



Wirtschaftliche Aspekte der energetischen Nutzung von Stroh

Christian Leuchtweis

Fachkongress „Alternative Rohstoffe für Bioenergie“

Ku`Ko Rosenheim, 07. November 2008



C.A.R.M.E.N.



Wirtschaftliche Aspekte der energetischen Nutzung von Stroh



Gliederung

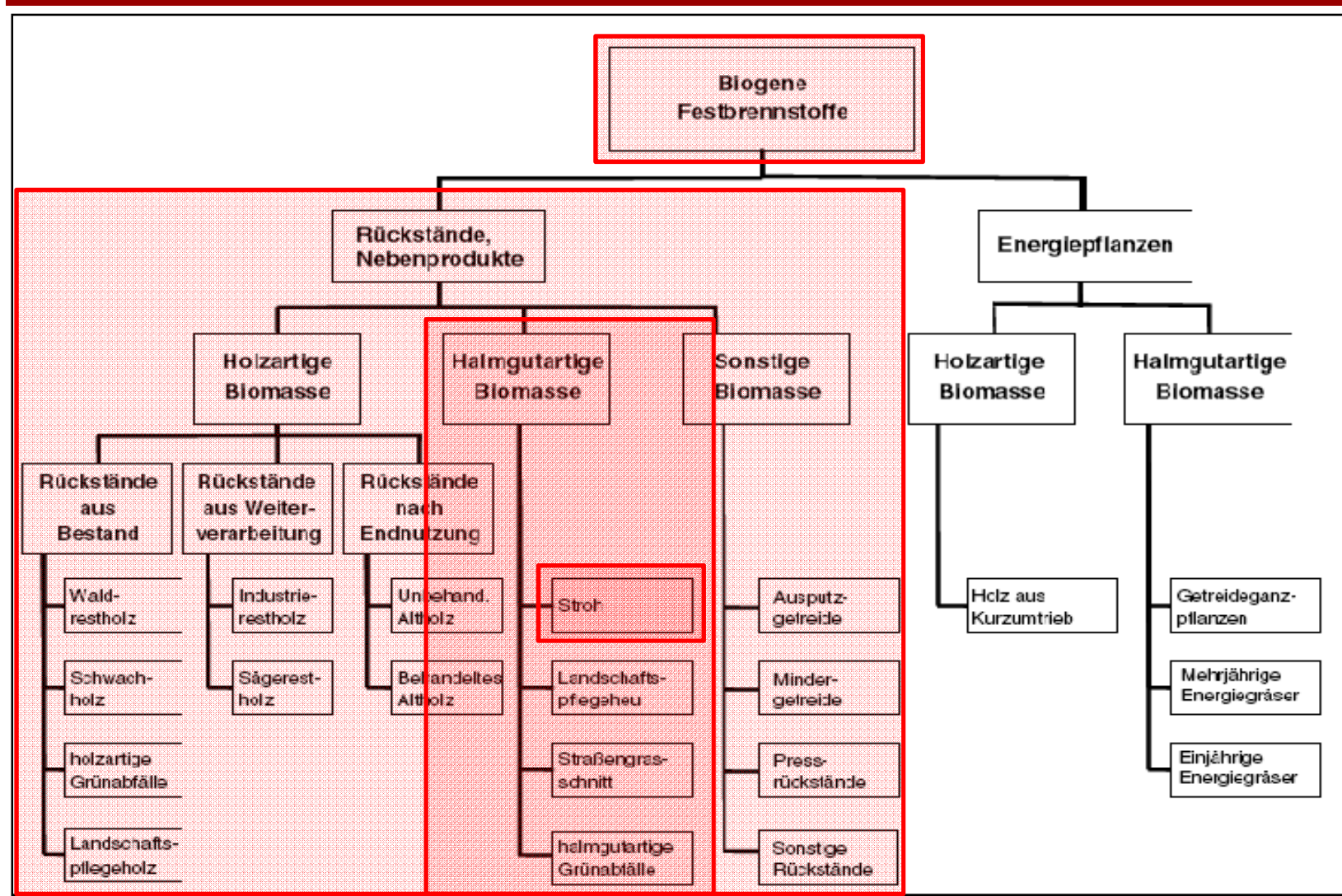
- Motivation
- Ernte und Bergung
- Brennstoffeigenschaften
- Technik
- Kosten
- Wirtschaftlichkeit
- Fazit





C.A.R.M.E.N.

Motivation: Einordnung



Quelle: Leitfaden Bioenergie

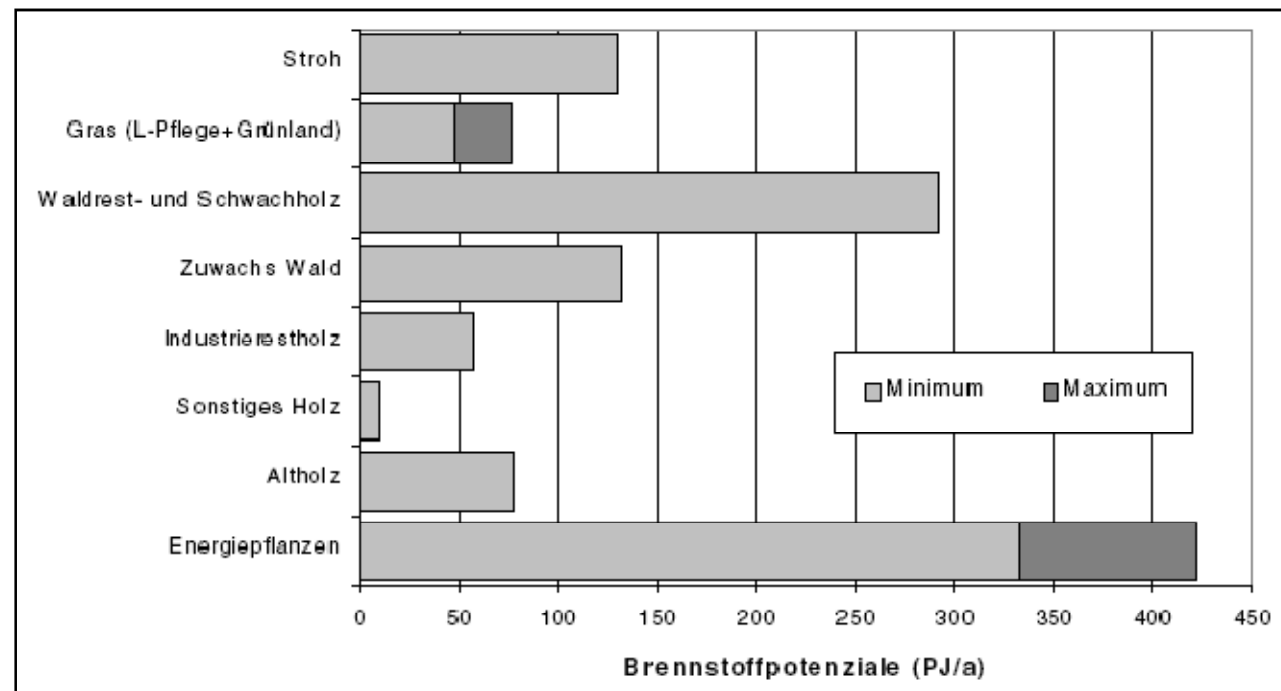


C.A.R.M.E.N.

Motivation: Potenziale

Strohpotenzial

- Technisch gewinnbares **Strohaufkommen** aus Anbaufläche, Kornertrag, mittleres Korn-Stroh-Verhältnis: **46 Mio. tFM/a**
- **1/5 energetisch nutzbar -> 130 PJ/a**



Quelle: Leitfaden Bioenergie





C.A.R.M.E.N.

Motivation: Genutztes Potenzial



	Potenziale	Nutzung	Nutzung/Potenzial	Anteile in %	
	in PJ/a			Potenzial/PEV	Nutzung/PEV
Waldrestholz	169	147-165	54-38	3,0	1,0-1,1
Schwachholz	123				
Zusätzlich nutzbares Waldholz ^a	132				
Industrierestholz	57	51	90	0,4	0,4
Altholz	78	62	80	0,5	0,4
Sonstige holzartige Biomasse	10	1	10	0,1	0,0
Stroh	130	3	2	0,9	0,0
Gras aus Dauergrünland etc.	37-55	0	0	0,3-0,4	0,0
Landschaftspflegematerial	11-22	0	0	0,1-0,2	0,0
Energiepflanzen (Festbrennstoffe)	365	0	0	2,6	0,0
Summe	1.112-1.141	261-279	24-25	7,8-8,0	1,8-2,0

a. momentan (stofflich) ungenutztes Potenzial an Waldholz, das energetisch genutzt werden könnte

Quelle: Leitfaden Bioenergie



C.A.R.M.E.N.

Motivation: Flächenertrag

	Biomasse-Festbrennstoff	Zugrunde- gelegter Massenanfall ^a	Mittlerer Heizwert H _u ^a	Bruttojahres- Brennstoff- ertrag	Heizöl- äquivalent
		in t/(ha a)	in MJ/kg	in GJ/(ha a)	in l/(ha a)
Rückstände	Waldrestholz	1	15,6	15,6	434
	Getreidestroh	6	14,3	86	2.390
	Rapsstroh	4,5	14,2	64	1.771
	Landschaftspflegeheu	4,5	14,4	65	1.803
Energiepflanzen	Ganzpflanzengetreide (z. B. Triticale)	13	14,1	183	5.056
	Futtergräser (z. B. Rohrschwinger)	8	13,6	109	3.016
	Miscanthus (ab dem 3. Jahr)	15	14,6	219	6.081
	Kurzumtriebsplantagen ^b (z. B. Pappeln und Weiden)	12	15,4	184	5.120

a. bei 15 % Wassergehalt

b. Dieser Brennstoff wird meist im feuchteren Zustand (15 bis 55 % Wassergehalt) verwertet.

Quelle: Leitfaden Bioenergie





Wirtschaftliche Aspekte der energetischen Nutzung von Stroh



Gliederung

- Motivation
- **Ernte und Bergung**
- Brennstoffeigenschaften
- Technik
- Kosten
- Wirtschaftlichkeit
- Fazit





Ernte und Bergung: Problemfelder

- Energiedichte gering
- Speicher- und Transporteigenschaften eingeschränkt
- fällt nur einmal jährlich an
- Handhabung schwierig

Lösungsansätze:

- Rund- oder Quaderballen
- Brikettierung oder Pelletierung
- Thermochemische Aufbereitung (z.B. Verflüssigung)



C.A.R.M.E.N.

Ernte und Bergung: Vorteile

- Nutzung schon üblich
- Verfahren ausgereift (Optimierung für energetische Nutzung noch nötig)
- niedriger Wassergehalt
- Lagerstabil
- hoher gewichtsspezifischer Heizwert

Nährstoffentzüge sind zu berücksichtigen!

