

Lebenszyklusanalysen innovativer Stromerzeugungstechniken mit Biomasse

VDI-GET-Expertenforum

„Entwicklungslinien der Energietechnik“

Workshop

**„Lebenszyklusanalysen zukünftiger Stromerzeugungstechniken“
in Bochum am 07. und 08.09.2004**

Dr. Johannes Moerschner

Dr. Ludger Eltrop

Prof. Dr.-Ing. A. Voß






Gliederung

- Einleitung
- Vorgehensweise
 - Systemauswahl
 - Brennstoffe/Brennstoffketten
 - Methodische Aspekte
- Ergebnisse
 - Massengerüste
 - Spezifische Stoff- und Energieaufwendungen
 - Lebensweganteile
 - Wirkungsbilanz
- Kritische Würdigung der Ergebnisse, Schlussfolgerungen

Systemparameter Stromerzeugung aus Biomasse

Parameter	Dampfturbine	ORC-HKW	Holzvergaser+ Gas-BHKW
Feuerungswärmeleistung	26,7 MW	8,7 MW	9 MW (Vergaser)
Kessel-/Vergaserleistung	23,3 MW	7,61 MW	7 MW (Kaltgas 50°C)
Kessel-/Vergaserwirkungsgrad	87,3 %	87,5 %	78 % (Vergaser)
elektr. Nennleistung (brutto)	6,1 MW	1,0 MW	2 x 1,2 MW
Thermische Leistung	max. 22 MW an WT bei 4 MW _{el}	4,65 MW ORC-Modul 1,61 MW HW-Eco = 6,26 MW an WT	1,2 MW Gaskühlung 3,2 MW BHKW = 4,4 MW max. an WT
Volllaststunden Strom	6 560 h/a	4 600 h/a	7 500 h/a
Volllaststunden Wärme	4 660 h/a	4 890 h/a	2 620 h/a
Wirkungsgrad Vergaser	-	-	78,0 %
Wirkungsgrad el BHKW	-	-	35,0 %
Wirkungsgrad th BHKW	-	-	46,0 %
Nutzungsgrad el System	19,5 %	10,6 %	28,9 %
Nutzungsgrad th System	50,1 %	70,4 %	13,3 %
Jahresnutzungsgrad System	69,7 %	81,0 %	42,2 %

Brennstoffgewinnung Waldhackgut Beispiel Verfahren teilmechanisiert, Schwachholz, Hacken im Wald

Arbeitsort Arbeitsschritt	Bestand	Rückegasse	Waldstrasse	Zielort
Fällen, Aufarbeiten				
Vorliefern				
Rücken				
Hacken				
Transport				

