

Thermische Nutzung von Biomasse

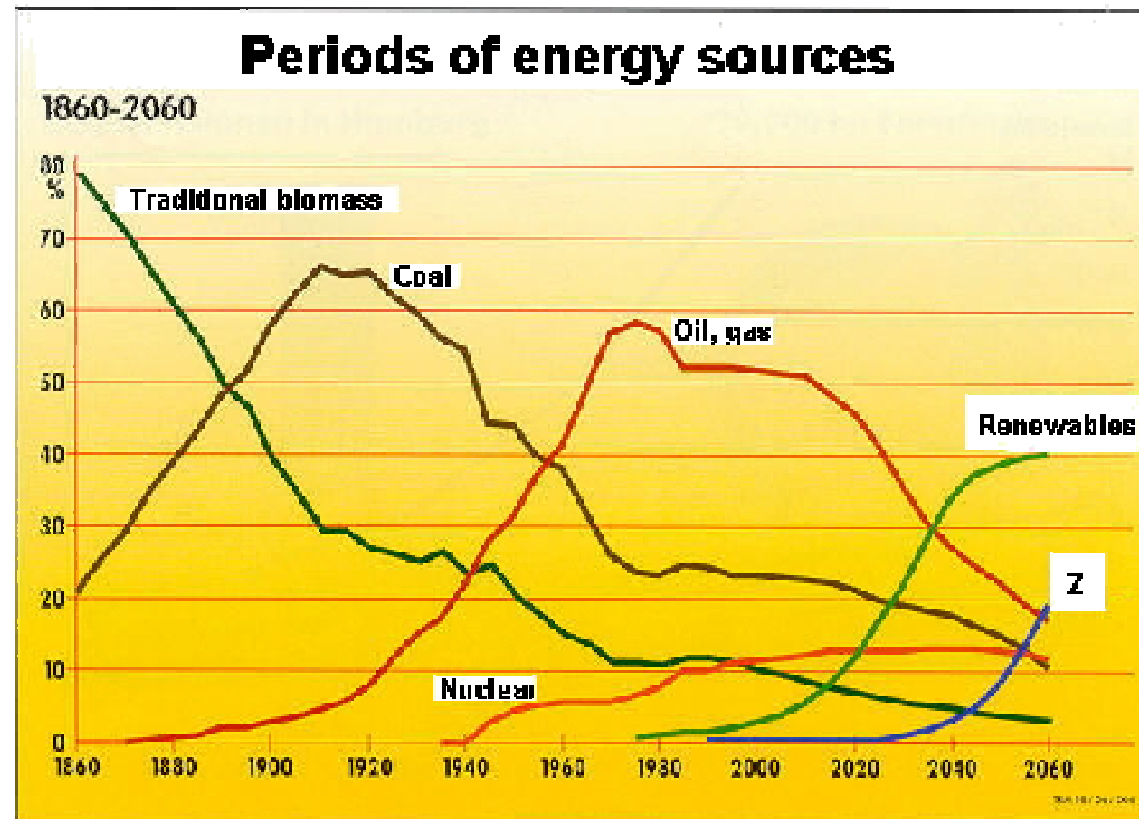
Prof. Dr. Hartmut Splethoff
Lehrstuhl für Energiesysteme, TUM
ZAE Bayern

Übersicht

- Entwicklungen zur Energieumwandlung
- Biomasse
 - Einteilung
 - Biomassepotentiale und -nutzung
 - CO₂-Bilanz von Biomasse
- Biomassenutzung
 - Übersicht
 - Thermische Verfahren (Strom- und Wärmeerzeugung)
 - Kraftstofferzeugung
 - Biogas

1. Entwicklungen zur Energieumwandlung

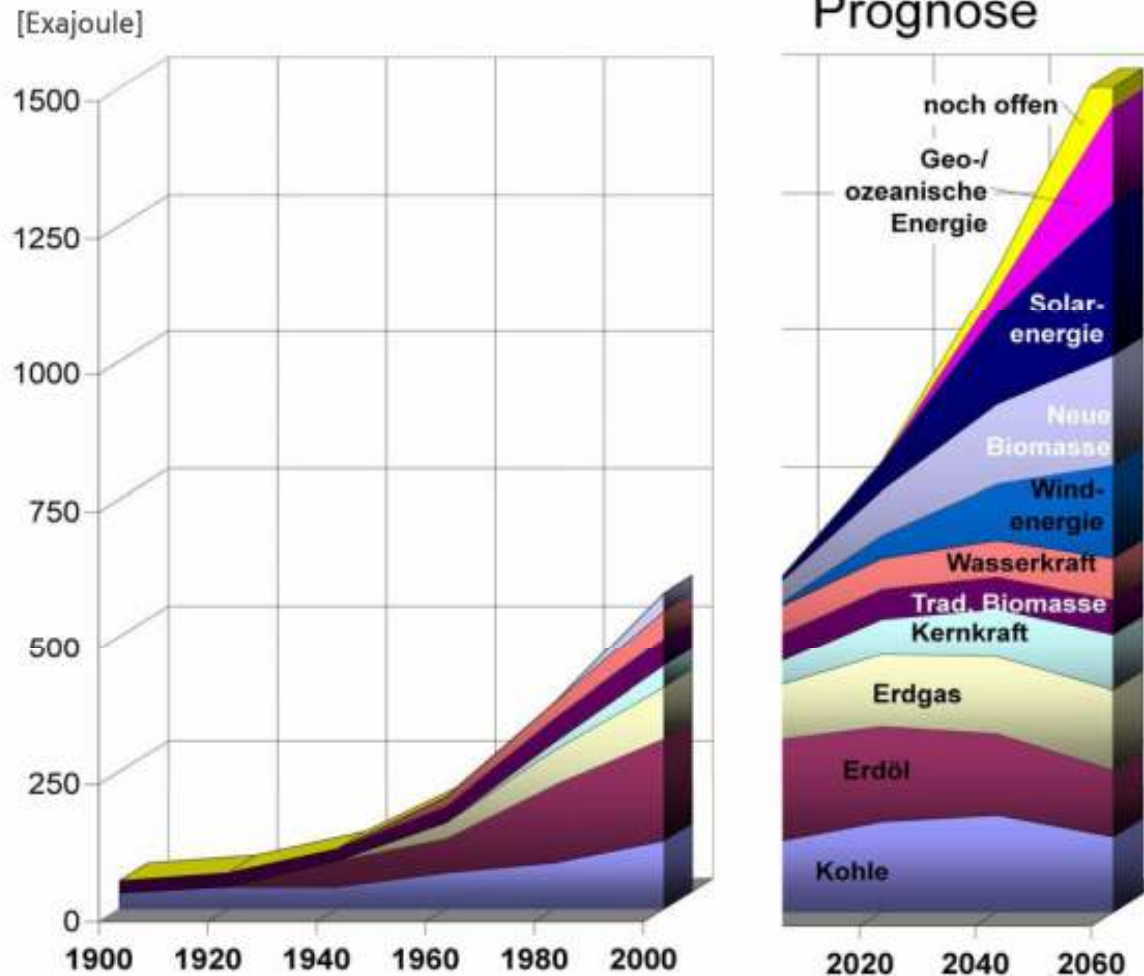
Primärenergieträger - Zeitalter



Ende der fossilen Energieträger ?