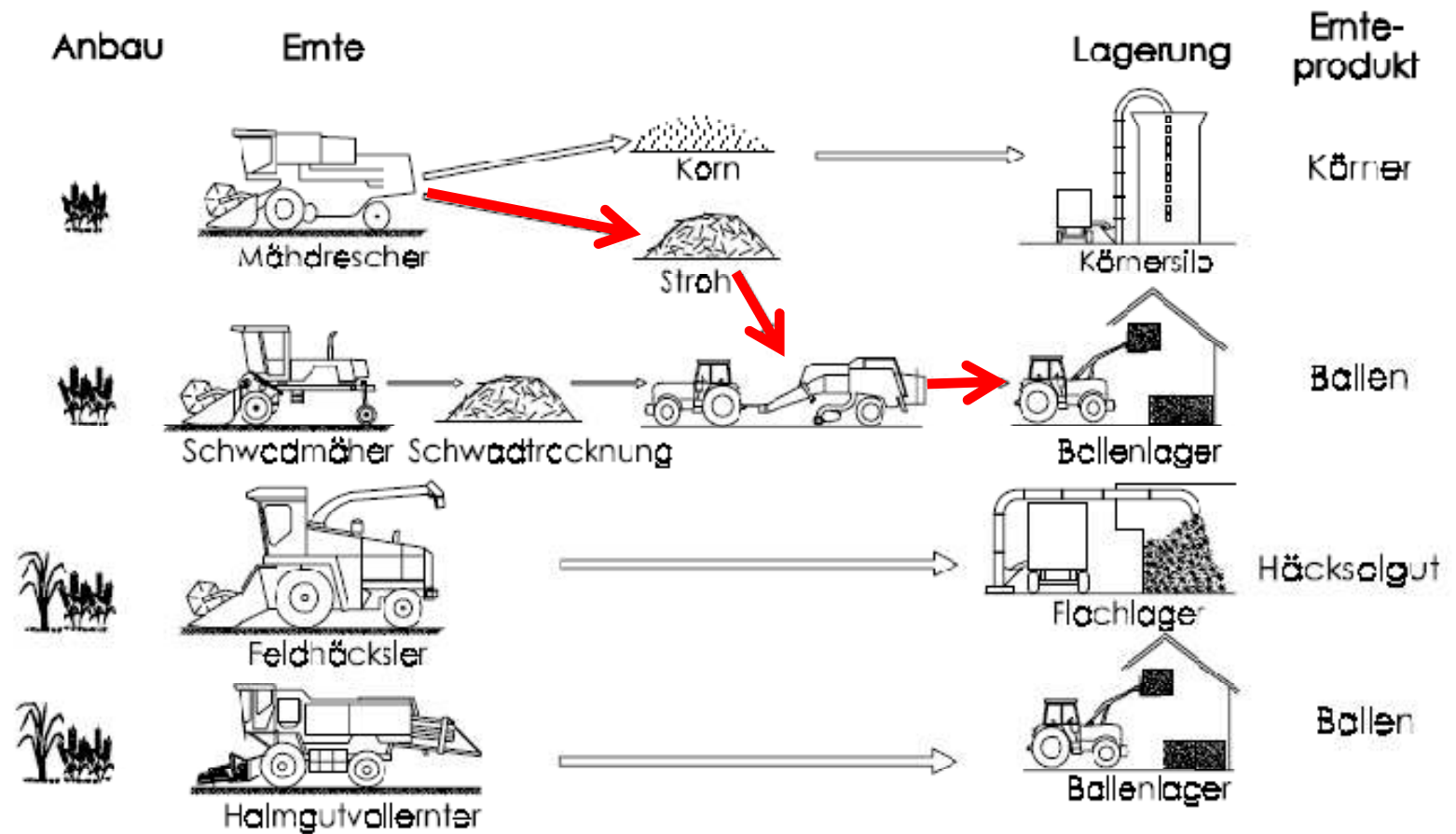
Faustzahl:

Erntbarer Jahresertrag von ca. 6 t/ha (lufttrocken)
entspricht ca. **24 MWh/ha** bzw.
2.400 Litern Heizöläquivalent






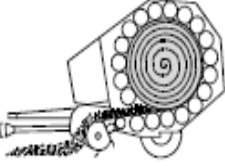
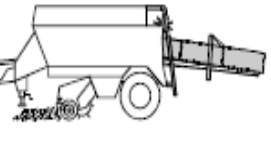

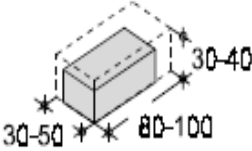
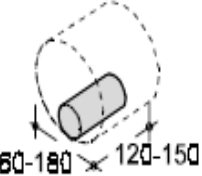
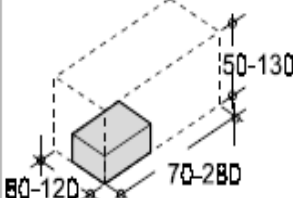
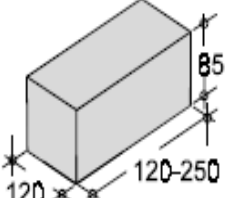
Ernte und Bergung: Verfahren



Quelle: Leitfaden Bioenergie



Ernte und Bergung: Ballenpressen

	gezogene Aufsammelpressen			selbstfahrende Quaderballenpressen
	Kleinballenpressen ("Hochdruckpressen")	Großballenpressen		
		Rundballen	Quaderballen	
Pressenbauart				
Ballenform (Maße in cm)				
Dichte bei Stroh (kg/m ³)	< 130	< 120	< 180	< 180

Quelle: Leitfaden Bioenergie



Ernte und Bergung: Transporteigenschaft

Ballenausrichtung	Rundballentransport			Quaderballentransport		
	quer	quer	längs	quer	quer	quer
Ballenmaße in m Ø x h bzw. b x h x l	1,2 x 1,2	1,5 x 1,2	1,5 x 1,2	0,8 x 0,8 x 2,5	1,2 x 0,7 x 2,5	1,2 x 1,3 x 2,5
Anzahl Ballen je Wagen ^a	14	10	8	24	16	8
Volumenausladung in % (100 % = 35 m ³)	54	61	48	110 ^b	96	89
Ballendichte in kg/m ³ , lufttrocken	Getreidestroh 110 Getreideganzpflanzen 150 überständiges Heu 135			Getreidestroh 150 Getreideganzpflanzen 210 überständiges Heu 180		
Ballengewicht in kg						
Stroh	149	233		240	315	585
Getreideganzpflanzen	206	318		336	441	819
Heu	183	286		288	378	702
Gewichtsausladung in % (100 % = 6 t)						
Stroh	35	38	31	96	84	78
Getreideganzpflanzen	48	53	42	134	118	109
Heu	43	48	38	115	101	94

a. Abmessung der Plattform: Länge = 5 m, Höhe = 1,2 m

b. Ladehöhe > 4,0 m bei landwirtschaftlichen Transportmitteln in Ausnahmen zulässig



Wirtschaftliche Aspekte der energetischen Nutzung von Stroh



Gliederung

- Motivation
- Ernte und Bergung
- **Brennstoffeigenschaften**
- Technik
- Kosten
- Wirtschaftlichkeit
- Fazit





Brennstoffeigenschaften: Chlorgehalt

Brennstoffart	C	H	O	N	S	Cl
	in % der Trockenmasse					
Fichtenholz (mit Rinde)	49,8	6,3	43,2	0,13	0,015	0,005
Buchenholz (mit Rinde)	47,9	6,2	45,2	0,22	0,015	0,006
Pappelholz (Kurzumtrieb)	47,5	6,2	44,1	0,42	0,031	0,004
Weidenholz (Kurzumtrieb)	47,1	6,1	44,3	0,51	0,045	0,001
Rinde (von Nadelholz)	51,4	5,7	38,7	0,45	0,085	0,019
Roggenstroh	46,6	6,0				0,40
Weizenstroh	45,6	5,8				0,19
Triticalestroh	43,9	5,9				0,27
Gerstenstroh	47,5	5,8				0,40
Rapsstroh	47,1	5,9				0,47
Weizen-Ganzpflanzen	45,2	6,4	42,9	1,41	0,12	0,09
Triticale-Ganzpflanzen	44,0	6,0	44,6	1,08	0,18	0,14
Weizenkörner	43,6	6,5	44,9	2,28	0,12	0,04
Triticalekörner	43,5	6,4	46,4	1,68	0,11	0,07
Rapskörner	60,5	7,2	23,8	3,94	0,10	
Miscanthus	47,5	6,2	41,7	0,73	0,15	0,22
Landschaftspflegeheu	45,5	6,1	41,5	1,14	0,16	0,31
Weidelgras	46,1	5,6	38,1	1,34	0,14	1,39
zum Vergleich:						
Steinkohle	72,5	5,6	11,1	1,3	0,94	<0,1
Braunkohle	65,9	4,9	23,0	0,7	0,39	<0,1

**Faktor ~ 100
Vergleich zu Holz**



C.A.R.M.E.N.

Brennstoffeigenschaften: Aschegehalt und -erweichung

Brennstoff / Biomasseart	Heizwert, H_u (wf) MJ/kg	Brennwert, H_o (wf) MJ/kg	Aschegehalt (wf) in %	Erweichungspunkt der Asche in °C
Fichtenholz (mit Rinde)	18,8	20,2	0,6	1.426
Buchenholz (mit Rinde)	18,4	19,7	0,5	k. A.
Pappelholz (Kurzumtrieb)	18,5	19,8	1,8	1.335
Weidenholz (Kurzumtrieb)	18,4	19,7	2,0	1.283
Rinde (Nadelholz)			3,8	1.440
Roggenstroh			4,8	1.002
Weizenstroh			5,7	998
Triticalestroh			5,9	911
Gerstenstroh			1,8	980
Rapsstroh			6,2	1.273
Weizenganzpflanzen	17,1	18,7	4,1	977
Triticaleganzpflanzen	17,0	18,4	4,4	833
Weizenkörner	17,0	18,4	2,7	687
Triticalekörner	16,9	18,2	2,1	730
Rapskörner	26,5	k. A.	4,6	k. A.
Miscanthus	17,6	19,1	3,9	973
Landschaftspflegeheu	17,4	18,9	5,7	1.061
Weidelgras	16,5	18,0	8,8	k. A.
zum Vergleich:				
Steinkohle	29,7	k. A.	8,3	1.250
Braunkohle	20,6	k. A.	5,1	1.050

