



Energie – Praxiswissen
Panos Konstantin

Praxisbuch Energiewirtschaft 4. Auflage 2017

Kapitel 4 Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien

Anwendungsbeispiele

- B 4.1 Ertragsberechnung Windkraftanlage
- B 4.2 Stromgestehungskosten Wasserkraftwerke
- B 4.5 Stromgestehungskosten 50 MW PV

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
Mai 2017

Position	Einheit	Erneuerbar		Konventionell	
		Eigenkapital	Darlehen	Eigenkapital	Darlehen
Kapitalanteile	%	20	80	30	70
Risikofreier Rendite/Zinssatz	% /a	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Investitions-Risikoaufschlag	% /a	5.0%	0.0%	6.0%	1.0%
Technologie-Risikoaufschlag	% /a			0.0%	0.0%
Land-Risikoaufschlag	% /a	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Zwischensumme nach Steuern	% /a	10.0%	5.0%	11.0%	6.0%
Körperschaftsteuer 25%	% /a	3.3%	0.0%	3.7%	0.0%
Kapitalkosten vor Steuern	% /a	13.3%	5.0%	14.7%	6.0%
Gewichteter Mittelwert (WACC)	% /a	6.67%		8.60%	
./. Inflation *)	% /a	2.00%		2.00%	
WACC inflationsbereinigt, vor Steuern	% /a	4.58%		6.47%	

*) angestrebter Wert bei allen entwickelten Volkswirtschaften

Position	Einheit	Grundlast		Mittellast		Spitzenlast
		Dampf KW Steinkohle	GuD Gas	Dampf KW Steinkohle	GuD Gas	Gas Turbine
Leistung	MW	700	400	700	400	150
Wirkungsgrad netto	-	46%	56%	46%	56%	34%
Benutzungsstunden	h / a	7,500	7,500	5,000	5,000	1,250
Brennstoffpreis:						
Grenzübergang	-	95 €/t_SKE	30.0 €/MWh_Ho	95 €/t_SKE	30.0 €/MWh_Ho	30.0 €/MWh_Ho
Frei Kraftwerk	-	13.00	35.00	13.00	35.00	40.30
Leistungskosten	€ / (kW a)	202	80	202	80	56
Arbeitskosten *)	€ / MWh	28.26	62.50	28.26	62.50	118.54
Vollkosten *)	€ / MWh	55.20	73.17	68.66	78.50	163.34

*) Ohne CO₂ Kosten

Arbeitskosten, Vergleichsbasis für Anlagen ohne Speicher (non-dispatchable)

Vollkosten, Vergleichsbasis für Anlagen mit Speicher

Mittlere Windgeschwindigkeit in 30 m Höhe w :										5.5 m/s					
Verfügbarkeit										0.97					
Nabenhöhe H_N :										80 m					
mittlere Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe w_N :										6.45 m/s					
w_N	m / s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Zwischen- summe
P_{el}	kW	0	0	2	18	56	127	240	400	626	892	1,223	1,590	1,830	
t	h / a	0	325	614	838	979	1,032	1,006	918	790	645	500	370	261	
W_{el}	MWh	0	0	1	15	53	127	234	356	480	558	594	571	464	
Fortsetzung															
w_N	m / s	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Zwischen- summe
P_{el}	kW	1,950	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	
t	h / a	177	114	71	42	24	13	7	3	2	1	0	0	0	
W_{el}	MWh	334	227	141	84	48	26	14	7	3	2	1	0	0	
P_{el} : Aus der Leistungskennlinie der WKA nach Herstellerangaben										Summe, Jahresertrag MWh					4,339
										Vollbenutzungsstunden h/a					2,116

Separate Excel Datei

Merkmale	Einheit	Speicher Wasser- Kraftwerk	Pump- speicher Wasserkraft werk
Angaben *)			
Installierte Leistung	MW	500	250
Turbinentyp		2 xFrancis	2 xFrancis
Fallhöhe	m	200	keine Angabe
CAPEX	Mio. USD	1,468	1,322
Spezifisch	USD / kW	2,936	5,288
Fixe Betriebskosten	USD / kW a	14.13	18.00
Variable Betriebskosten	USD / MWh	0	0
Jahreskosten			
Kapitalkoste 5.50%/a 50 a	USD / kW a	173.40	312.32
Fixe Betriebskosten	USD / kW a	14.13	18.00
Summe fixe Kosten	USD / kW a	187.53	330.32

*) Quelle [eia 2013]