1. Entwicklungen zur Energieumwandlung

Primärenergieträger in der Welt

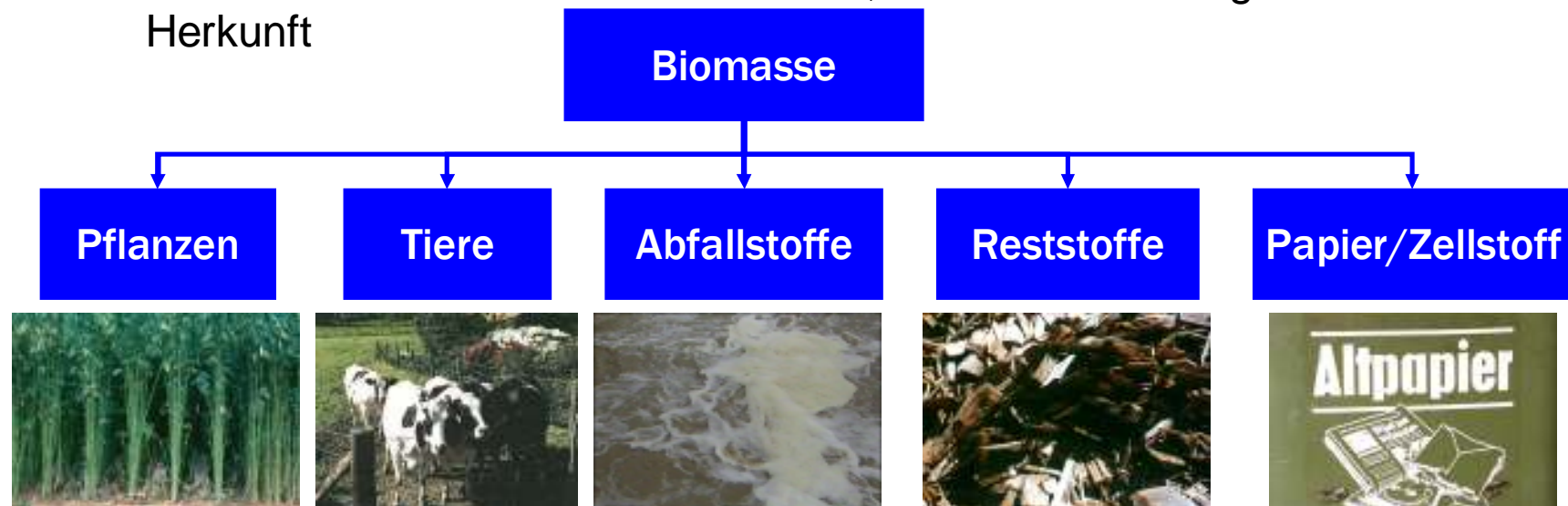


2. Biomasse

Energetische Nutzung von Biomasse

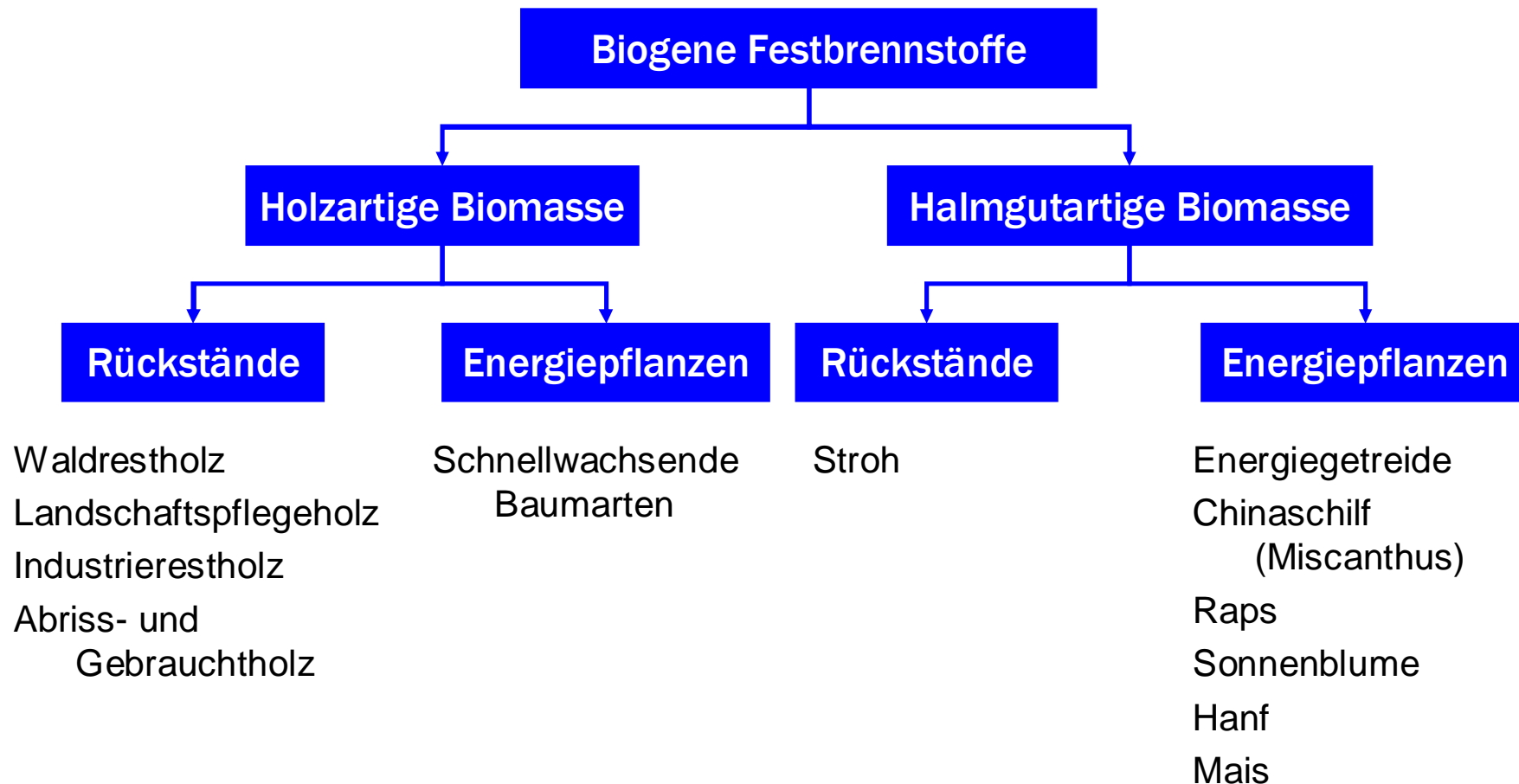
Definition:

- Biomasse wird durch Photosynthese gebildet. Primärreaktion ist dabei die Umwandlung von Kohlendioxid und Wasser in Kohlenhydrate und Sauerstoff
- Unter Biomasse wird die Gesamtmasse der in einem Lebensraum vorhandenen Lebewesen verstanden, also alle Stoffe organischer Herkunft



2. Biomasse

Biogene Festbrennstoffe



2. Biomasse

Nutzung der Sonnenergie

Energetischer Vergleich zwischen Solarthermie und Biomasse

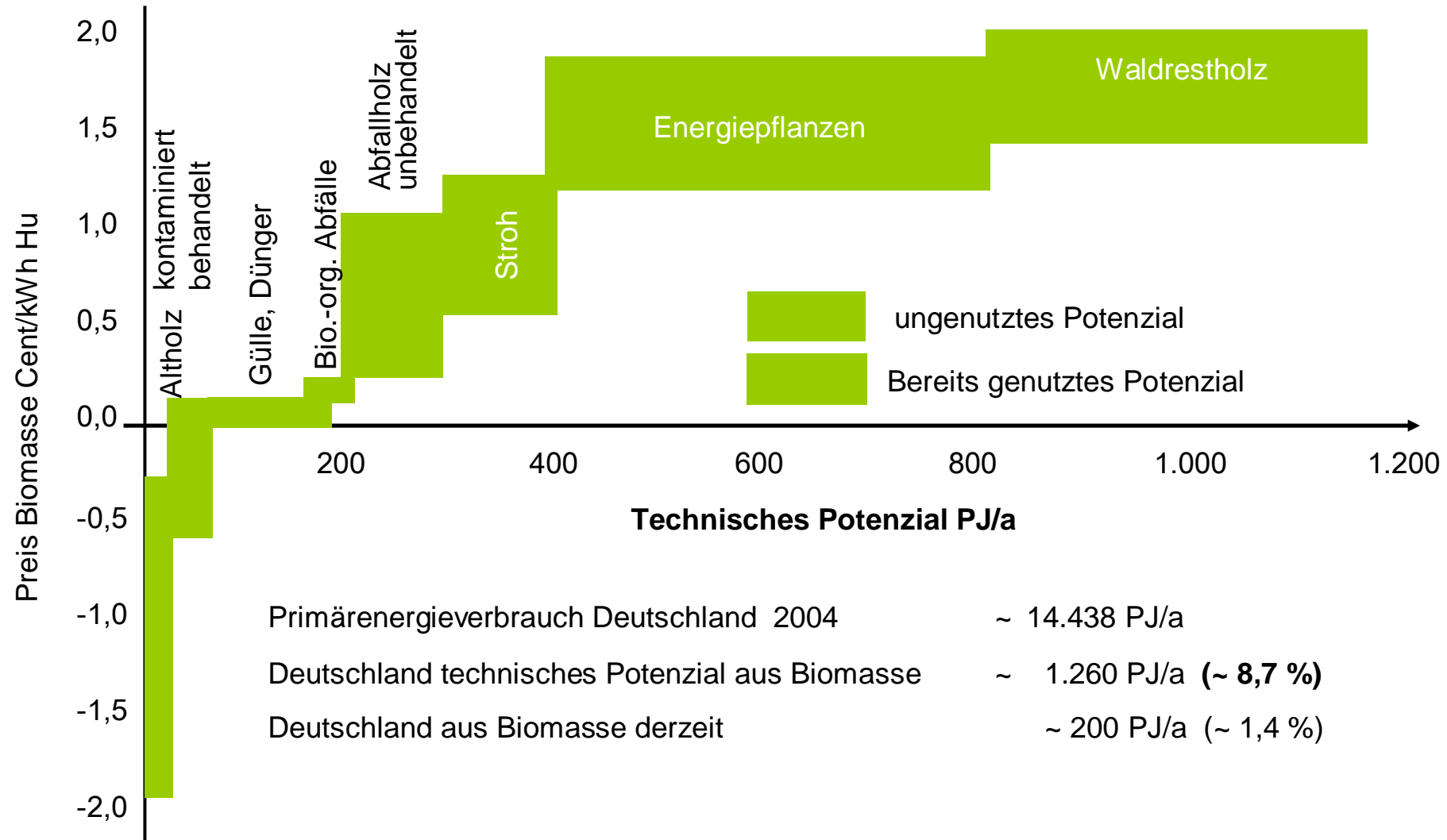
Solarthermie:
$$1000 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} = 0,8 \cdot 1000 \cdot 3600 \frac{kJ}{m^2 \cdot a} = 2900 \frac{MJ}{m^2 \cdot a}$$

Biomasse
$$10 \frac{t}{ha \cdot a}$$

$$10000 \frac{kg}{ha \cdot a} \cdot 14,4 \frac{MJ}{kg} = 144000 \frac{MJ}{ha \cdot a} \cdot \frac{1 ha}{10000 m^2} = 14,4 \frac{MJ}{m^2 \cdot a}$$