**~ 10 mal mehr Asche
> 300°C niedrigerer
Erweichungspunkt**

k. A.: keine Angabe

Quelle: Leitfaden Bioenergie





Wirtschaftliche Aspekte der energetischen Nutzung von Stroh



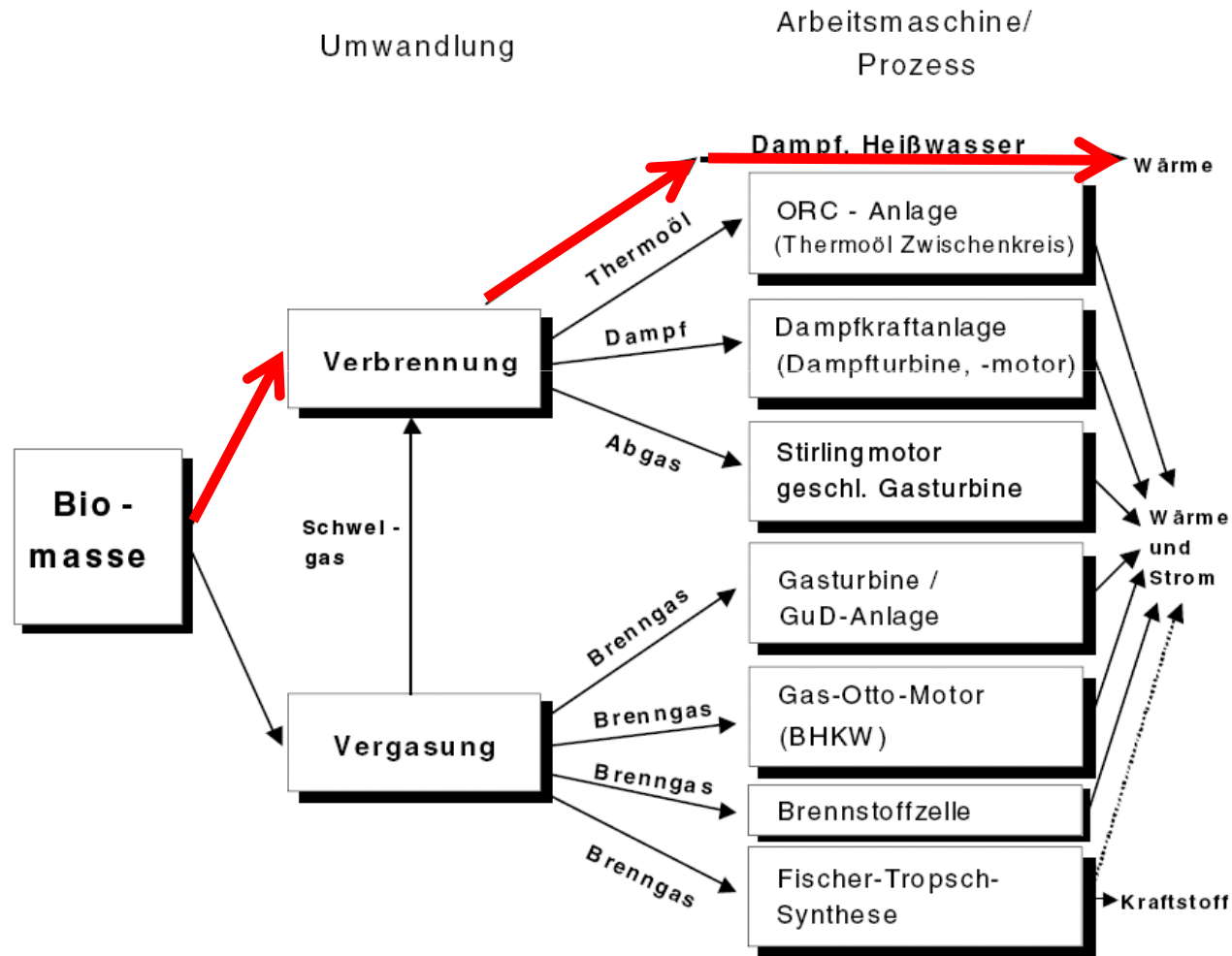
Gliederung

- Motivation
- Ernte und Bergung
- Brennstoffeigenschaften
- **Technik**
- Kosten
- Wirtschaftlichkeit
- Fazit





Technik: Mögliche Umwandlungsschritte



Quelle: Leitfaden Bioenergie



Technik: Lagerung Heizwerk



Quelle:
Leitfaden Bioenergie

- **Brennstoffbedarf für die ganze Saison (Einbeziehung von Zwischenlager)**
- **Hallen ohne besondere Anforderung**
- **Wiegen der Ballen beim Abladen und Bestimmung des Wassergehalts**
- **Quaderballen gestapelt**
- **Umschlagen der Ballen Gabelstapler oder Kran**



C.A.R.M.E.N.

Technik: Lagerung - Platzbedarf



	Einheit	Kurzzeichen	Rechengang	Biomassekessel mit 5 MW Feuerungswärmeleistung		
				Hackschnitzel	Pellets ^a	Stroh (Ballen)
Brennstoffbedarf für 5 Tage	MWh	B	5 MW*24 h*5	600	600	600
Heizwert	MWh/t	H _u		3,8	ca. 5	3,8
Schütt- bzw. Pressdichte	t/m ³	D		0,25	0,65	0,15
Bevorratungsmenge	t	m	B/H _u	160	120	160
	m ³	V	m/d			1.100
Vorrat Strohballen ^b	Anzahl	A	V/3,744 ^c	2 x Platzbedarf Vergleich zu Holz		294
Lager-, Stapelhöhe	m	H				3,9 ^d
Erforderliche Fläche ^e	m ²		V/H			400 ^f

a. Lagerung in Silo

b. für Hesstonballen B x L x H = 1,2 x 2,4 x 1,3 m

c. 3,744 m³ je Ballen

d. Stapelung 3-lagig

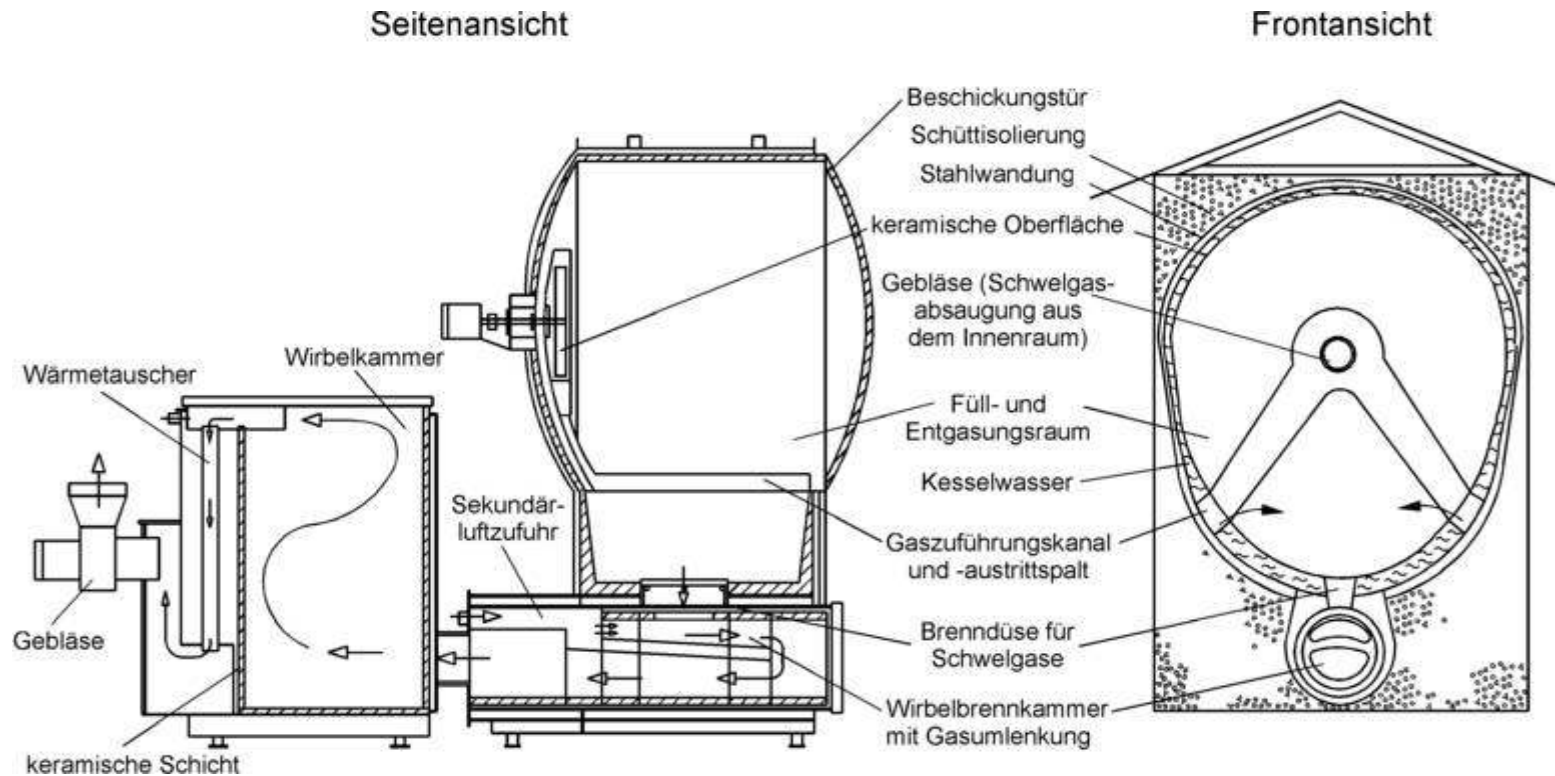
e. ohne Fläche für Beschickungs- und Austragungseinrichtungen

f. davon 300 m² reine Fläche für Ballen zuzüglich etwa 100 m² Platz zwischen den Ballen