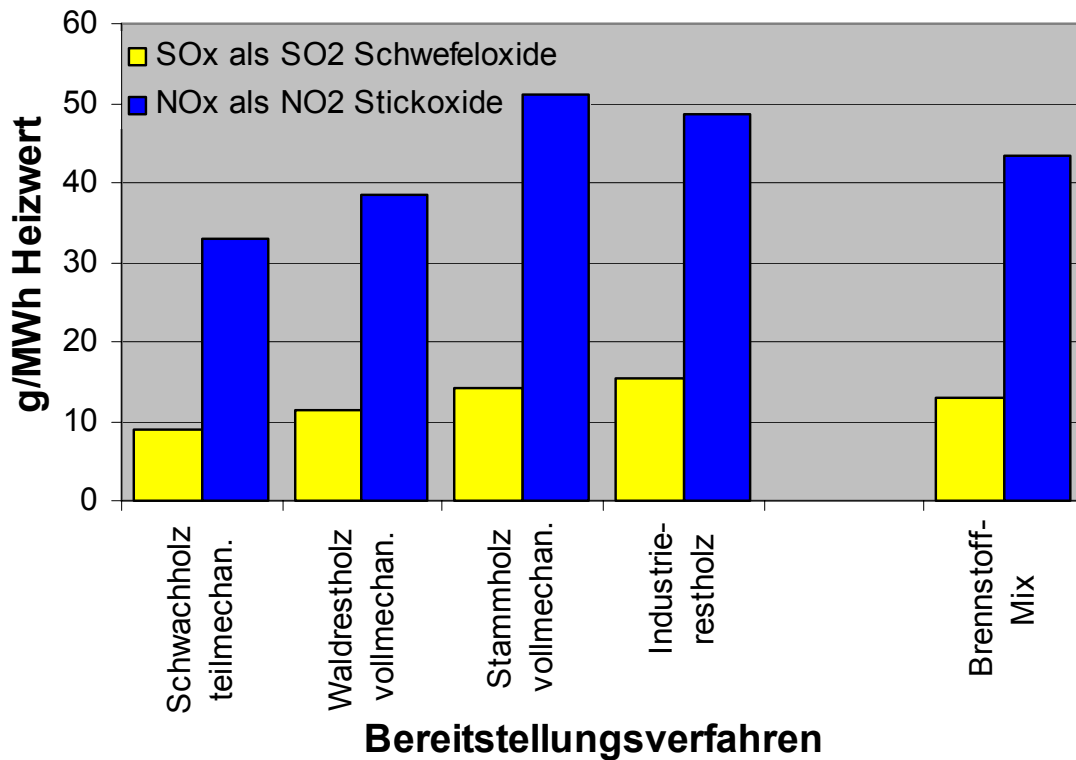
Verfahrensmix der Brennstoffbereitstellung und angenommene Anteile der Verfahrenstypen

Holzsortiment/Verfahren	Anteil am Mix
WHG teilmechanisiert Schwachholz	30 %
WHG vollmechanisiert Waldrestholz	10 %
WHG vollmechanisiert Stammholz	20 %
Säge-/Industrierestholz	40 %

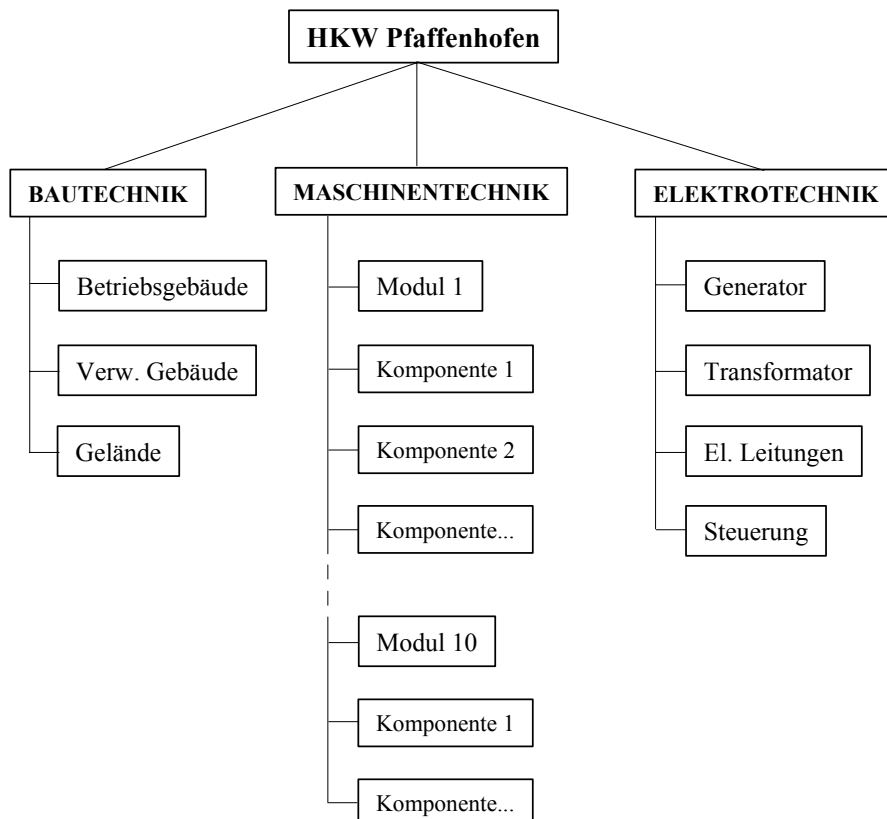
Brennstoffparameter der mittleren Holzhackschnitzel