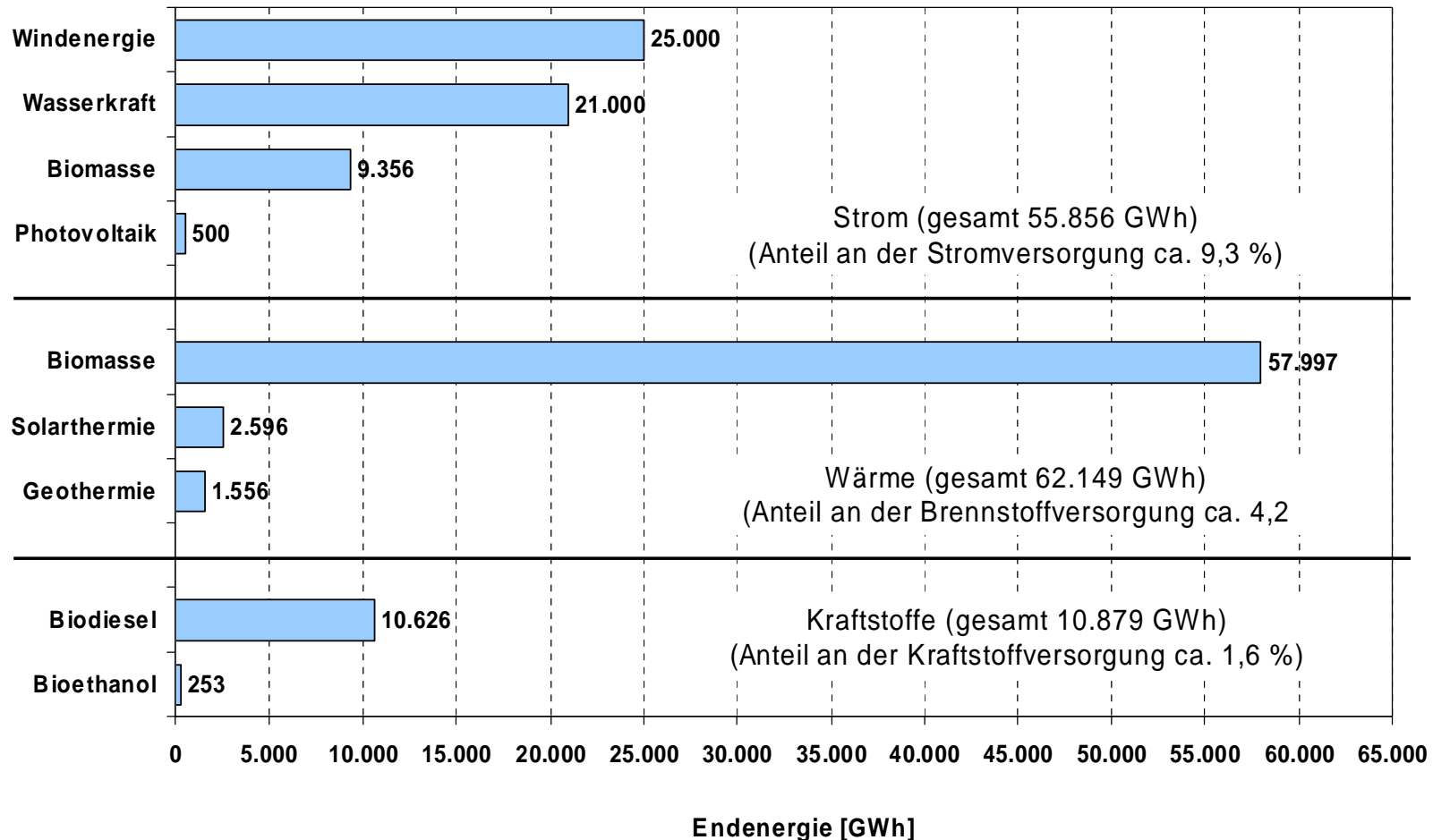
2. Biomasse

Kosten-Potenzial Bioenergie Deutschland



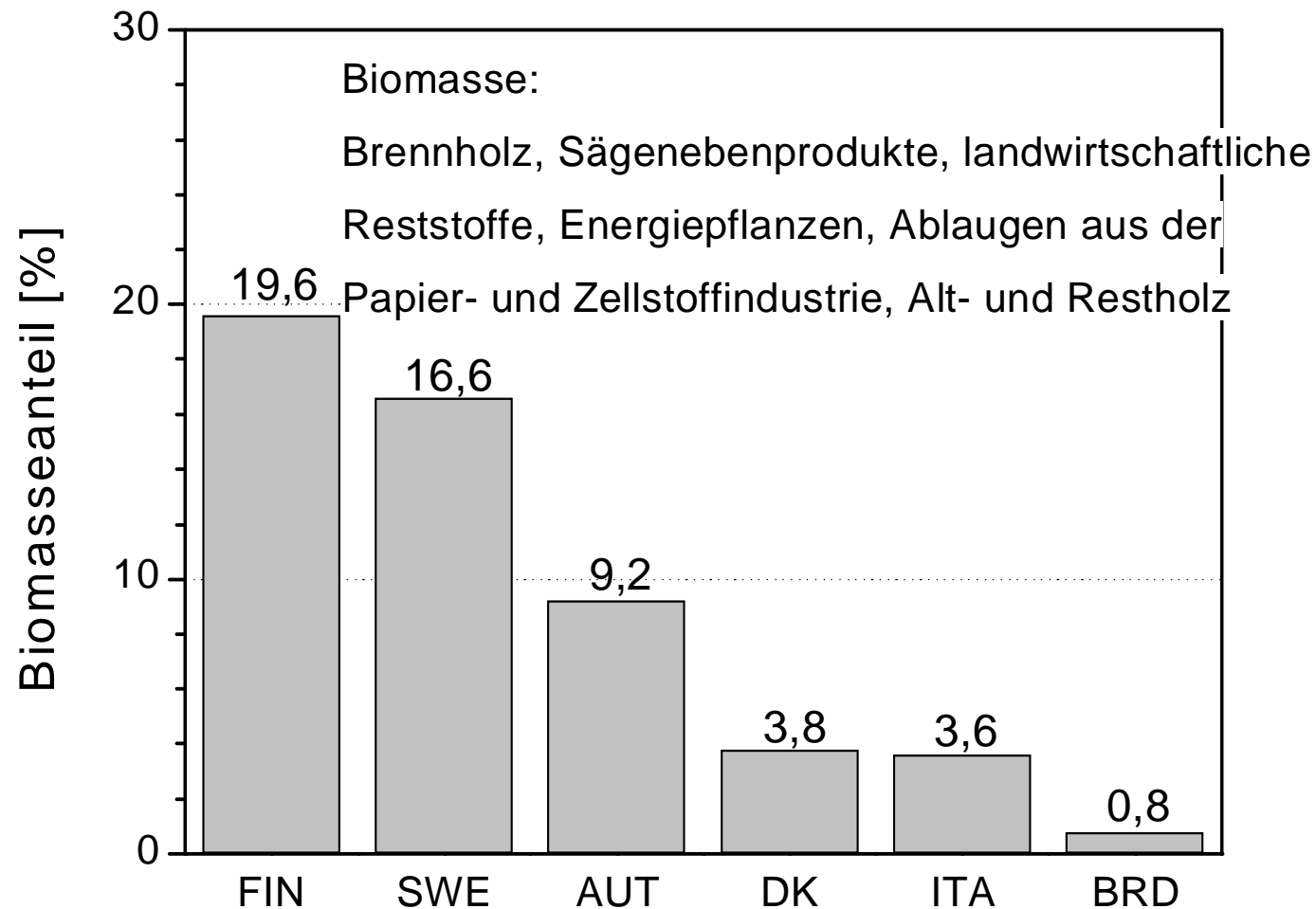
2. Biomasse

Erneuerbare Energien – Deutschland 2004



2. Biomasse

Anteil der Biomasse am Primärenergieeinsatz europäischer Länder



2. Biomasse

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) (Biomasse)

Leistungsabhängig

bis 150 kW	11,5 ct/kWh
bis 500 kWh	9,9 ct/ kWh
bis 5 MW	8,9 ct/ kWh
bis 20 MW	8,4 ct/ kWh

KWK-Zuschlag 2 ct/ kWh

Innovationsbonus 2 ct/ kWh

NaWaRo-Bonus

bis 500 kW	6 ct/kWh
bis 5 MW (Holz/and.)	2,5/ 4 ct/kWh

(BZ, GT, DT, ORC, Kalina-Cycle-Anlagen, oder Stirling-Motoren)

2. Biomasse

EU Ziele zum Einsatz erneuerbarer Energien (EE) in verschiedenen Sektoren

Anteil am Energieverbrauch insgesamt

- 12 % EE bis 2010 – aktuell 6%

Elektrizität (ca. 45 % des EU Energieverbrauchs)

- 21 % EE bis 2010 – aktuell ca. 14 %

Heizung (ca. 30 % des EU Energieverbrauchs)

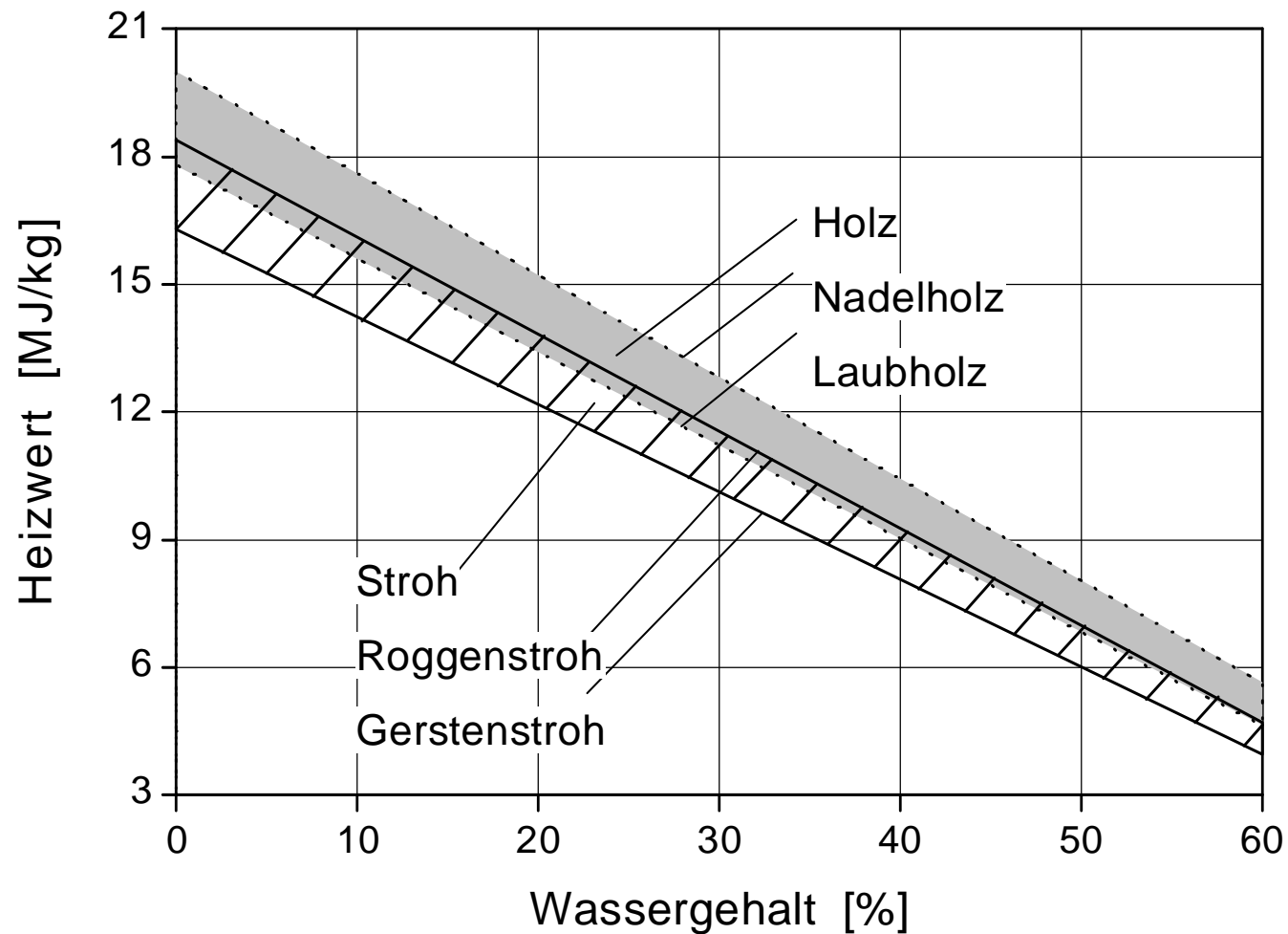
- Kein spezifisches Ziel festgelegt

Biotreibstoffe (ca. 25 % des EU Energieverbrauchs)