Quelle: Leitfaden Bioenergie



Technik: Einzelballen-Verbrennung

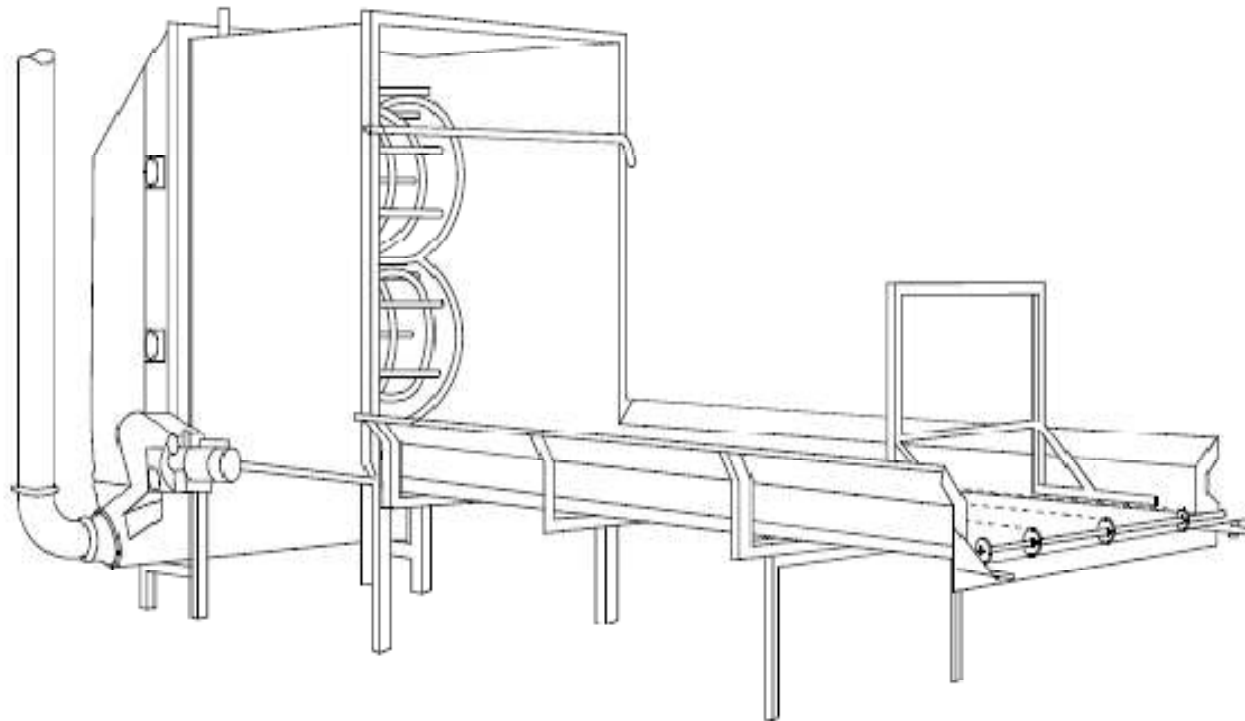


Quelle: Fa. Herlt

- Ganzballenverbrennung mit unterem Abbrand
- Leistung 85 bis 400 kW



Technik: Ballenauflöser

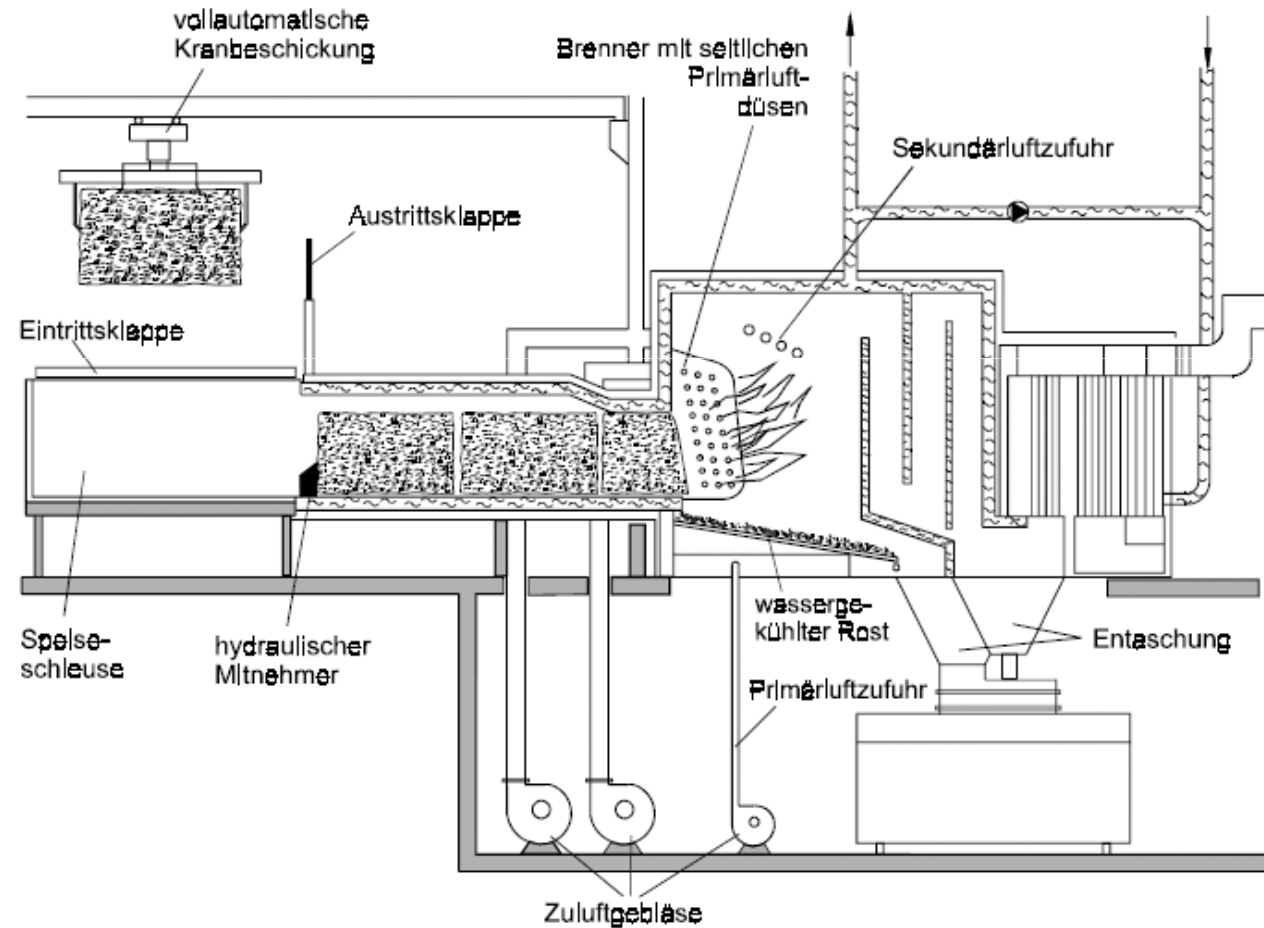


Quelle: Leitfaden Bioenergie

- Ballenauflösung kostenaufwändig (kleinere Anlagen)
- Ballen unzerkleinert (spezielle Feuerungen z. B. Zigarrenbrandverfahren)



Technik: Zigarrenbrandfeuerung





C.A.R.M.E.N.

Technik: Platzbedarf



	Einheit	Wärmeleistung Holzkessel in MW		
		0,3	5	25 ^a
Lagerhalle für 5 Tage	in m ³	40	750	3000
- Grundfläche inkl. Handling	in m ²	35	250	650
Kesselhaus u. Verwaltung/Betrieb ^b	in m ³	100 -150	500 -700	1500 -2000
- Grundfläche ohne Verwaltung/Betrieb	in m ²	40	110	-
- Verwaltungstrakt/Betrieb ^c	in m ²	-	30-50	ca. 100
Außenanlagen ^d	in m ²	100-150	300-500	ca. 2000

- a. Turbosatz
- b. inkl. Spitzenlastkessel
- c. je nach Anforderung
- d. je nach Anforderung

	Einheit	Wärmeleistung Strohkessel in MW
		4
Lagerhalle für 5 Tage	in m ³	3.000
- Grundfläche inkl. Handling	in m ²	500
Kesselhaus u. Verwaltung/ Betrieb ^a	in m ³	900-1.200
- Grundfläche ohne Verwaltung/Betrieb	in m ²	250
- Verwaltungstrakt/Betrieb ^b	in m ²	30-50
Außenanlagen ^c	in m ²	300-500

- a. inkl. Spitzenlastkessel
- b. Je nach Anforderung
- c. Je nach Anforderung

2 x Platzbedarf im Vergleich zu Holz

Quelle: Leitfaden Bioenergie



C.A.R.M.E.N.

Technik: Problemfelder

- Niedrige Ascheerweichungs- und Sinter-temperaturen: Asche "klebrig", beginnt zu fließen.
- Mehr und kleinere Flugaschepartikel und klebrige Asche: Erhebliche Beläge in der Feuerung sowie hohe Staubfracht im Abgas.
- Hoher Chlorgehalt: Dioxingefahr und Chlorkorrosion.

Lösungsansätze

- ✓ Rostkühlung
- ✓ Häufige Reinigung
- ✓ Aufwändige Rauchgasreinigung
- ✓ Einhaltung exakter Feuerraumtemperaturen
- ✓ Spezielle Werkstoffe, Kondensationsvermeidung





Technik: Emissionsrechtliche Vorgaben

Naturbelassenes Holz				
Holz gestrichen, lackiert, beschichtet, Sperrholz, Spanlatten, Faserplatten sowie deren Reste ohne halogenorg. Beschichtungen und Holzschutzmittel ^a		1. BImSchV	TA Luft	13. BImSchV
Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe				
Holz oder Holzwerkstoffe mit halogenorganischen Beschichtungen		17. BImSchV		
Holz oder Holzwerkstoffe mit Holzschutzmittel		17. BImSchV		
Feuerungswärmeleistung (MW)	0,015	0,05	0,1	1
				10
				50
				100
	Einsatz nicht zulässig			
^a unter 1 MW nur zulässig in Betrieben der holzbe- und -verarbeitenden Industrie				

Quelle: Leitfaden Bioenergie



C.A.R.M.E.N.

Technik: Emissionsgrenzwerte



Emissionsgrenzwerte

	Feuerungswärmeleistung	Sauerstoffbezugswert	Staub	CO	NO _x ^a	Ges.-C	HCl	SO ₂	Dioxin/Furane
	MW	%		mg/Nm ³			ng/Nm ³		
Naturbelassenes Holz	1-< 2,5		100						
	2,5-< 5	11	50	150 ^b	250	10	-	-	-
	5-< 50		20						
Holz, gestrichen, lackiert, beschichtet, Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten sowie deren Reste ohne halcgenorganische Beschichtungen und Holzschutzmittel	1-< 2,5		50						
	2,5-< 5		50						
	5-< 50	11	20	150 ^b	400 ^c	10	-	-	-
Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe ^d	0,1-< 1	11	50	250	500	50	30	350	0,1
	1-< 50		20		400				

- a. angegeben als Stickstoffdioxid (NO₂)
- b. bis 2,5 MW Feuerungswärmeleistung gilt der Emissionswert nur bei Betrieb mit Nennlast
- c. für Altanlagen gilt ein Grenzwert von 500
- d. z. B. Getreidepflanzen, Gräser, Miscanthus

Quelle: Leitfaden Bioenergie



Wirtschaftliche Aspekte der energetischen Nutzung von Stroh



Gliederung

- Motivation
- Ernte und Bergung
- Brennstoffeigenschaften
- Technik
- **Kosten**
- Wirtschaftlichkeit
- Fazit





C.A.R.M.E.N.