Parameter	Einheit
Energiegehalt	9,08 MJ Hu/kg FM 18,5 MJ Hu/kg TM
Schüttraumdichte	0,277 t/Sm ³ FM
Schnitzelgröße	15-60 mm
Wassergehalt	45 %/kg FM
Kohlenstoffgehalt	49,091 Gew.-%TM
Wasserstoffgehalt	6,273 Gew.-%TM
Sauerstoffgehalt	41,745 Gew.-%TM
Stickstoffgehalt	0,345 Gew.-%TM
Schwefelgehalt	0,036 Gew.-%TM

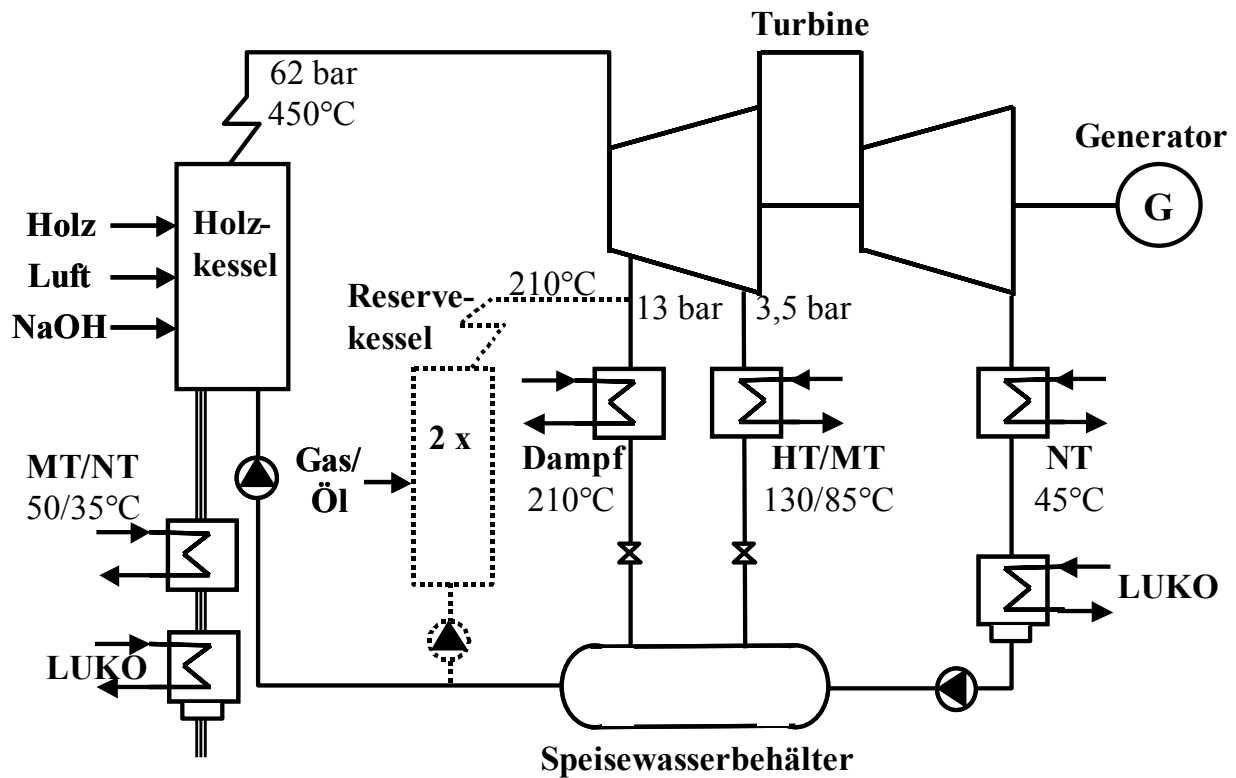
Vergleich der Holzhackschnitzelbereitstellung anhand ihrer spezifischen SO_x- und NO_x-Emissionen