- 5,75 % EE bis 2010 - aktuell 1,4 %

2. Biomasse

Heizwerte in Abhängigkeit des Wassergehaltes



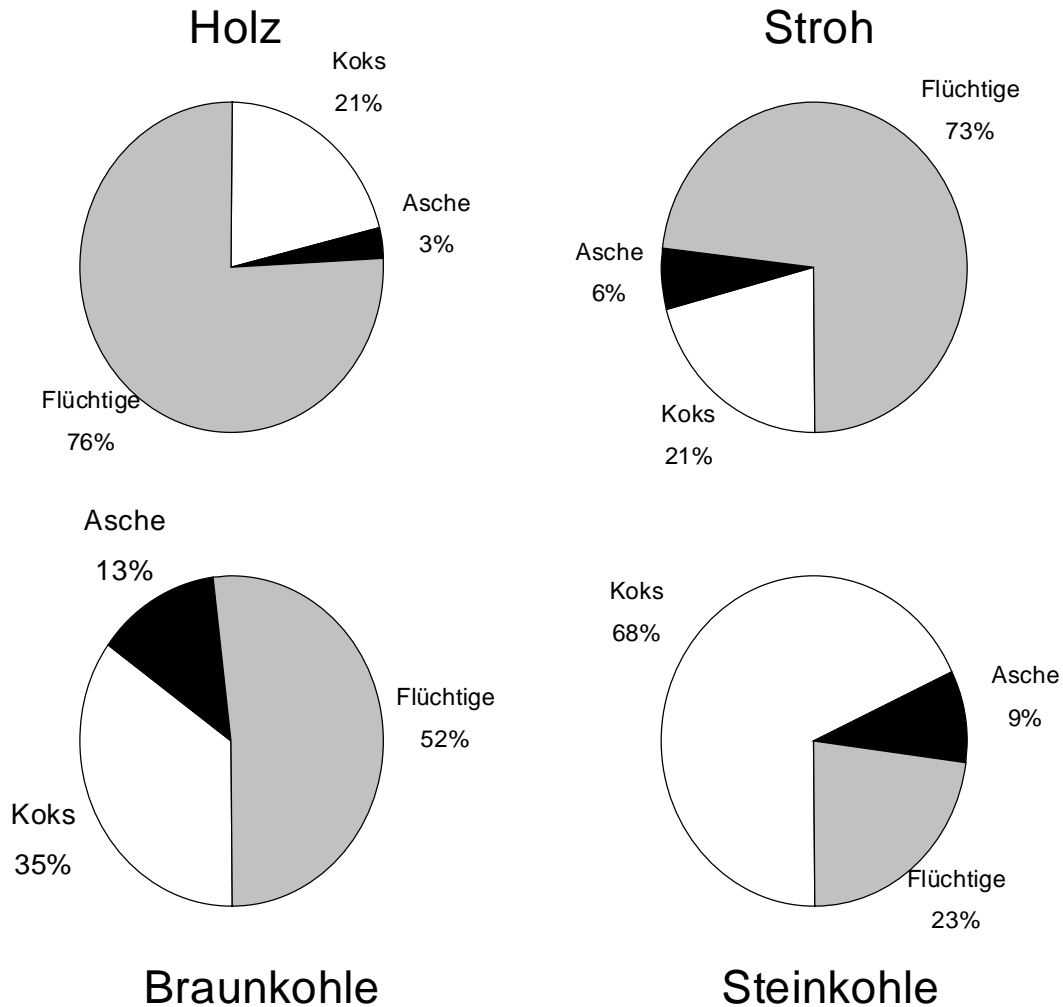
2. Biomasse

Energieinhalte unterschiedlicher Biomasse

Brennstoff		Dichte [kg/m ³]	Heizwert Hu [MJ/kg]	Energiedichte [GJ/m ³]
Stroh	Ballenform	150	14,4	2,2
Stroh	Häcksel	70	14,4	1,0
Stroh	Pellets	520	14,4	7,5
Scheitholz		400	15,3	6,1
Holzhackschnitzel		250	15,3	3,8
Holzpellets		600	15,3	9,1
Steinkohle		870	28	24,4
Heizöl		860	42	36

Holzpellets benötigen das 4-fache Lagervolumen im Vergleich zu Heizöl

Flüchtigengehalt, Restkoks und Aschegehalt



2. Biomasse

CO₂-Emissionen von Biomasse

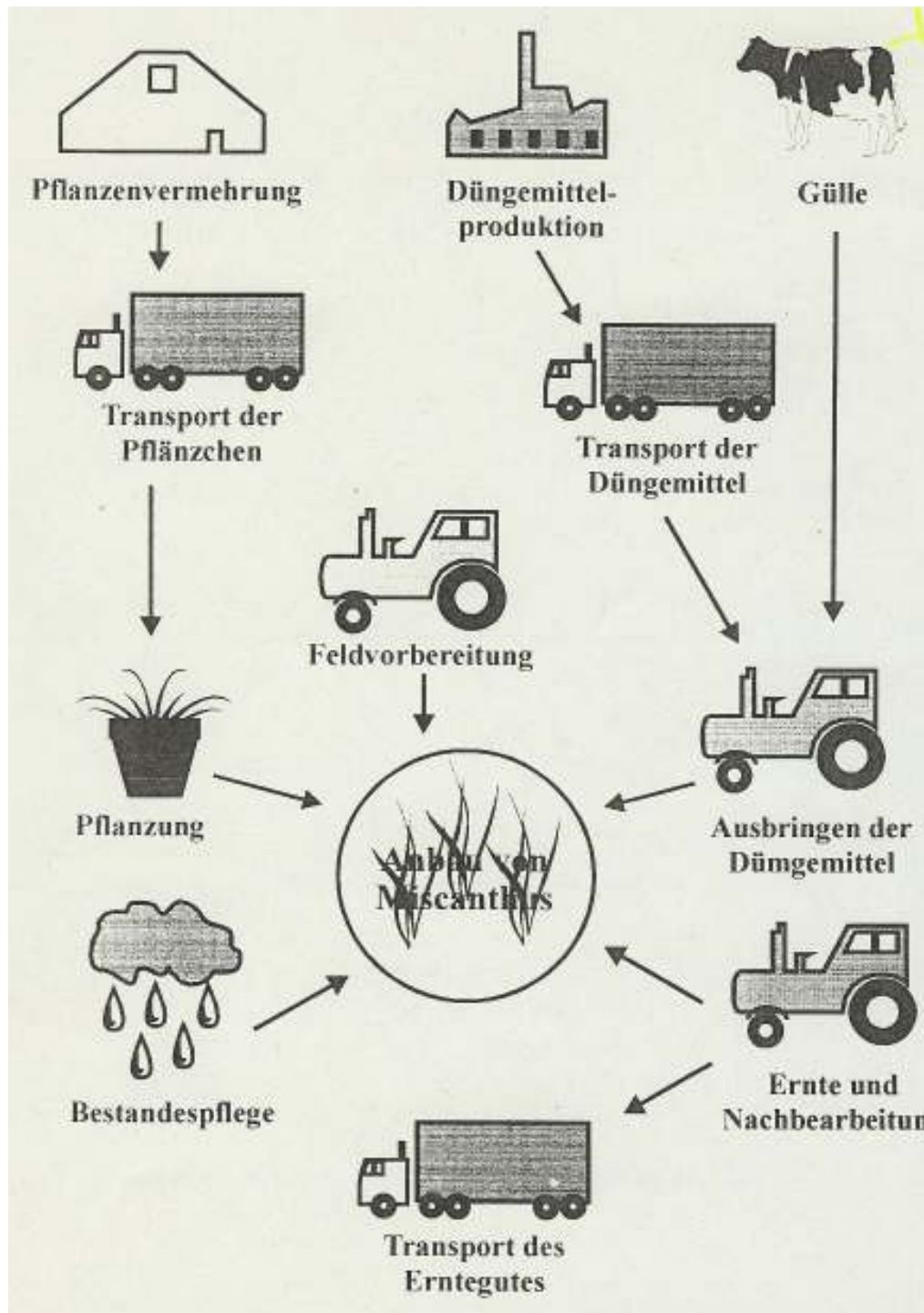


2. Biomasse

Studie zur Ermittlung der CO₂-Emissionen bei der thermischen Nutzung von Biomasse

Ermittlung des Energieaufwandes und der CO₂-Emissionen von

- Anbau von Biomasse
- Ernte und Aufbereitung
- Transport und thermische Nutzung



2. Biomasse

Energieaufwand und CO₂-Emissionen der Prozessschritte

Prozeßschritte	Miscanthus	
	<i>Energieaufwand in % des Heizwertes</i>	<i>CO₂-Emissionen in kgCO₂/tTM</i>
Feldvorbereitung	0,01	0,31
Pflanzenvermehrung	0,42	12,3
Transport der Pflanzen	0,02	0,29
Pflanzung	0,03	0,48
Düngemittelproduktion	2,3	29
Transport + Ausbringung der D.	0,4	5,7
Bestandespflege	0,01	0,19
N ₂ O Emission des Bodens	—	22,5
Ernte	0,6	8,6
Nachbearbeitung	0,02	0,3
Transport d. Erntegutes	1,2	14,4
Aufbereitung	0,6	19,5
GESAMT	5,61	113,57

2. Biomasse

CO₂-Minderung bei der thermischen Nutzung von Biomasse

	Steinkohle [kg CO ₂ /GJ]	Miscanthus [kg CO ₂ /GJ]
Bereitstellung	3,4	6,2
Verbrennung	93,2	103
Gutschrift	0	-103
Gesamt	96,6	6,2

