

Formelblatt Regenerative Energieumwandlung

Wasserkraftwerk

$$P = \frac{\eta_{ges} \cdot m \cdot g \cdot H}{t} = \eta_{ges} \cdot g \cdot \rho \cdot \dot{V} \cdot H$$

η_{ges} = Gesamtwirkungsgrad

g = $9,81 \text{ m/s}^2$

$\dot{V}$ = Volumenstrom des Wassers [m^3/s]

ρ = Dichte des Wassers = 1000 kg/m^3

H = Mittlere Fallhöhe

P = elektrische Leistung

für Generatorbetrieb mit $P = P_{gen}$

Pumpspeicher

$$P_{el} = \frac{P_{Pump}}{\eta_{ges}}$$

$$H_{nutz} = \frac{p_e - p_a}{\rho \cdot g} + \frac{v_e^2 - v_a^2}{2 \cdot g} + (H_e - H_a)$$

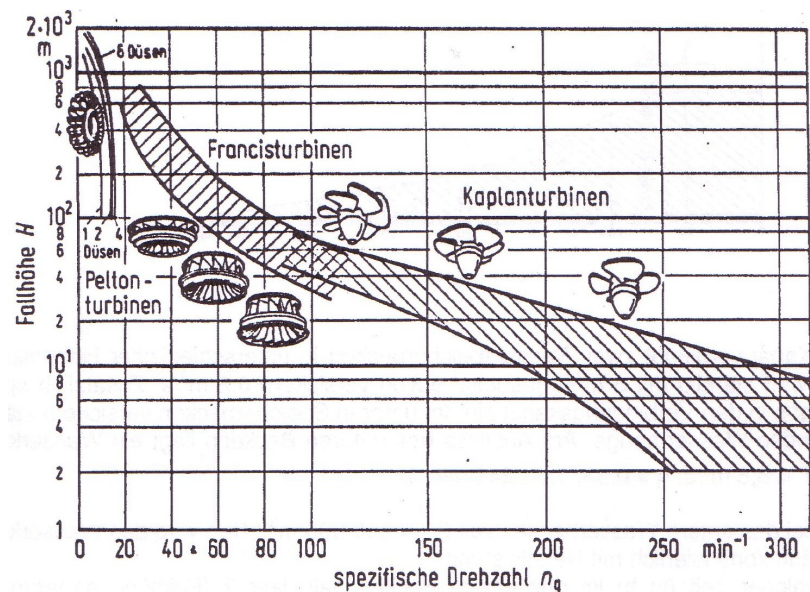
Bezeichnung	Fallhöhe
Kaplanturbine	bis zu einigen 10 m
Francisturbine	einige 10 m - ca. 400 m
Pelton-turbine	> ca. 200 m

geodätische Höhe: $H = H_e - H_a$

$$n_q = \frac{n \cdot \sqrt{\dot{V}}}{H^{0,75}}$$

n : geforderte Drehzahl

n_q : spezifische Drehzahl



Windkraftanlagen

Leistungsbeiwert

$$c_p = \frac{\Delta P}{P_{Wind}}$$

($c_p = 0 \dots 0,48$)

Schnellaufzahl

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot r}{v}$$

im Wind enthaltene Leistung

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P_{el} = c_p \cdot \eta_{mech} \cdot P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot \eta_{mech} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$\rho_{Luft} = 1,257 \text{ kg/m}^3$ $\eta_{mech} \approx 80\% - 95\%$

Konzentrierende Spiegelkollektoren

Wärmebilanz

NUR DIREKTSTRAHLUNG

$$\dot{G} \cdot A_R = (1 - \rho) \cdot \dot{G} \cdot A_R + \rho_A \cdot \rho \cdot \dot{G} \cdot A_R + U_A \cdot A_A \cdot (\vartheta_A - \vartheta_U) + \epsilon \cdot A_A \cdot \sigma \cdot (T_A^4 - T_U^4) + \dot{Q}_N$$

Wirkungsgrad des Spiegelkollektors:

$$\eta_K = \rho(1 - \rho_A) - \frac{U_A}{\dot{G} \cdot C} \cdot (\vartheta_A - \vartheta_U) + \frac{\epsilon \cdot \sigma}{\dot{G} \cdot C} \cdot (T_A^4 - T_U^4)$$

- $\dot{Q}_N$ = thermische Nutzleistung
- A_R = Reflektorfläche
- A_A = Absorberfläche
- ρ = Reflexionskoeffizient des Spiegels
- ρ_A = Reflexionskoeffizient des Absorbers
- U_A = Wärmedurchgangskoeffizient des Absorbers in $W/(m^2 \cdot K)$
- ϵ = Emissionskoeffizient des Absorbers
- σ = Stefan-Boltzmann-Konstante = $5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$
- C = Konzentrationsverhältnis = A_R/A_A