Merkmal	Einheit	Lauf- wasser	Speicher- wasser	Pump- speicher
Angaben				
Installierte Leistung	MW	150	150	150
Typische Nutzungsdauer	h / a	4,500	3,500	1,000
Jahresstromerzeugung	GWh / a	675	525	150
Wirtschaftliche Eckdaten				
Fallhöhe	m	20	200	250
Pumparbeit 85.0%	GWh / a	-	-	176
Benutzungsdauer	h / a	-	-	1,000
Arbeitskosten Pumpstrom	€ / MWh	-	-	30
Kalkulatorische Lebensdauer	a	50	50	50
Kalkulatorischer Zinssatz, real	% / a	4.58%	4.58%	4.58%
Fixe Betriebskosten	% Inv. / a	1.0	1.1	1.2
Investitionsausgaben, typisch				
	Mio. €	525	525	675
Spezifisch	€ / kW	3,500	3,500	4,500
Jahreskosten				
Kapitalkoste 4.58%/a 50 a	Mio. € / a	26.9	26.9	34.6
Fixe Betriebskosten	Mio. € / a	0.5	0.6	0.8
Variable Betriebskosten *)	Mio. € / a	-	-	5.3
Summe Jahreskosten	Mio. € / a	27.4	27.5	40.7
Stromgestehungskosten Ø				
	€ / MWh	40.62	52.32	271.19
Davon Leistungskosten	€ / (KW a)	179.28	179.28	230.50
Variable Kosten ca.	€ / MWh	-	-	35.29

*) Pumpstromkosten

separate Datei
Fall Studie 4.1

Separate Datei
Fallstudie 4.2

Merkmal			Einheit	Deutschland Mitte	Deutschland Süd	Süd- europa
Technische Daten						
Nennleistung			MWp	50		
Energieertrag			kWh / kWp	1,100	1,300	2,000
Jahres-Energieertrag			MWh / a	55,000	65,000	100,000
Aufstellung, Nachführung			-	einachsigt vertikal		
Wirtschaftliche Eckdaten						
kalkulatorische Lebensdauer			a	25		
Eigenkapitalanteil			%	20.0%		
Inflation			% / a	2.0%		
kalkulatorischer Zinssatz, nominal			% / a	6.7%		
kalkulatorischer Zinssatz, real *)			% / a	4.6%		
O&M Kosten			% / a	0.50%		
Pacht			ct / kWh	0.30	0.35	0.20
Versicherungen			% / a	0.75%	0.75%	0.75%
Investitionsausgaben, Stand 2011			Mio. €	117	117	117
Spezifische Kosten **)		1.30 €/USD	USD / kWp	2.3	2.3	2.3
Jahreskosten, real, 2011						
Kapitaldienst			1000 € / a	7,952	7,952	7,952
O&M Kosten			1000 € / a	585	585	585
Pacht			1000 € / a	165	228	200
Versicherungen			1000 € / a	878	878	878
Summe			1000 € / a	9,579	9,642	9,614
Spez. Stromgestehungskosten, real			ct / kWh	17.42	14.83	9.61


*) Damit wird gerechnet

**) Kostenstand 2011; Basierend auf der Studie "Photovoltaik Pricing Trends" (nrel) und (lbl),

in separate Datei
Fallstudie 4.3

in separate Datei
Fallstudie 4.3

in separate Datei
Fallstudie 4.3

Merkmal	Einheit	Wert
Technische Parameter		
Elektr. Leistung, Entnahme-Kond., brutto	MW	20.0
Stromeigenbedarf	%	8%
Betriebsdampf	MW	46.0
Brennstoffwärmeleistung	MW	95.9
Gesamtwirkungsgrad	%	69%
Benutzungsdauer	h / a	7,500
Energiebilanz		
Stromerzeugung, netto	MWh / a	138,000
Dampferzeugung	MWh / a	345,000
Brennstoffverbrauch	MWh / a	701,975
davon Fremdholz	%	85%
Reststoffmenge	t / a	12,000
Investition	Mio €	55.0
Jahresbetriebskosten		
Kapitaldiens 6.5% 20 Jahre	T€/a	4,992
Personal 20 Personen 80 T€ / a	T€/a	1,600
Wartung & Instandhaltung 3.0% / a	T€/a	1,650
Versicherung, Verwaltung, 1.2% / a	T€/a	660
Biomasseko 3.8 € / MWh 30 € / t	T€/a	4,711
Kosten für Reststoffentsorgung 150 € / t	T€/a	1,800
Summe	T€/a	15,412
. / . Stromverg 70.0 € / MWh	T€/a	9,660
Restkosten, Dampf	T€/a	5,752
Spezifische Kosten von Dampf 	€ / MWh	16.67