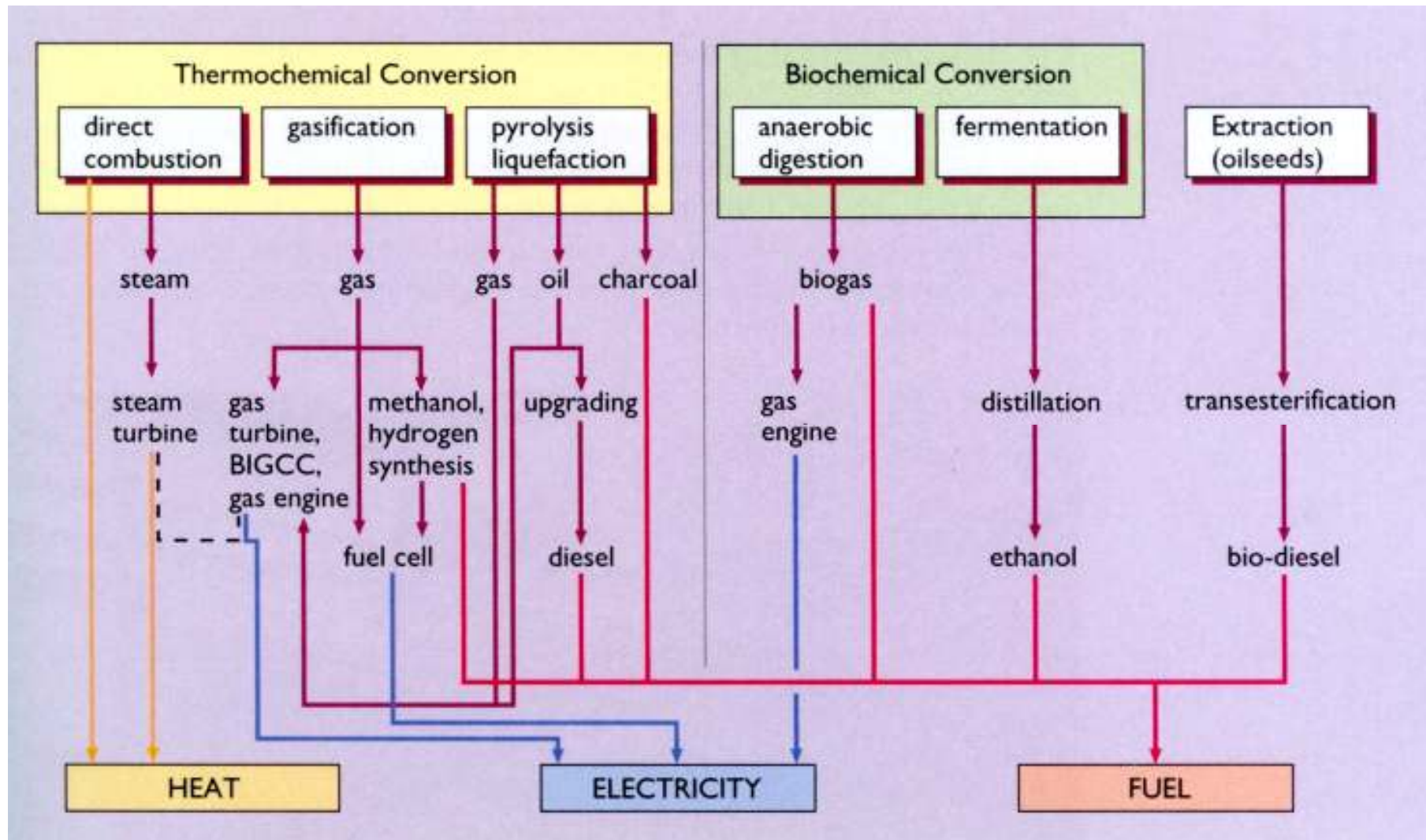
3. Biomasseumwandlung

Einteilung von thermischen Biomassekonversionsverfahren

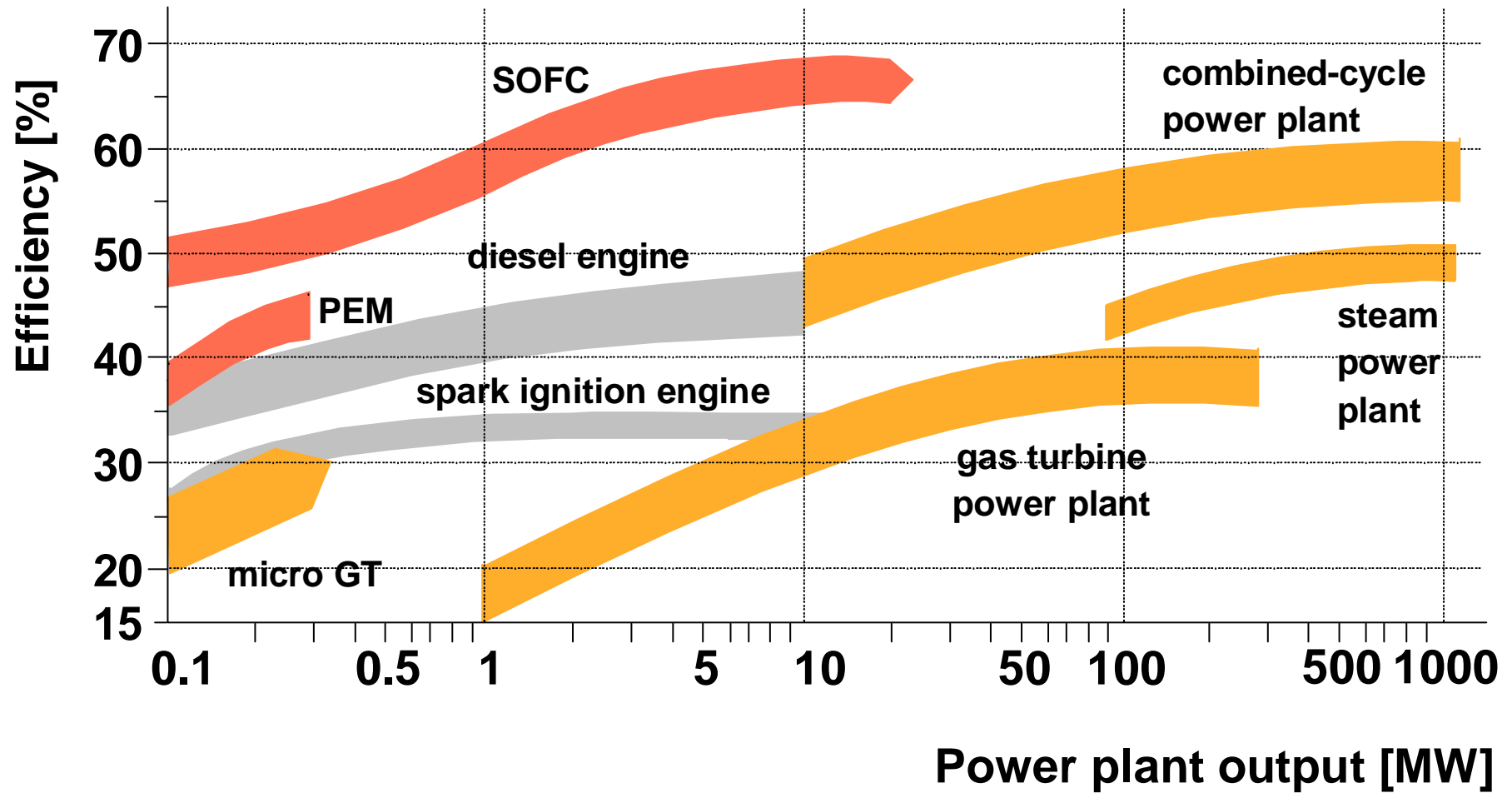
- Art der Biomasse: Holz, Stroh, Reststoffe, Energiepflanzen
- Brennstoffumwandlung: Verbrennung, Vergasung, atmosphärisch, druckaufgeladen
- Krafterzeugung: Verbrennungsmotor, Gasturbine, Dampfturbine, Stirlingmotor, Brennstoffzelle
- Leistungsgröße
- Produkte: Strom, Wärme, Strom und Wärme, Kraftstoffe
- Mono- oder Co-Nutzung

3. Biomasseumwandlung

Biomasseumwandlungsverfahren



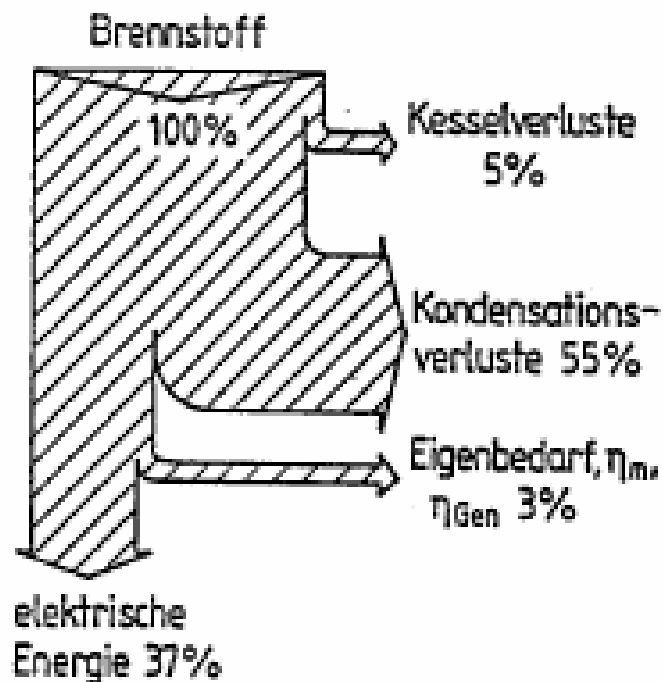
3. Biomasseumwandlung Zentrale – Dezentrale Nutzung