Modulare Abbildung der Kraftwerkskomponenten



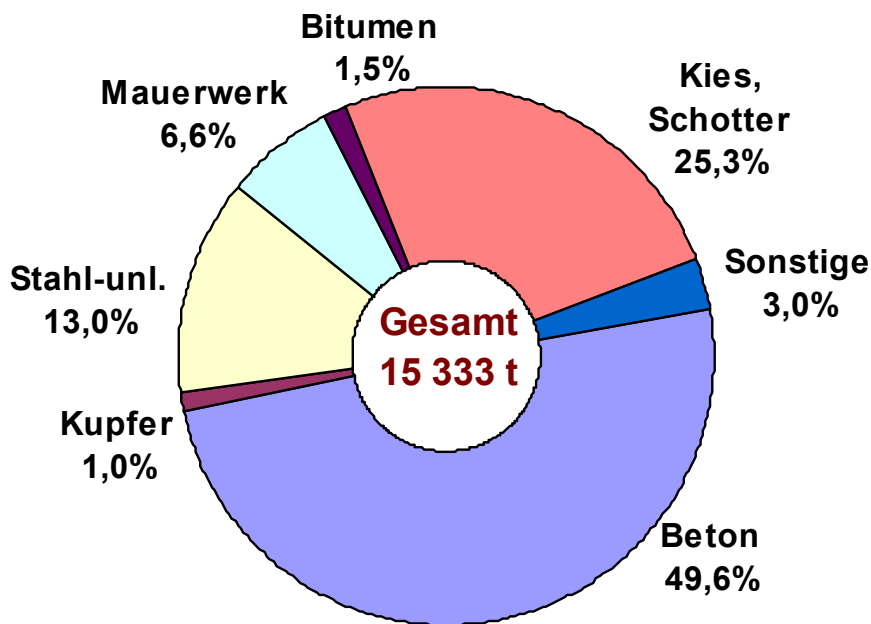
Wärmeschaltbild Biomasse-Dampfturbinen-HKW, vereinfacht



Spezifische Verbrennungs-Emissionen der betrachteten Biomasseanlagen im Vergleich [mg/kWh_{exerg}]

	Dampf- turbine	ORC- HKW	Holzvergaser+ Gasmotor
CO	818,93	603,07	16,03
NO _x	549,94	1206,15	896,74
SO _x	298,88	502,56	22,97
HC	59,78	100,51	9,31
HCl	3,59	6,03	0,14
Staub	59,78	150,77	67,60