Biomasse/Biogas

zulässige Emmissionswerte

Staub	10 mg/Nm ³
CO	50 mg/Nm ³
NO _x	200 mg/Nm ³
SO ₂	50 mg/Nm ³
HCl	10 mg/Nm ³
HF	1 mg/Nm ³
Hg	0,045 mg/Nm ³
PCDD/F	0,1 ng/Nm ³

$1 m^3 \text{ Biogas} \approx 6 KWh (\text{bei } 60\% CH_4) \approx 0,6 l \text{ Öl}$

Heizwert

	Brennstoff	Heizwert
Biomasse	Stroh	14,3 MJ/kg
	Schilfarten	14,5 MJ/kg
	Getreidepflanzen	15,0 MJ/kg
	Holz	16,0 MJ/kg
	Biogas	22,0 MJ/m ³
Fossile Energieträger	Braunkohle	20,0 MJ/kg
	Steinkohle	32,0 MJ/kg
	Heizöl	42,0 MJ/kg
	Erdgas	30,0 MJ/Nm ³

$1 m^3 CH_4 \approx 9,94 KWh$

Raumbelastung

$$B_R = \frac{\dot{m} \cdot c}{V_R}$$

- $\dot{m}$: Zugeführte Substratmenge je Zeiteinheit [kg/d]
- C : Konzentration der organischen Substanz [%]
- V_R : Reaktorvolumen [l]

Zusammensetzung Biomasse

Asche	} TS	} oTS (organische Trockensubstanz)
RP (verdauliches Eiweiß)		
RL (verdauliches Fett)		
Rf+NfE (verdauliche Kohlenhydrate)		
Wasser		

$$\text{oTS-Gehalt} = \frac{(TS - \text{Rohascheanteil})}{TS}$$

$$RP = \text{Rohproteinanteil} \cdot VQRP$$

$$RL = \text{Rohfettanteil} \cdot VQRL$$

$$Rf + NfE = \text{Rohfaseranteil} \cdot VQRF + \text{NfE-Anteil} \cdot VQNfE$$

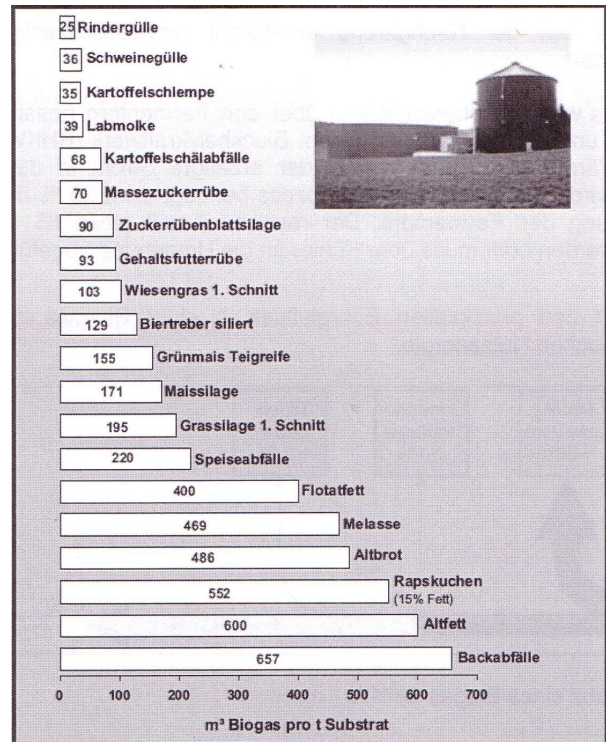
$VQRP$: Verdaulichkeitsquotient RP

$VQRL$: Verdaulichkeitsquotient RL

$VQNfE$: Verdaulichkeitsquotient NfE

Für Silomais

Rohascheanteil	0,053 kg
Rohproteinanteil	0,092 kg pro 1kg TS
VQRP	57,00%
Rohfettanteil	0,042 kg pro 1kg TS
VQRL	87,00%
Rohfaseranteil	0,185 kg pro 1kg TS
VQRF	63,00%
NfE-Anteil	0,628 kg pro 1kg TS
VQNfE	87,00%



Hydraulische Verweilzeit

$$HTR = \frac{V_R}{\dot{V}}$$

V_R : Reaktorvolumen

$\dot{V}$: zugeführte Substratmenge

	Biogasertrag in l/kg oTS	Methangehalt in l/kg oTS
Verdauliches Eiweiß (RP)	38,7	29,0
Verdauliches Fett (RL)	48,1	35,1
Verdauliche Kohlenhydrate	511,5	281,1
Summe pro kg oTS	598,3	345,2