3. Biomasseumwandlung

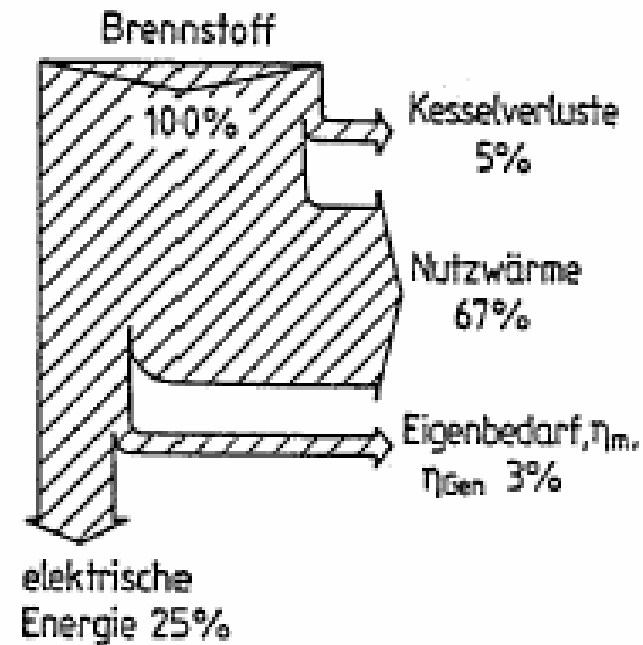
Brennstoffeinsparung durch KWK

Kraftwerk



$$\eta_{el} = 37\% \quad \eta_{ges} = 37\%$$

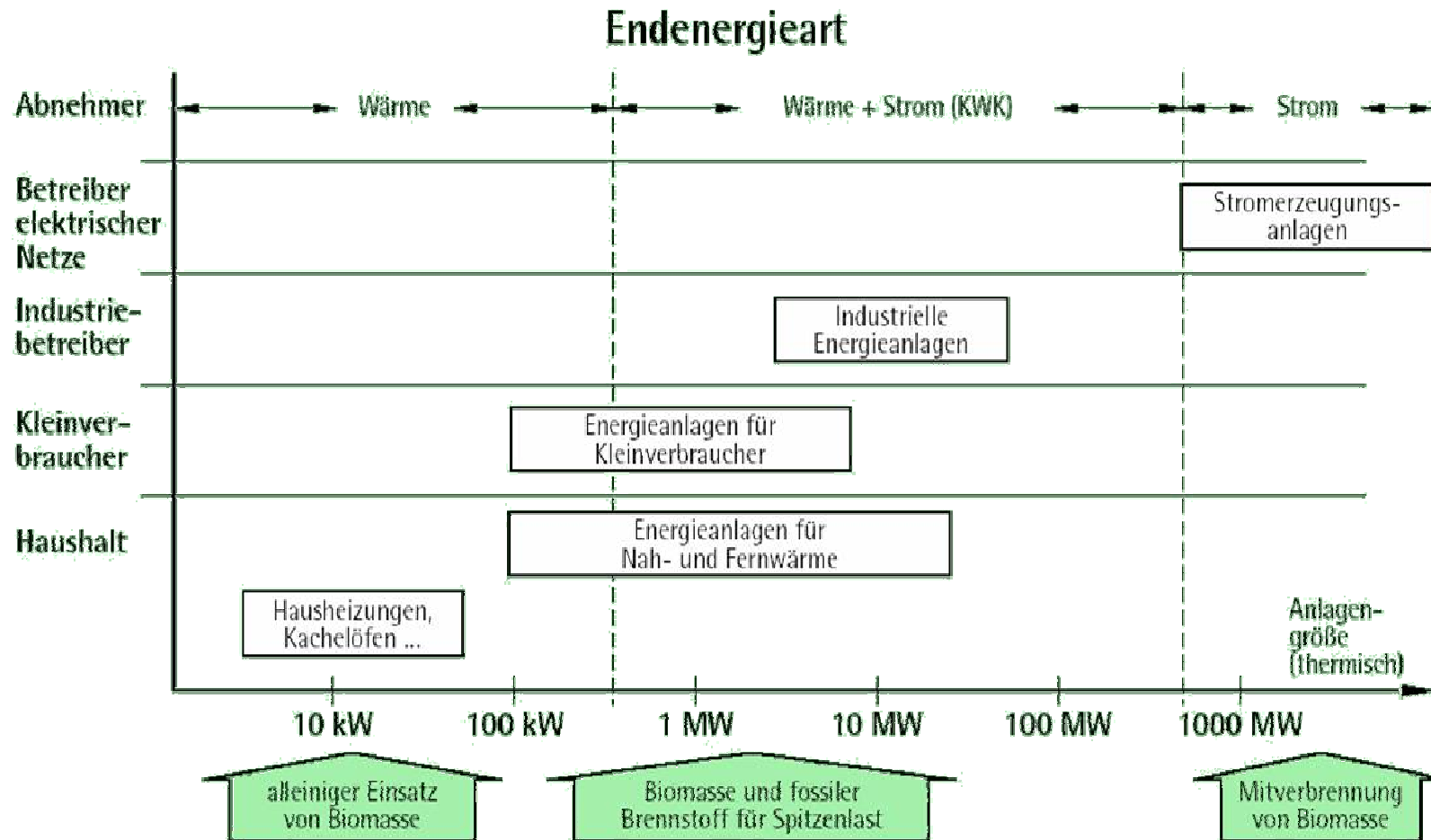
Kraft-Wärme-Kopplung



$$\eta_{el} = 25\% \quad \eta_{ges} = 92\%$$

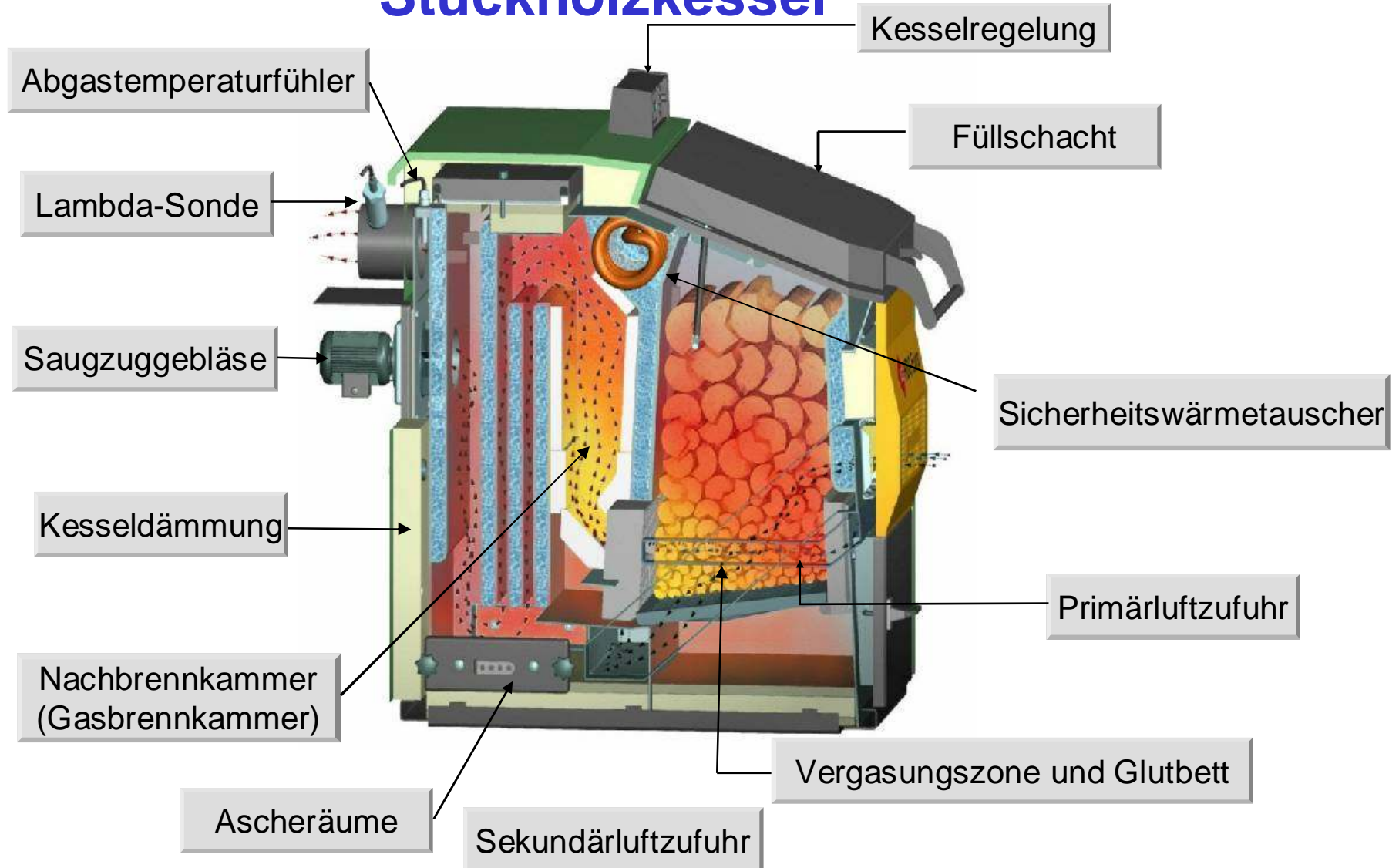
3. Biomasseumwandlung

Wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten

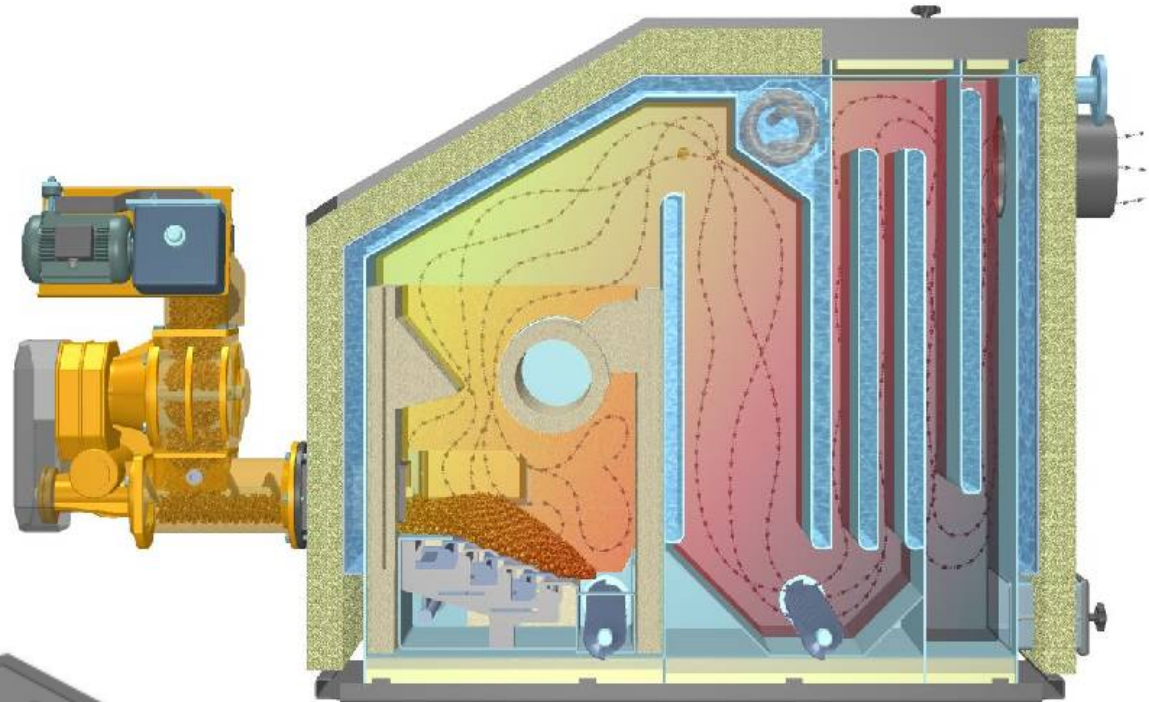
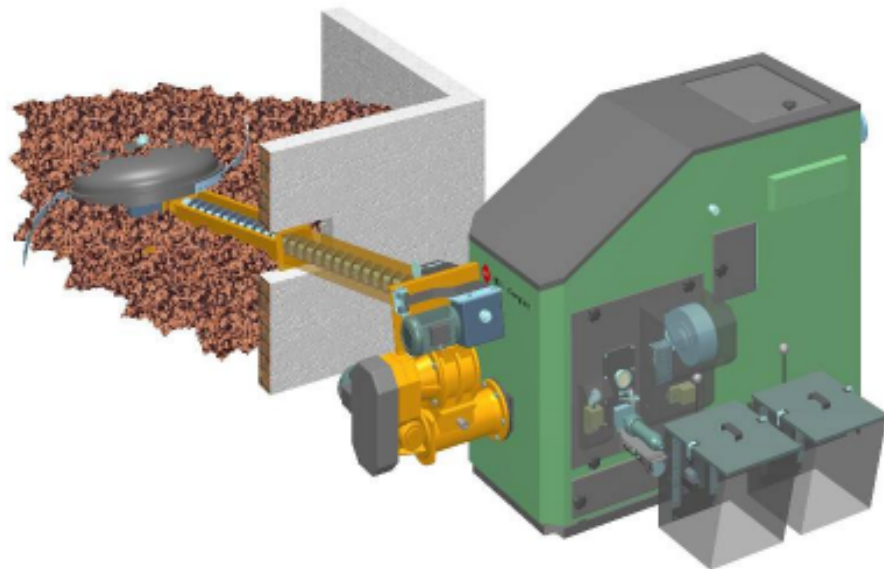