Massenbilanz des Biomasse-Dampf-HKW's

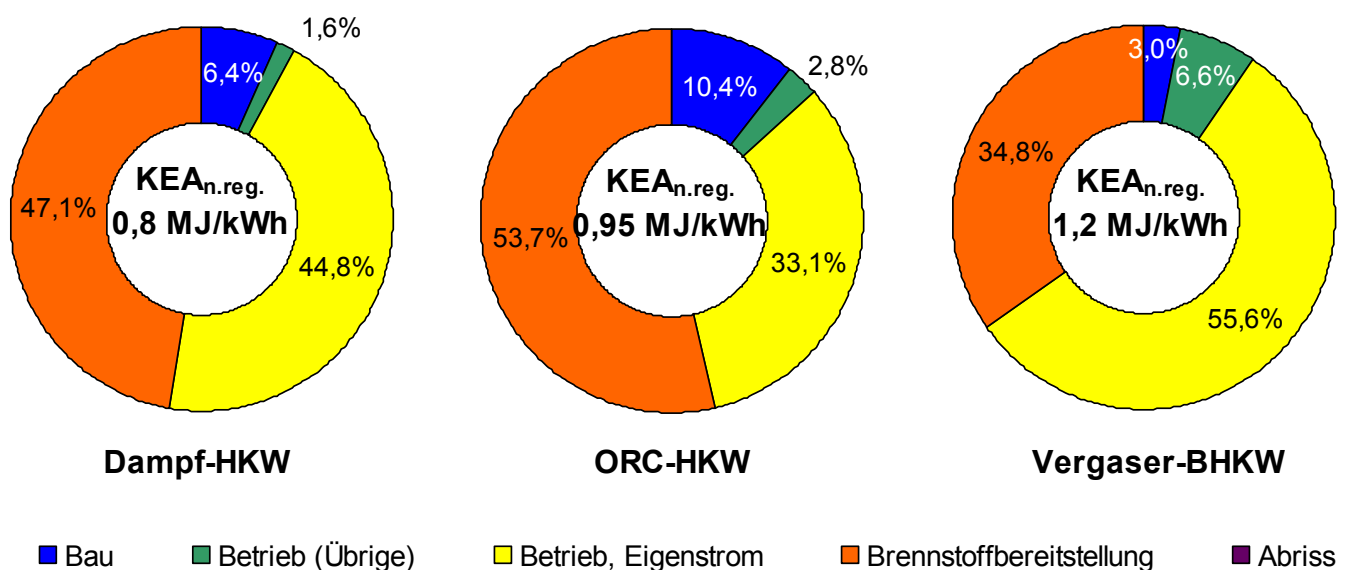


Massenanteile	
Bautechnik	91,3%
Maschinentechnik	7,3%
Elektrotechnik	1,4%

Material	g/kWh Exergie*
Beton	5,289
Kupfer	0,107
Stahl-unl.	1,387
Mauerwerk	0,704
Bitumen	0,158
Kies, Schotter	2,703
Sonstige	0,318