Kosten: Technik



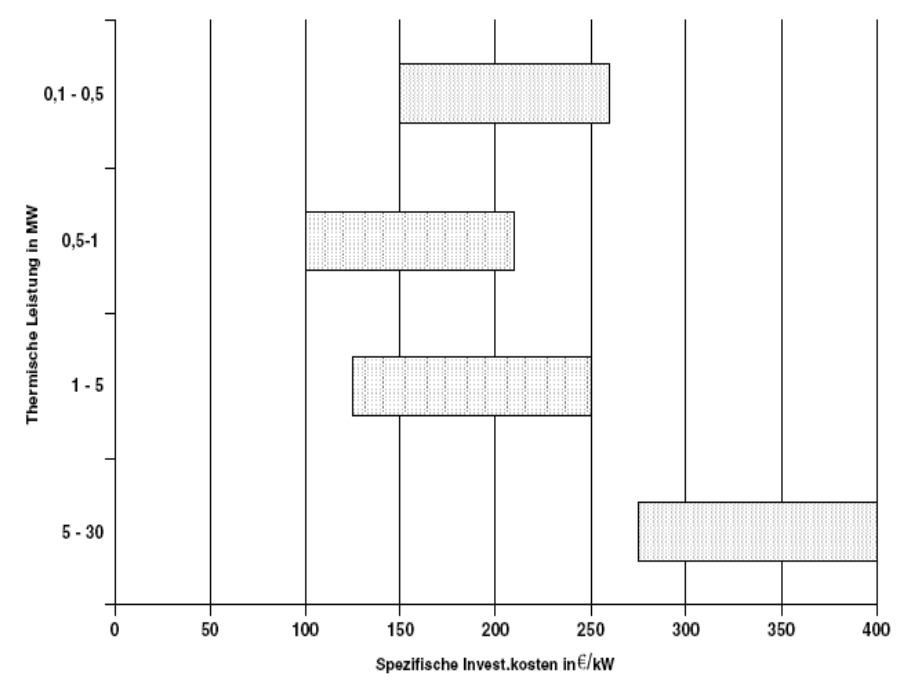
Spezifische Kosten

Unterer Wert

- Holzbrennstoffe
- Höhere Leistung
- Warmwasserkessel

Oberer Wert

- Halmgutbrennstoffe
- Niedrigere Leistung
- Dampfkessel



Quelle: Leitfaden Bioenergie

Kleine und mittlere Stohverbrennungsanlagen kosten 50 – 100 % mehr als vergleichbare Holzverbrennungsanlagen



C.A.R.M.E.N.

Kosten: Bereitstellung von Stroh

- Stroh Nebenprodukt der Getreideproduktion
- daher vergleichsweise günstig
- Pacht-, Gemein-, Anbaukosten fallen Getreide zu

Zu berücksichtigende Kosten:

- Nährstoffwert
- Bergekosten
- Bereitstellungskosten frei Zwischenlager
- Transportkosten zum Heizwerk





Kosten Bereitstellung: Nährstoffwert + Bereitst. Zw-Lager

		Lohn- unter- nehmen	Eigen- mechani- sierung
Düngung (nur Nähr- stoffwert)	€/ha	44	44
Bergekosten			
Pressen	€/ha	147	41
Laden	€/ha	29	29
Transport zum Lager	€/ha	20	20
Entladen	€/ha	15	15
Summe Bergekosten		211	105
Bereitstellungskosten	€/ha	255	149
	€/t FM	43,3	25,3
	€/t TM	50,9	29,7
	€/GJ	3,0	1,8

Wassergehalt 15 %, Heizwert 14,3 GJ/t



Kosten Bereitstellung: Lagerung Zwischenlager

		Folien- abde- ckung	Alt- gebäude	Leicht- bauhalle
Lagerkosten	€/t FM	2,3	6,6	16,1
Lagerverluste	%	8	2	2
Lagerverluste	€/t FM	2,2-3,8	0,5-0,9	0,5-0,9
Lagerungskosten	€/t FM	4,5-6,1	7,1-7,5	16,6-17,0

Lagerverluste variieren je nach eingesetzter Technik für das Pressen



C.A.R.M.E.N.

Kosten Bereitstellung: Transport zum Heizwerk

Transportentfernung km	LKW + Pritschenwagen ^a			Traktor + 2 Anhänger ^b		
	€/t FM	€/t TM	€/GJ	€/t FM	€/t TM	€/GJ
5	7,9	9,3	0,6	7,3	8,6	0,5
10	9,5	11,1	0,7	11,1	13,0	0,8
15	11,1	13,0	0,8	14,9	17,5	1,0
20	12,7	14,9	0,9	18,6	21,9	1,3
25	14,3	16,8	1,0	22,4	26,4	1,6
30	15,9	18,7	1,1	26,2	30,8	1,8
50	22,3	26,2	1,6	41,3	48,6	2,9
70	28,6	33,7	2,0	56,4	66,3	4,0

a. 26 Ballen pro Transporteinheit
b. 16 Ballen pro Transporteinheit
Wassergehalt 15 %, Heizwert 14,3 GJ/t

Quelle: Leitfaden Bioenergie





C.A.R.M.E.N.

Kosten Bereitstellung: Frei Heizwerk (r = 20 km)

	€/t FM	€/t TM	€/GJ
Düngung (nur Nährstoffwert)	7,6-8,1	9,3-8,7	0,57-0,53
Ernte und Bergung	12,9-30,5	14,9-35,1	0,91-2,14
Transport Lager und Einlagerung	6,1	7,0	0,42
Lagerung	2,3-16,1	2,7-18,5	0,16-1,13
Aufladen und Transport zur Feuerungsanlage	12,7-18,6	14,6-21,4	0,89-1,31
Summe Kosten frei Feuerung	42,0-78,9	49,1-91,9	2,95-5,53

Quelle:
Leitfaden Bioenergie

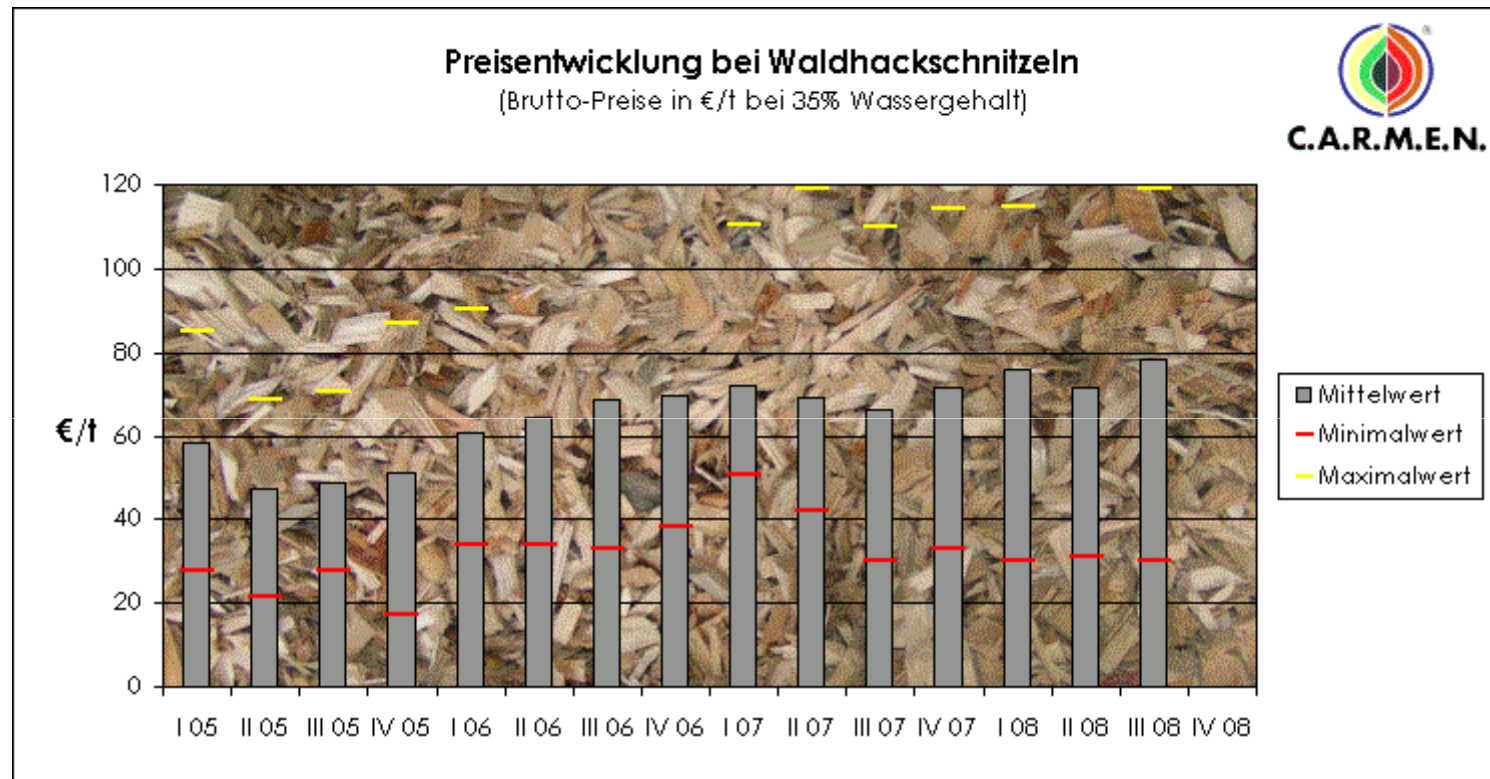
Wassergehalt 15 %, Heizwert 14,3 GJ/t (4,0 kWh/kg)
Transportentfernung zur Feuerungsanlage 20 km; einschließlich
Lagerverlusten

- 70 % der Aufwendungen für Ernte und Transport
- Bereitstellungskosten ca. 40 bis 80 €/t
- Faustzahl Bereitstellungskosten **50 €/t**
- Bei 4 MWh/t: **12,5 €/MWh** oder einem Heizölpreis von 12,5 ct/l





Kosten: Stroh vs. WHG



Quelle: C.A.R.M.E.N. e.V.

- Waldhackgutpreis aktuell 78 €/t
- Bei 3,0 MWh/t: **26,0 €/MWh** oder einem Heizölpreis von 26 ct/l
- Vergleich: Strohpreis **10,0 bis 22,5 €/MWh** (Faustzahl: **12,5 €/t**)
- Stroh ist heizwertbezogen nur **halb so teuer wie WHG**



Wirtschaftliche Aspekte der energetischen Nutzung von Stroh



Gliederung

- Motivation
- Ernte und Bergung
- Brennstoffeigenschaften
- Technik
- Kosten
- **Wirtschaftlichkeit**
- Fazit





Wirtschaftlichkeit: Vergleich Stroh-/WHG-Heizwerk



Basis:

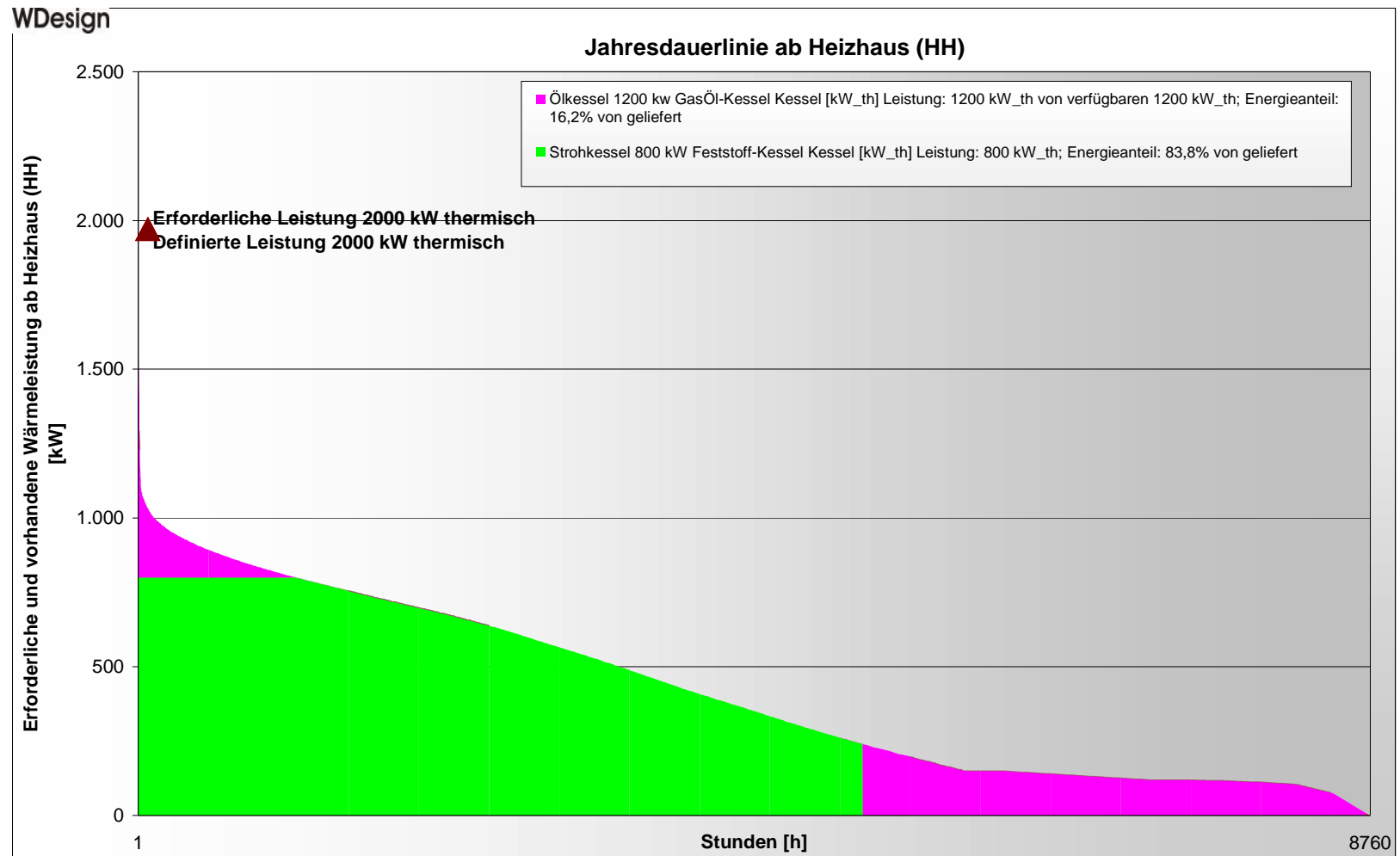
Planungsprogramm W-Design

Annahmen:

- Heizwerk (2.000 kW) mit Biomassegrundlast- (800 kW) und Heizöl-Spitzenlastkessel (1.200 kW)
- 1.800 Vollbetriebsstunden
- Kosten gegenüber Hackschnitzel:
 - Technik Strohheizwerk: +75 %
 - Brennstoffkosten Stroh: 12,50 €/MWh
 - Brennstoffkosten WHG: 26,00 €/MWh



Wirtschaftlichkeit: Jahresdauerlinie



Quelle: WDesign



C.A.R.M.E.N.

Wirtschaftlichkeit: Wärmegestehungskosten Heizöl

WDesign

WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN statisch in Anlehnung an VDI 2067 unter Annahme eines Vollausbauzustandes

KOSTEN	Basis definierte AfA Dauer!	Basis Nutzungsdauer!
Nutzungsdauer	AfA Jahre	Nutzungsdauer Jahre
ANLAGEN u. MASCHINEN	20 Jahre	20 Jahre
NAHWÄRMENETZ	20 Jahre	40 Jahre
GEBÄUDE	20 Jahre	50 Jahre
FAHRZEUGE	12 Jahre	15 Jahre
Zinssatz	6,50 [%]/Jahr	6,50 [%]/Jahr
Abschritt		
ANLAGEN u. MASCHINEN	3,08 [%]/Jahr	3,08 [%]/Jahr
NAHWÄRMENETZ	3,08 [%]/Jahr	7,07 [%]/Jahr
GEBÄUDE	3,08 [%]/Jahr	6,73 [%]/Jahr
FAHRZEUGE	12,26 [%]/Jahr	10,64 [%]/Jahr
ERLÖSE, ANSCHLUSSGEBÜHREN und SONSTIGES	3,08 [%]/Jahr	7,07 [%]/Jahr
Investition abzüglich Förderung		
ANLAGEN u. MASCHINEN	211.376 [EUR]	211.376 [EUR]
NAHWÄRMENETZ	4.000 [EUR]	4.000 [EUR]
GEBÄUDE	231.400 [EUR]	231.400 [EUR]
FAHRZEUGE	0 [EUR]	0 [EUR]
<i>Summe Investitionen</i>	446.776 [EUR]	446.776 [EUR]
Kapitalgebundene Kosten		
ANLAGEN u. MASCHINEN	13.184 [EUR]/Jahr	13.184 [EUR]/Jahr
NAHWÄRMENETZ	363 [EUR]/Jahr	283 [EUR]/Jahr
GEBÄUDE	21.001 [EUR]/Jahr	15.715 [EUR]/Jahr
FAHRZEUGE	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
<i>Summe Kapitalgebundene Kosten</i>	34.548 [EUR]/Jahr	34.182 [EUR]/Jahr
Betriebsgebundene Kosten		
INSTANDHALTUNG	7.313 [EUR]/Jahr	7.313 [EUR]/Jahr
PERSONAL	26.524 [EUR]/Jahr	26.524 [EUR]/Jahr
<i>Summe Betriebsgebundene Kosten</i>	34.444 [EUR]/Jahr	34.444 [EUR]/Jahr
Bedarfsgebundene Kosten		
BRENNSTOFF, EINSATZ- und RESTSTOFFE	341.319 [EUR]/Jahr	341.319 [EUR]/Jahr
ELEKTRISCHER STROM	4.118 [EUR]/Jahr	4.118 [EUR]/Jahr
SONSTIGES	4.876 [EUR]/Jahr	4.876 [EUR]/Jahr
<i>Summe Verbrauchgebundene Kosten</i>	350.312 [EUR]/Jahr	350.312 [EUR]/Jahr
<i>Summe jährlicher Kosten</i>	425.304 [EUR]/Jahr	419.938 [EUR]/Jahr
ERLÖSE		
NAHWÄRME ab Hausübergabestation (HÜS)	283.463 [EUR]/Jahr	283.463 [EUR]/Jahr
ZUSCHLAG für regenerative Nahwärme ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
REGENERATIVER STROM ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
FOSSILER STROM ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
ZUSCHLAG KWK Strom ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
GUTSCHRIFT für CO ₂ -Einsparung gegenüber Vergleichsystem	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
ANSCHLUSSGEBÜHREN und SONSTIGES	23.537 [EUR]/Jahr	18.380 [EUR]/Jahr
Summe Jahr 1 bis 8	260.000 [EUR]	
<i>Summe jährliche Erlöse</i>	313.060 [EUR]/Jahr	307.844 [EUR]/Jahr
<i>WARMEFÖRDERUNGS im Jahr 8 des Betriebs bei Vollausbau!</i>	-112.243 [EUR]/Jahr	-112.034 [EUR]/Jahr
	Basis definierte AfA Dauer!	Basis Nutzungsdauer!
WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN im Jahr 1 bei Vollausbau!	97,14 [EUR/MWh th]	97,11 [EUR/MWh th]
WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN im Jahr 8 bei Vollausbau!	111,53 [EUR/MWh th]	111,53 [EUR/MWh th]

Quelle: WDesign





C.A.R.M.E.N.

Wirtschaftlichkeit: Wärmegestehungskosten WHG

WDesign

WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN statisch in Anlehnung an VDI 2067 unter Annahme eines Vollausbaustandes

KOSTEN	Basis definierte AfA Dauer!	Basis Nutzungsdauer!
Nutzungsdauer	AfA Jahre	Nutzungsdauer Jahre
ANLAGEN u. MASCHINEN	20 Jahre	20 Jahre
NAHWÄRMENETZ	20 Jahre	40 Jahre
GEBÄUDE	20 Jahre	50 Jahre
FAHRZEUGE	12 Jahre	15 Jahre
Zinssatz	6,50 [%]/Jahr	6,50 [%]/Jahr
Annuität		
ANLAGEN u. MASCHINEN	3,08 [%]/Jahr	3,08 [%]/Jahr
NAHWÄRMENETZ	3,08 [%]/Jahr	7,07 [%]/Jahr
GEBÄUDE	3,08 [%]/Jahr	6,73 [%]/Jahr
FAHRZEUGE	12,26 [%]/Jahr	10,64 [%]/Jahr
ERLÖSE ANSCHLUSSGEBÜHREN und SONSTIGES	3,08 [%]/Jahr	7,07 [%]/Jahr
Investition abzüglich Förderung		
ANLAGEN u. MASCHINEN	248.239 [EUR]	248.239 [EUR]
NAHWÄRMENETZ	4.000 [EUR]	4.000 [EUR]
GEBÄUDE	313.451 [EUR]	313.451 [EUR]
FAHRZEUGE	0 [EUR]	0 [EUR]
Summe Investition	665.690 [EUR]	665.690 [EUR]
Kapitalgebundene Kosten		
ANLAGEN u. MASCHINEN	31.605 [EUR]/Jahr	31.605 [EUR]/Jahr
NAHWÄRMENETZ	363 [EUR]/Jahr	283 [EUR]/Jahr
GEBÄUDE	28.448 [EUR]/Jahr	21.288 [EUR]/Jahr
FAHRZEUGE	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
Summe Kapitalgebundener Kosten	60.416 [EUR]/Jahr	53.175 [EUR]/Jahr
Betriebsgebundene Kosten		
INSTANDHALTUNG	12.538 [EUR]/Jahr	12.538 [EUR]/Jahr
PERSONAL	32.545 [EUR]/Jahr	32.545 [EUR]/Jahr
Summe Betriebsgebundener Kosten	45.082 [EUR]/Jahr	45.082 [EUR]/Jahr
Bedarfsgebundene Kosten		
BRENNSTOFF, EINSATZ- und RESTSTOFFE	151.710 [EUR]/Jahr	151.710 [EUR]/Jahr
ELEKTRISCHER STROM	4.094 [EUR]/Jahr	4.094 [EUR]/Jahr
SONSTIGES	4.513 [EUR]/Jahr	4.513 [EUR]/Jahr
Summe Verbrauchergebundener Kosten	160.316 [EUR]/Jahr	160.316 [EUR]/Jahr
Summe jährlicher Kosten	265.814 [EUR]/Jahr	258.574 [EUR]/Jahr
ERLÖSE		
NAHWÄRME ab Hausübergabestation (HÜS)	283.463 [EUR]/Jahr	283.463 [EUR]/Jahr
ZUSCHLAG für regenerative Nahwärme ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
REGENERATIVER STROM ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
FOSSILER STROM ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
ZUSCHLAG KWK Strom ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
GUTSCHRIFT für CO ₂ -Einsparung gegenüber Vergleichssystem	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
ANSCHLUSSGEBÜHREN und SONSTIGES	23.597 [EUR]/Jahr	18.380 [EUR]/Jahr
Summe Jahr 1 bis 8	260.000 [EUR]	
Summe jährliche Erlöse	313.060 [EUR]/Jahr	307.844 [EUR]/Jahr
JAHRESERGEBNIS im Jahr 8 des Betriebs bei Vollausbau!	47.246 [EUR]/Jahr	49.270 [EUR]/Jahr
	Basis definierte AfA Dauer!	Basis Nutzungsdauer!
WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN im Jahr 1 bei Vollausbau!	58,5 [EUR/MWh th]	58,09 [EUR/MWh th]
WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN im Jahr 8 bei Vollausbau!	67,28 [EUR/MWh th]	66,72 [EUR/MWh th]

Quelle: WDesign





C.A.R.M.E.N.