3. Biomasseumwandlung

Stückholzkessel



3. Biomasseumwandlung
**Automatische
Feuerung mit
Rostfeuerung 30 -
200 kW**

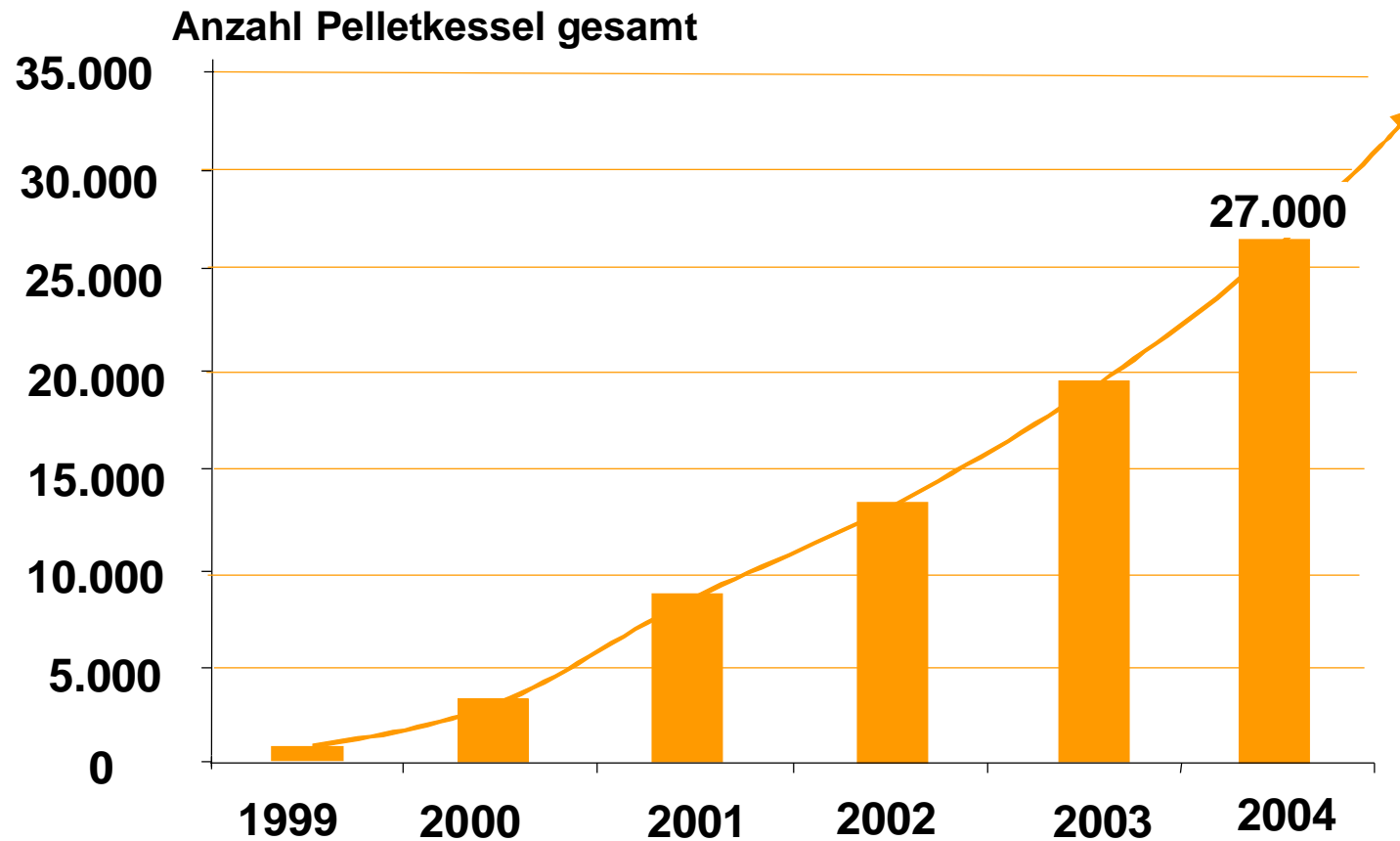


- Pellets, Hackschnitzel
- luftgekühlter,
bewegtem Stufenrost
- direkter
Brennstoffeintrag