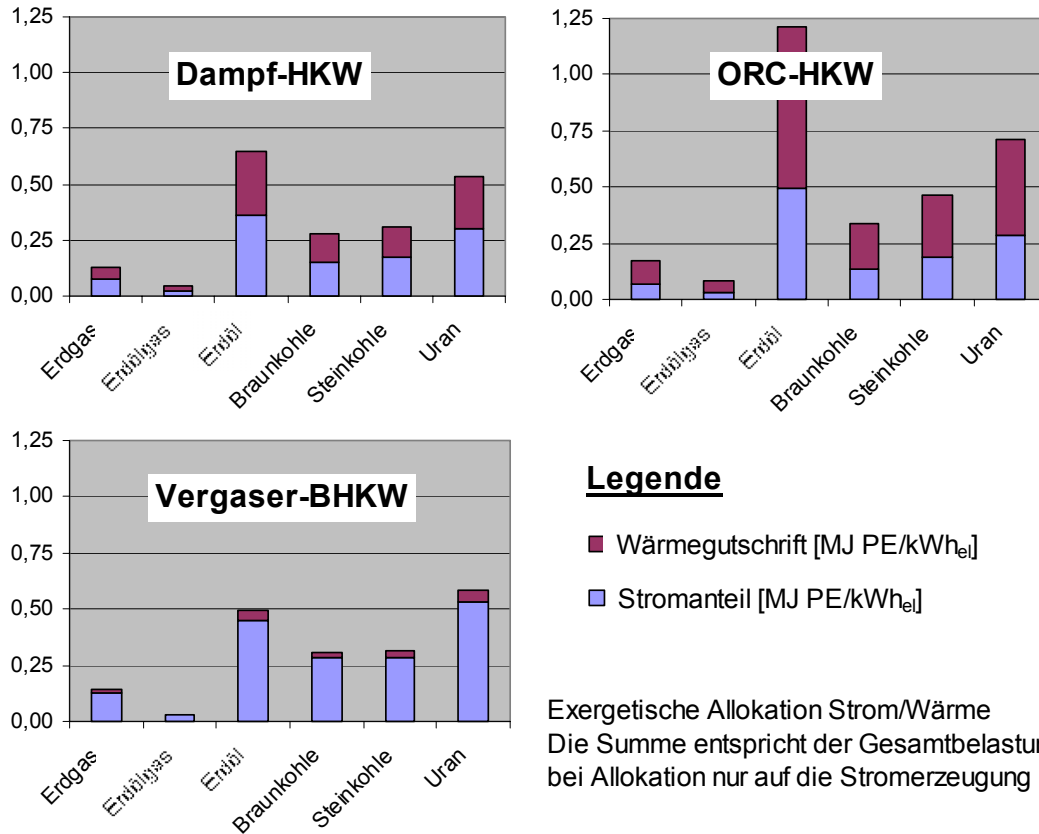
*Bei 20a Betriebsdauer

KEA nicht regenerativ der Biomasse-HKW's Vergleich der Lebenswegverteilungen

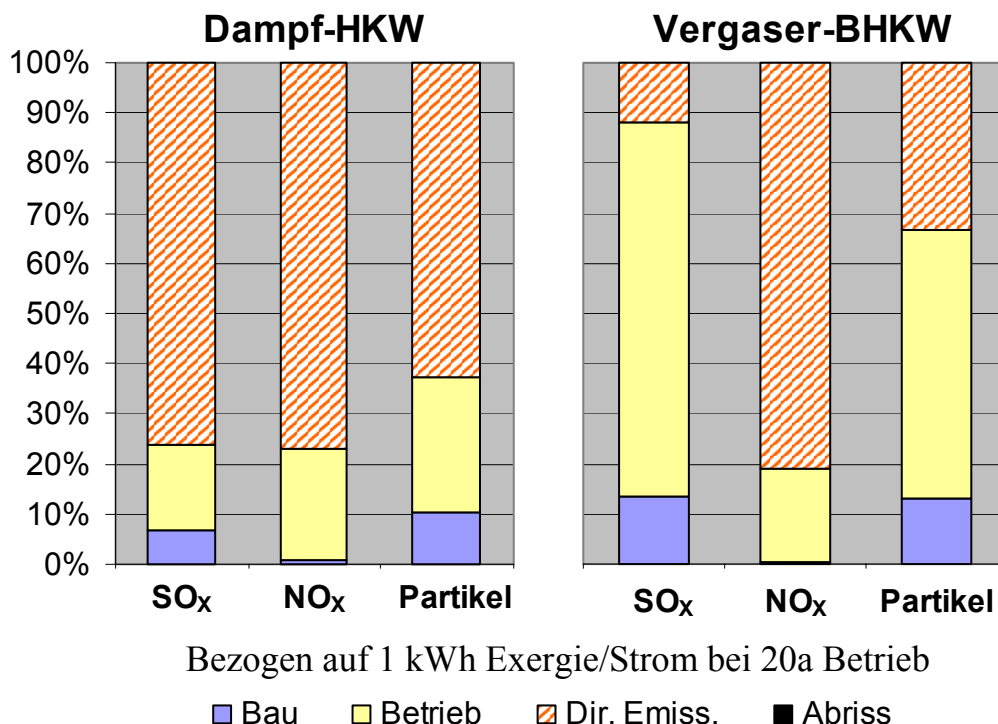


Betriebsdauer 20a, exergetische Betrachtungsweise

Spezif. Einsatz nicht regenerativer Energieträger



Lebenswegbilanzen ausgewählter Emissionen Anteile der Lebenswegabschnitte an den Gesamtbelastungen



