsentgelte (NNE) ⁵⁾			
Leistung		€ / (kW*a)	72.21
Arbeit	1.48 Cent / kWh	€ / MWh	14.80
Netzreservekapazität ⁶⁾		€/kW _a	60.68
Jahreskosten		T€ / a	32,420.5
Kapitaldienst GT-Generator Satz		T€ / a	2,514.3
Kapitaldienst Abhitzeessel		T€ / a	478.6
Instandhaltungskosten, fix	1.5%	T€ / a	494.7
Instandhaltungskosten, variabel ⁷⁾	5.0 €/MWh	T€ / a	1,691.9
Reservekapazität	3 Module	T€ / a	2,649.4
Brennstoffkosten		T€ / a	24,591.6
Stromgutschrift		T€ / a	25,079.9
Vermiedener Strombezug		T€ / a	16,919.0
Vermiedene NNE, Leistung		T€ / a	3,152.8
Vermiedene NNE, Arbeit		T€ / a	5,008.0
Spezifische Stromgutschrift		€ / MWh	74.1
Restkosten, Wärme		T€ / a	7,340.6
spezifische Dampfkosten		€ / t	10.95
spezifische Wärmekosten		€ / MWh	15.47

1) aus ASUE Gasturbinen Kenndaten ISO, Einlass & Auslassverluste berücksichtigt

2) Bypass Betrieb bei Stromspitzenlast und niedrigem Dampfbedarf 250 h/a

3) Aus Gasturbine World Handbook 2016-17 517 USD / kW 1.10 €//\$
Zuschläge: Transport 5%;Montage 15%, Bau & Sonstiges 15% = 35%

4) Wird als Vielfaches vom Erdgaspreis berechnet

5) NNE aus Netze BW, Preisblatt 1

6) Netze BW, Preisblatt 4,bis 400 h / a

7) Instandhaltungsvertrag