Wirtschaftlichkeit: Wärmegestehungskosten Stroh

WDesign

WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN statisch in Anlehnung an VDI 2067 unter Annahme eines Vollausbauzustandes

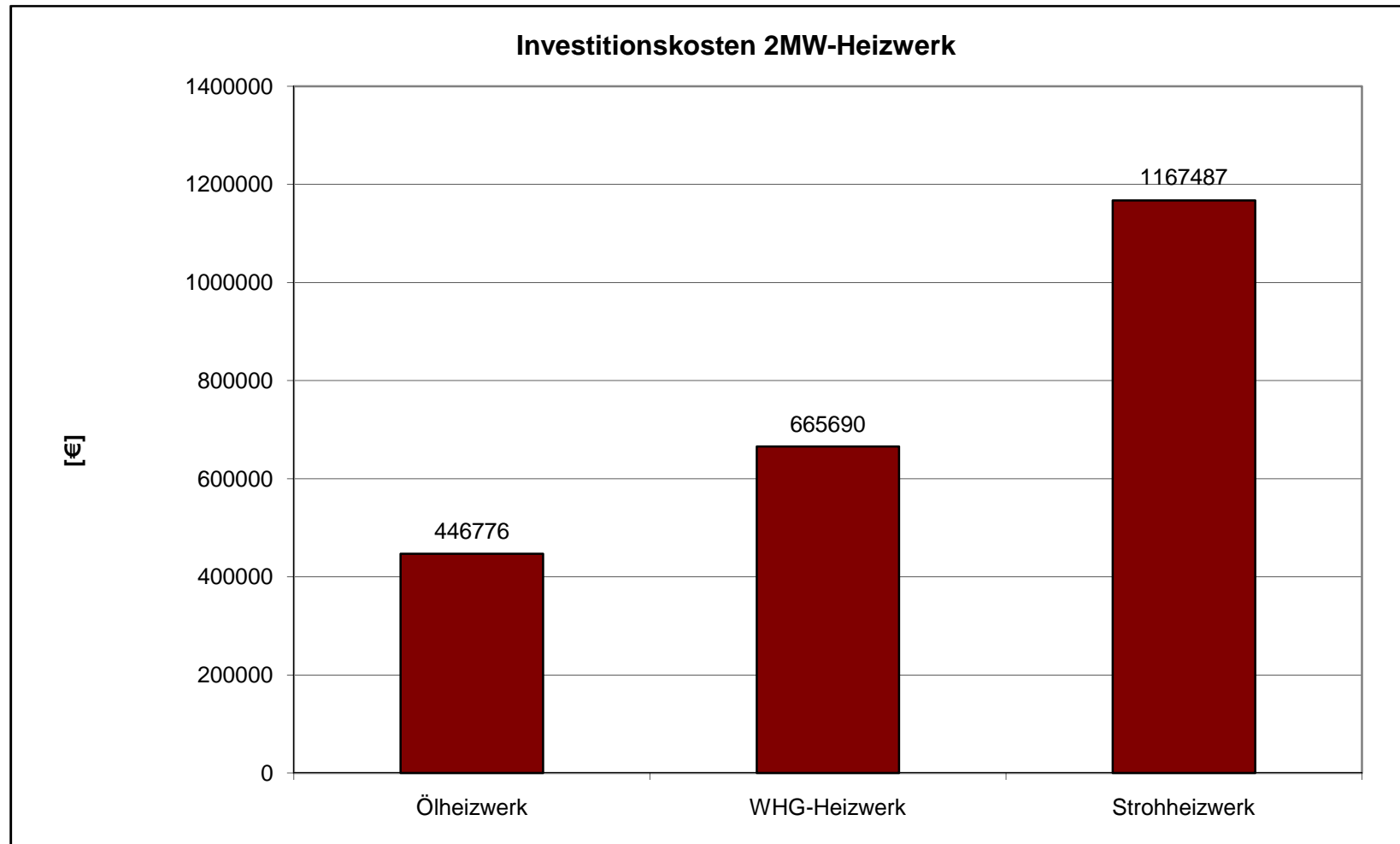
KOSTEN	Basis definierte AfA Dauer!	Basis Nutzungsdauer!
Nutzungsdauer	AfA Jahre	Nutzungsdauer Jahre
ANLAGEN u. MASCHINEN	20 Jahre	20 Jahre
NAHWÄRMENETZ	20 Jahre	40 Jahre
GEBÄUDE	20 Jahre	50 Jahre
FAHRZEUGE	12 Jahre	15 Jahre
Zinssatz	6,50 [%]/Jahr	6,50 [%]/Jahr
Annuität		
ANLAGEN u. MASCHINEN	3,08 [%]/Jahr	3,08 [%]/Jahr
NAHWÄRMENETZ	3,08 [%]/Jahr	7,07 [%]/Jahr
GEBÄUDE	3,08 [%]/Jahr	6,79 [%]/Jahr
FAHRZEUGE	12,26 [%]/Jahr	10,64 [%]/Jahr
ERLÖSE ANSCHLUSSGEBÜHREN und SONSTIGES	3,08 [%]/Jahr	7,07 [%]/Jahr
Investition abzüglich Förderung		
ANLAGEN u. MASCHINEN	611.228 [EUR]	611.228 [EUR]
NAHWÄRMENETZ	7.000 [EUR]	7.000 [EUR]
GEBÄUDE	608.861 [EUR]	608.861 [EUR]
FAHRZEUGE	0 [EUR]	0 [EUR]
<i>Summe Investition</i>	1.227.088 [EUR]	1.227.088 [EUR]
Kapitalgebundene Kosten		
ANLAGEN u. MASCHINEN	55.473 [EUR]/Jahr	55.473 [EUR]/Jahr
NAHWÄRMENETZ	635 [EUR]/Jahr	435 [EUR]/Jahr
GEBÄUDE	55.258 [EUR]/Jahr	41.350 [EUR]/Jahr
FAHRZEUGE	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
<i>Summe Kapitalgebundenen Kosten</i>	111.366 [EUR]/Jahr	97.318 [EUR]/Jahr
Betriebsgebundene Kosten		
INSTANDHALTUNG	22.634 [EUR]/Jahr	22.634 [EUR]/Jahr
PERSONAL	32.389 [EUR]/Jahr	32.389 [EUR]/Jahr
<i>Summe Betriebsgebundenen Kosten</i>	55.023 [EUR]/Jahr	55.023 [EUR]/Jahr
Bedarfsgebundene Kosten		
BRENNSTOFF, EINSATZ- und RESTSTOFFE	110.030 [EUR]/Jahr	110.030 [EUR]/Jahr
ELEKTRISCHER STROM	4.084 [EUR]/Jahr	4.084 [EUR]/Jahr
SONSTIGES	4.432 [EUR]/Jahr	4.432 [EUR]/Jahr
<i>Summe Verbrauchsgebundenen Kosten</i>	118.666 [EUR]/Jahr	118.666 [EUR]/Jahr
<i>Summe jährlicher Kosten</i>	285.055 [EUR]/Jahr	271.007 [EUR]/Jahr
ERLÖSE		
NAHWÄRME ab Hausübergabestation (HÜS)	289.463 [EUR]/Jahr	289.463 [EUR]/Jahr
ZUSCHLAG für regenerative Nahwärme ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
REGENERATIVER STROM ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
FOSSILER STROM ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
ZUSCHLAG KWK Strom ab Heizhaus (HH)	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
GUTSCHRIFT für CO ₂ -Einsparung gegenüber Vergleichssystem	0 [EUR]/Jahr	0 [EUR]/Jahr
ANSCHLUSSGEBÜHREN und SONSTIGES	23.597 [EUR]/Jahr	18.360 [EUR]/Jahr
Summe Jahr 1 bis 8	260.000 [EUR]	
<i>Summe jährliche Erlöse</i>	313.060 [EUR]/Jahr	307.844 [EUR]/Jahr
<i>JAHRESERGEBNIS im Jahr 8 des Betriebs bei Vollausbau!</i>	28.005 [EUR]/Jahr	36.837 [EUR]/Jahr
	Basis definierte AfA Dauer!	Basis Nutzungsdauer!
WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN im Jahr 1 bei Vollausbau!	63,23 [EUR/MWh th]	61,05 [EUR/MWh th]
WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN im Jahr 8 bei Vollausbau!	72,63 [EUR/MWh th]	70,18 [EUR/MWh th]