Energieflussdiagramm: S 124 ; Beispiel Wirtschaftlichkeitsrechnung S.126

Stirlingmotor

$$\Delta W_{12zu} = -R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_1}{V_2} = -\Delta Q_{12ab}$$

$$\eta_{th} = \frac{|W_{ab, mech}|}{Q_{zu}} = 1 - \frac{T_1}{T_3}$$

$$\Delta Q_{34zu} = R \cdot T_3 \cdot \ln \frac{V_1}{V_2} = -\Delta W_{34ab}$$

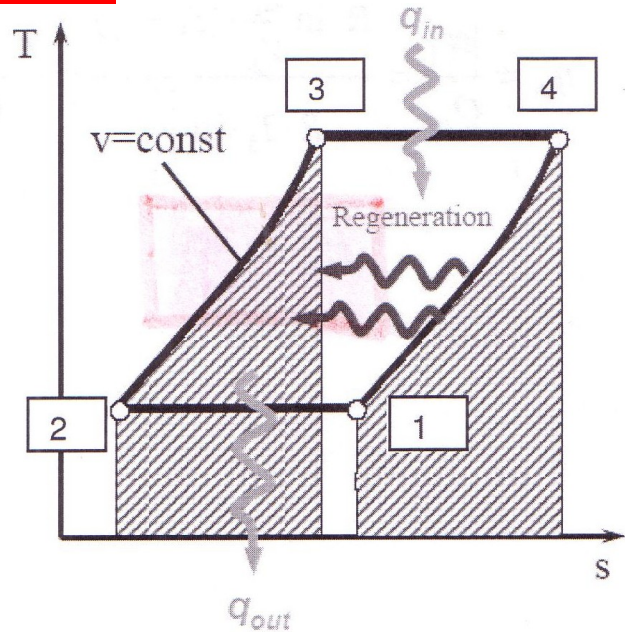
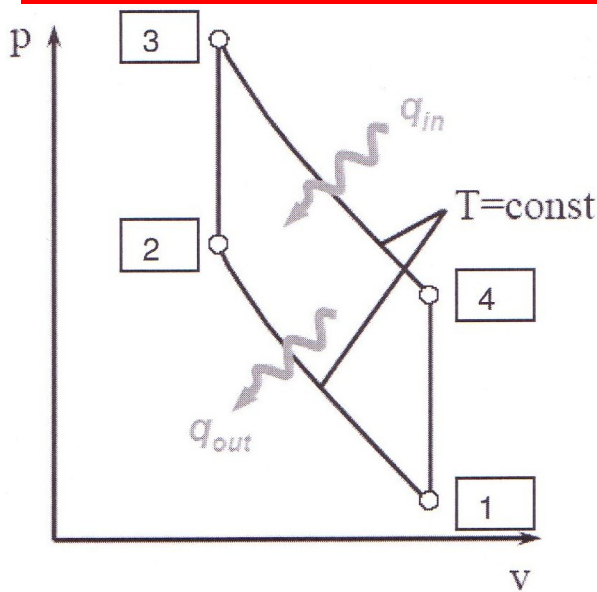
$$\text{Regeneratorwirkungsgrad: } \eta_{Reg} = \frac{T_{ist} - T_1}{T_2 - T_1} \approx 95\%$$

$$\Delta Q_{23zu} = c_V \cdot (T_3 - T_1) = \Delta U_{23}$$

$$\Delta Q_{41ab} = -c_V \cdot (T_3 - T_1) = \Delta U_{41}$$

$$W_{ab, mech} = \Delta W_{12zu} + \Delta W_{34ab} = -R \cdot \ln \frac{V_1}{V_2} \cdot (T_3 - T_1)$$

$$Q_{zu} = \Delta Q_{34zu}$$



Geothermische Kraftwerke

$$\text{Temperaturgradient: } 30 \frac{K}{km}$$

$$\text{Wärmestrom: } 0,06 \frac{W}{m^2}$$

Gezeitenkraftwerke

$$P_{el} = \eta_{ges} \cdot \dot{m} \cdot g \cdot \Delta z$$

mit $\Delta z = \text{Grafik S.133/134}$

Wellenkraftwerke

$$E_{pot, max} = m \cdot g \cdot h \text{ mit } m = \chi \cdot \rho \cdot A \cdot h$$

$A = \text{Wellengrundfläche}$

$\rho = \text{Wasserdichte} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\chi = \text{Wellenformfaktor} \quad 0,05 \leq \chi \leq 0,1$

$$\frac{E_{pot, max}}{A} = \chi \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \quad \text{Typische Werte Nordsee: } T=6s; h=1,5m; \chi=1/16$$