Lebenswegbilanzen der Biomasse-Stromerzeugungsanlagen im Vergleich

	Dampf- turbine	ORC- HKW	Holzvergasung+ Gasmotor
<i>Kumulierte Emissionen</i> [g/kWh _{el}]			
CO ₂ nicht reg.	61,49	69,17	93,66
CO ₂ Biomasse	1098,20	1477,09	1366,68
N ₂ O	0,01	0,01	0,03
SO _x als SO ₂	0,39	0,64	0,13
NO _x als NO ₂	0,72	1,42	1,11
Partikel gesamt	0,10	0,20	0,07
<i>Brennstoff</i> [MJ/kWh _{el}]			
Biomasse	10,26	13,79	11,30

Bei 20a Betrieb, exergetische Betrachtungsweise

Wirkungsabschätzung Die Biomasse-Stromerzeugungsanlagen im Vergleich

	Einheit	Dampf- turbine	ORC- HKW	Holzvergasung+ Gasmotor
Treibhauspotential 100 Jahre	g CO ₂ -Äqu./kWh	66	74	109
Versauerungspotenzial	g SO ₂ -Äqu./kWh	0,98	1,72	1,04
Eutrophierungspotenzial	g PO ₄ -Äqu./kWh	0,09	0,19	0,15
KEA - Ressourcenmethode	MJ/kWh	0,80	0,95	1,20

Bei 20a Betrieb, exergetische Betrachtungsweise

Schlussfolgerungen

- Stromerzeugung aus Holz mit KWK als Biomasse-Option 2010
- Ergebnis-Unterschiede zwischen Technologien sind bedingt durch
 - Spezifische elektrische Systemwirkungsgrade der Technologien
 - Spezifische, technikbedingte Verbrennungsemissionen
- Anteil des Kraftwerksbaus an den Gesamtbelastungen i.d.R. gering (3-10,5% KEA), Betriebsphase verursacht häufig >90% der Lebenswegbelastungen
- CO₂ nicht reg. etwa 1/50, Rest CO₂-Emissionen aus Biobrennstoff
- Dampfkraft-HKW:
 - Bei optimierter Wärmeabnahme geringste Belastungen im Systemvergleich
- ORC-HKW:
 - Höhere Lebenswegbelastungen als Dampfkraft-System durch ger. elektrischen Wirkungsgrad, ger. Exergie der Wärmeauskopplung, höhere Feuerungsemiss.
- Vergaser-BHKW:
 - Noch unausgereifte Technik: Datenlage verbesserbar
 - Bei geringen Jahresnutzungsgraden höchste ökologische Belastungen im Systemvergleich

Vergleich mit Ergebnissen anderer Ökoinventare von Stromerzeugungsanlagen

	Einheit	Biomasse- HKW	Erdgas- BHKW	Steink.- KW
elektrische Leistung	MW _{el}	6	2,1	509
Wärmeleistung	MW _{th}	23,3	12,5	-
Nutzungsdauer	a	20	15	40
Nettostromerzeugung Lebensdauer	TJ	2880	580	367200
Nettowärmeerzeugung Lebensdauer	TJ	7388	1218	-
Spezifischer Masseneinsatz	t/MW _{el}	2534	922	642
Spezifischer Masseneinsatz	t/GWh _{el}	19,2	12,0	3,2
Massenanteil der Bautechnik	%	92,1	91	90
Massenanteil der Maschinenteknik	%	6,5	8	9
Massenanteil der Elektrotechnik	%	1,4	1	1
HKW-Flächenbedarf	m ²	10150	1568	53000
spezifischer Flächenbedarf	m ² /GWh _{el}	12,7	9,7	0,5
KEA Herstellung	TJ/MW _{el}	16,65	5,33	5,18
KEA Betrieb, spezifisch	TJ/TJ _{el}	0,23	0,10	0,02
KEA Abriss	TJ/MW _{el}	0,53	-3,7	-338