Quelle: WDesign





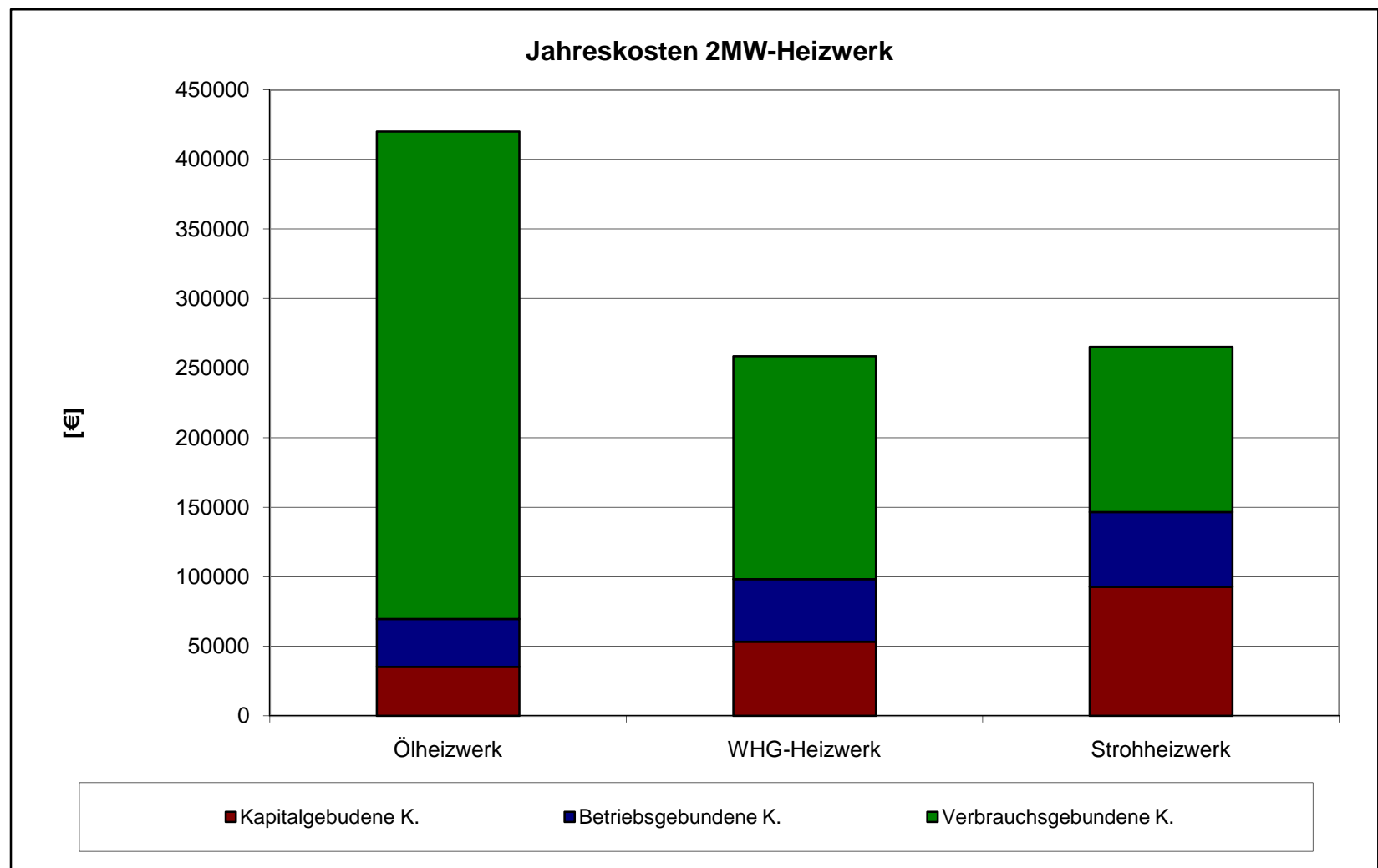
Wirtschaftlichkeit: Investitionskosten



Quelle: WDesign



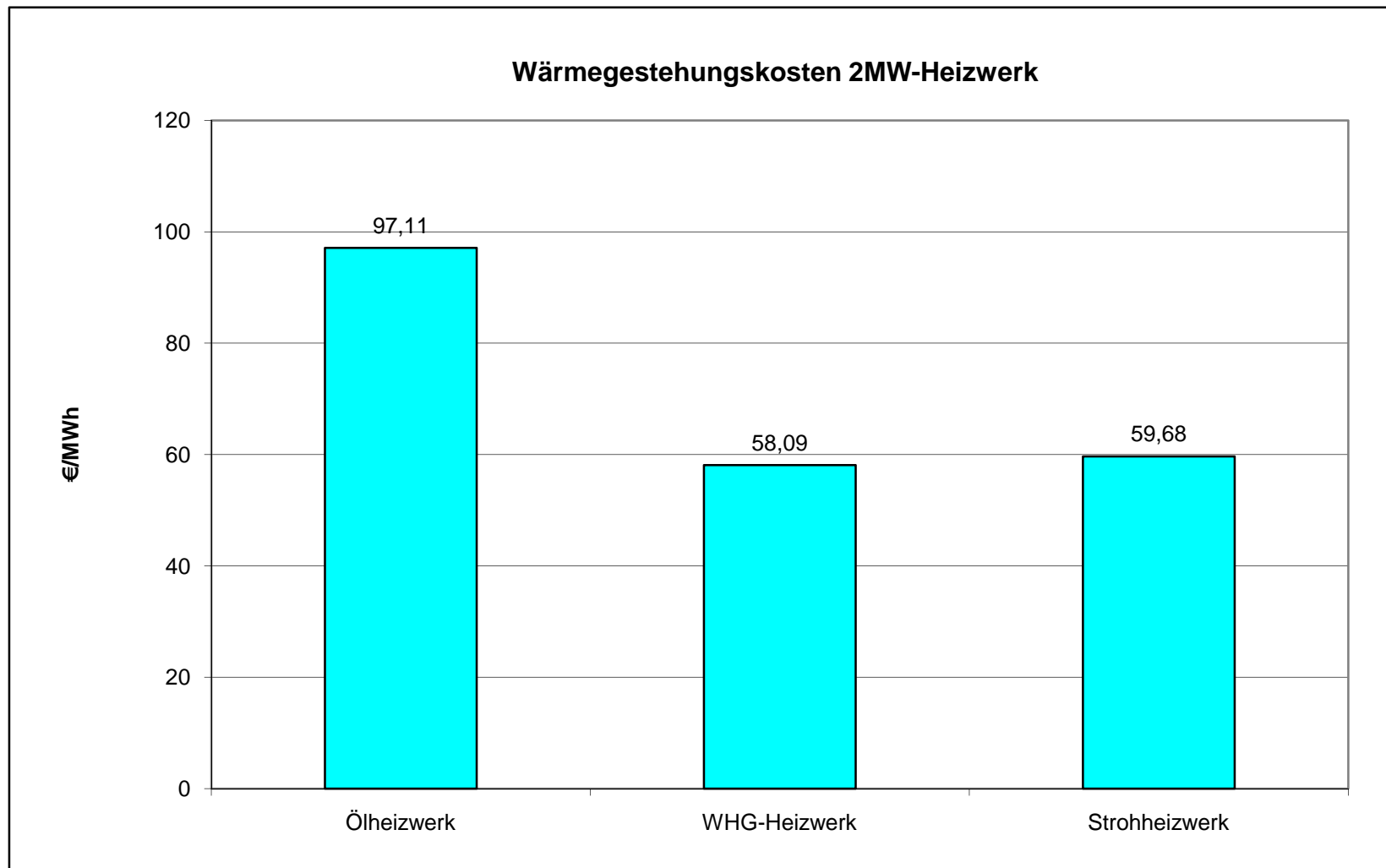
Wirtschaftlichkeit: Jährliche Kosten



Quelle: WDesign



Wirtschaftlichkeit: Wärmegestehungskosten



Quelle: WDesign

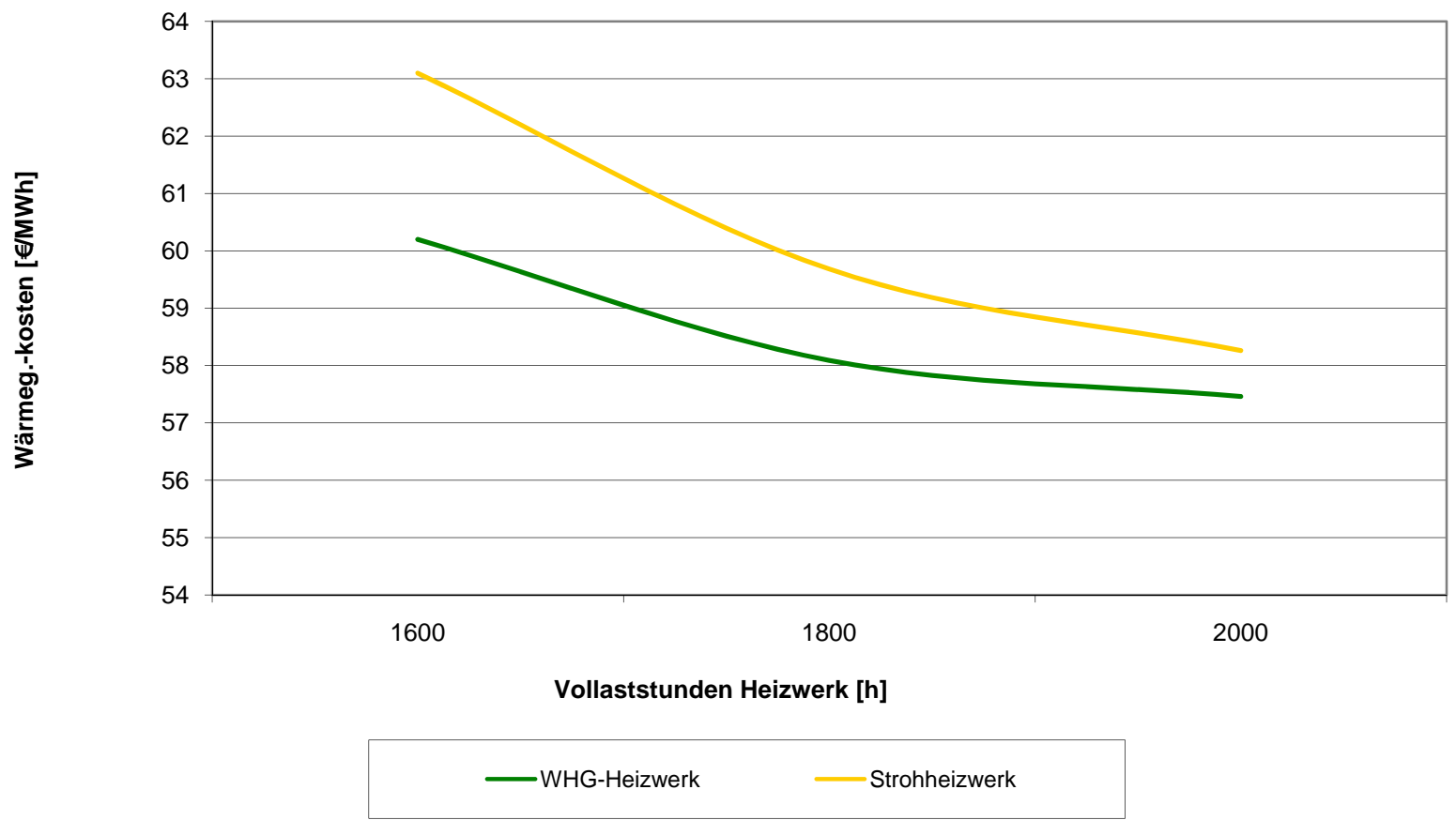


C.A.R.M.E.N.

Wirtschaftlichkeit: Abhängigkeit von der Auslastung



Wärmegestehungskosten variiert
über die Auslastung



Quelle: WDesign



Wirtschaftliche Aspekte der energetischen Nutzung von Stroh



Gliederung

- Motivation
- Ernte und Bergung
- Brennstoffeigenschaften
- Technik
- Kosten
- Wirtschaftlichkeit
- **Fazit**





C.A.R.M.E.N.

Fazit

- Strohaufkommen bietet **erhebliches Potenzial**, das bisher **fast ungenutzt** ist
- **Technik** muss dem Brennstoff **angepasst** sein und ist entsprechend aufwändig
- Im Vergleich zu Waldhackschnitzel:
 - anspruchsvollerer Brennstoff
 - höhere Emissionsanforderungen
 - teurere Technik (1,5 bis 2-fach)
 - günstigere Brennstoffkosten (ca. 50 %)
 - Optimierungspotenzial bei Brennstoff-Bereitstellung
- **Wirtschaftlichkeit** gegenüber fossilen Energieträgern **darstellbar**
- Für Wirtschaftlichkeit ist die **Auslastung wichtig** (Standort)





Danke!
Fragen?