3. Biomasseumwandlung

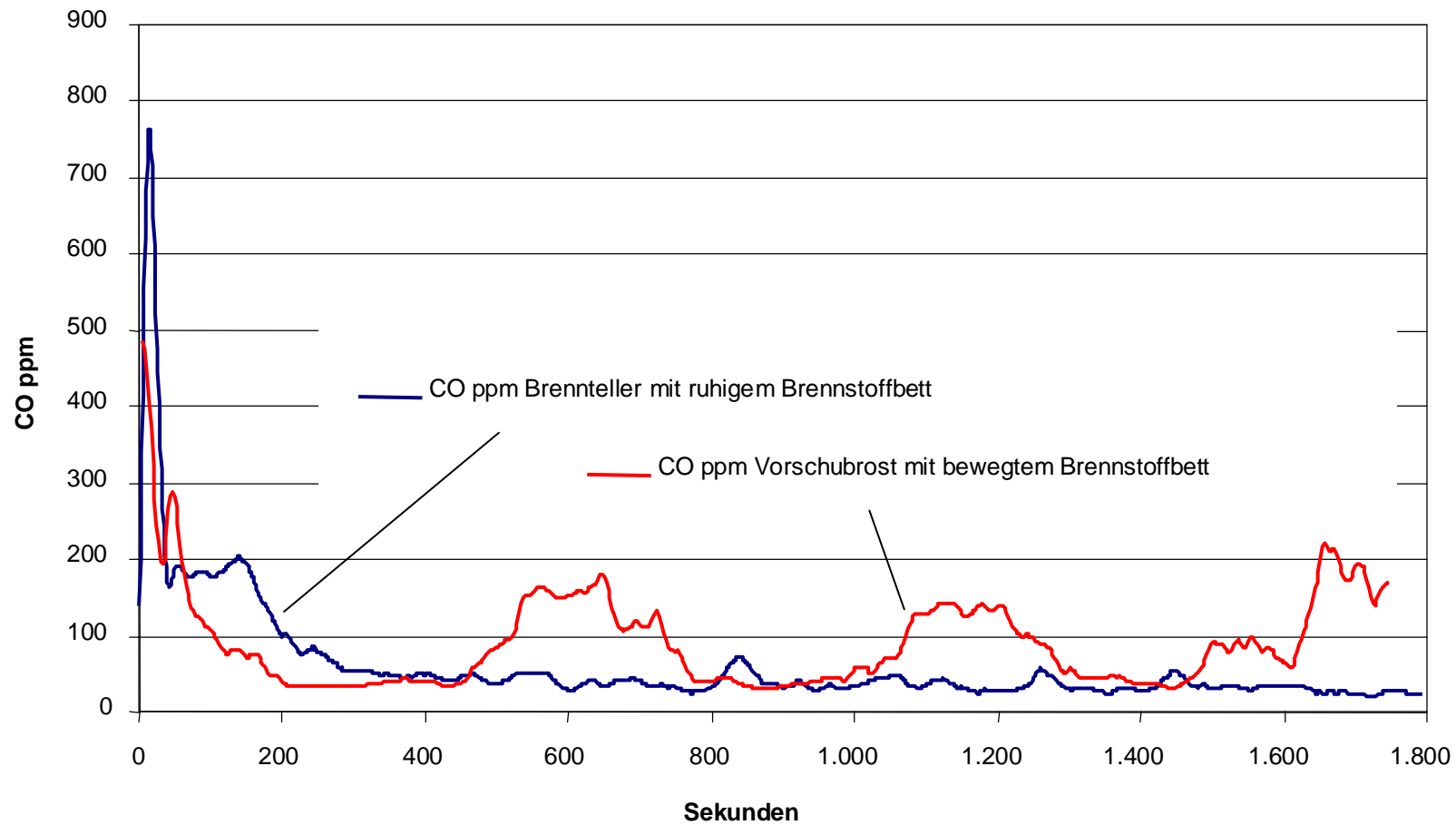
Pelletkessel in Deutschland

Pelletkesseln in Deutschland



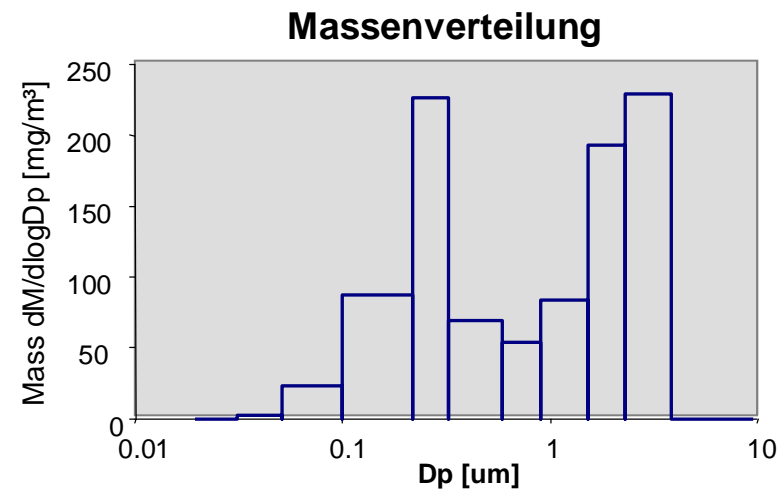
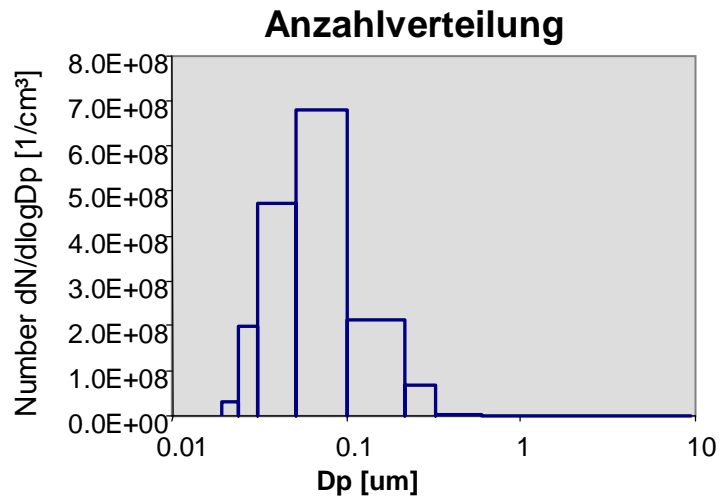
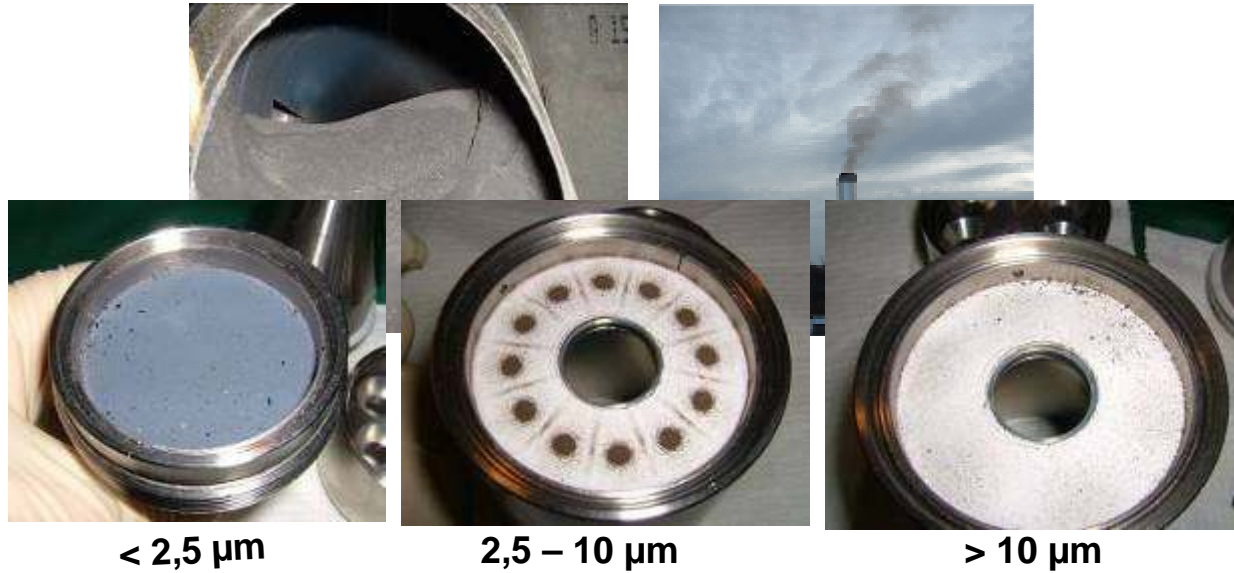
3. Biomasseumwandlung

Pelletfeuerung CO - Emissionen



3. Biomasseumwandlung

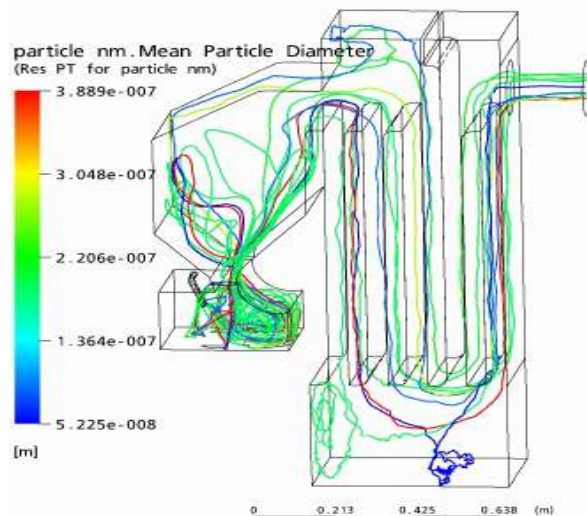
Staubemissionen bei Kleinanlagen



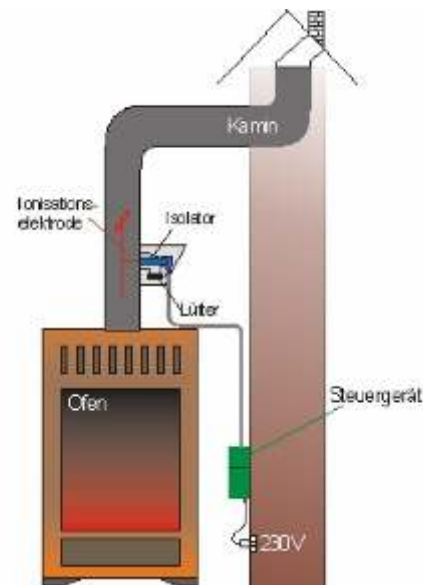
3. Biomasseumwandlung

Reduktion der Staubemissionen bei Kleinanlagen

- verbesserte Verbrennungstechniken
- Rauchgasreinigung, E-Filter-70%, Metallgewebefilter-90%, Rauchgaskond.-50%
- RGK: Brst.-Kostenreduktion Haushalt 120-180 €/a, Kleinheizwerke 1.000-2.000 €/a



Quelle: CFD Simulation der Partikelflugbahnen in einem Hackgutkessel mit CFX, ZAE Bayern



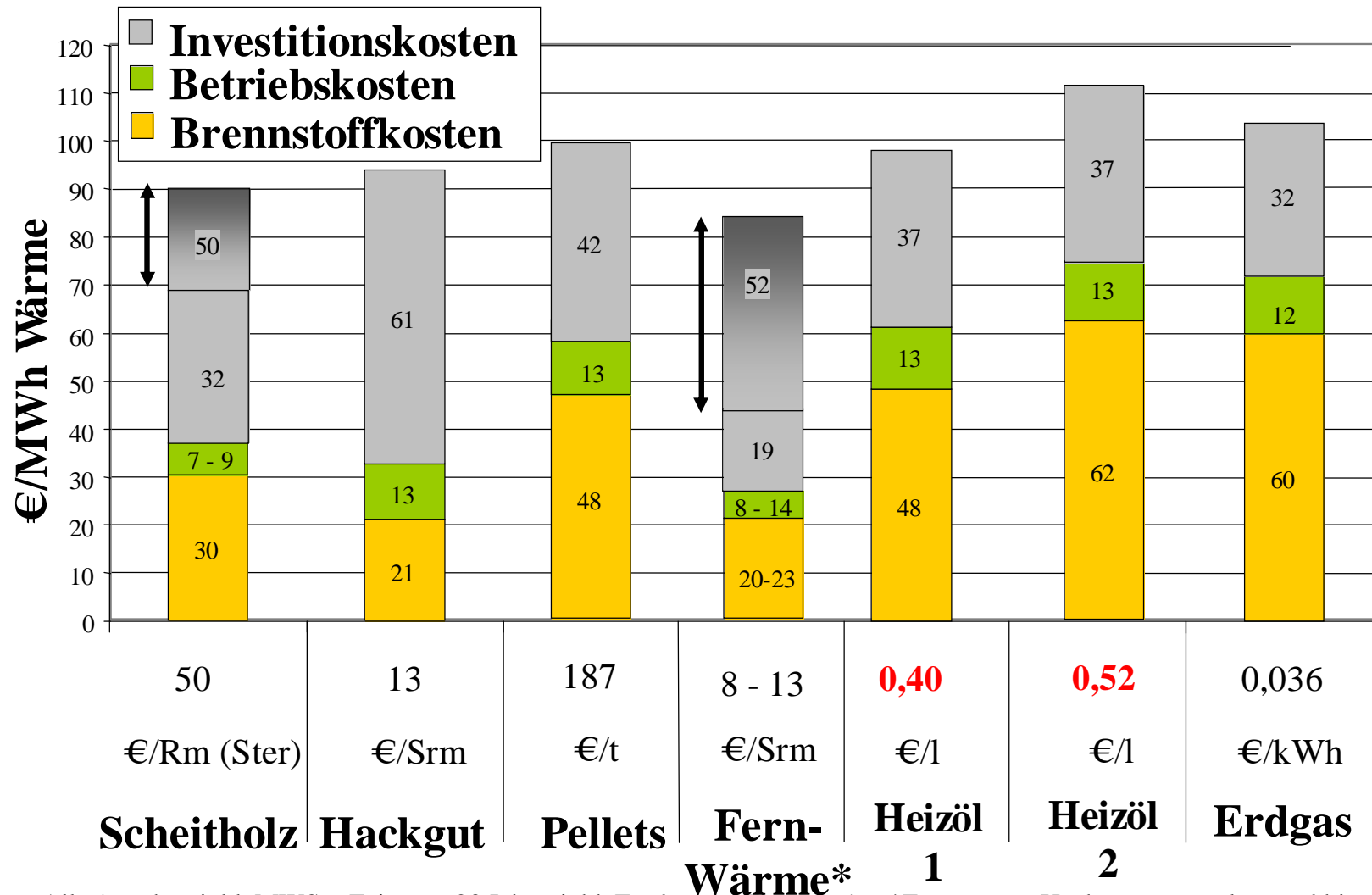
Quelle: Kleinelektrofilter, EMPA, Schmatloch 10-20 kV



Quelle: Metallgewebefilter, Oskar Winkler Filtertechnik

3. Biomasseumwandlung

Kostenvergleich bei 15 kW Heizlast

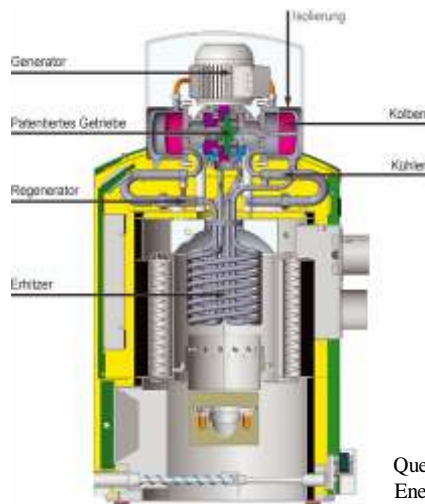


Alle Angaben inkl. MWSt., Zeitraum 20 Jahre, inkl. Förderung, Zinssatz 5%, *Fernwärme: Hackgut monovalent und bivalent mit Heizöl
 Basis Jahresenergiebedarf 19.300 kWh/Jahr Gesamtenergiebedarf

3. Biomasseumwandlung

Stromerzeugung in Kleinstanlagen

Stirlingmotor 1 - 3 kW_{el}



Quelle: Stirling Power Module
Energieumwandlungsges mbH

- ca. 1 bis 3 kW_{el}
- η_{el} ca. 6 - 22%
- meist Stickstoff
oder Helium



Quelle: Sunmachine

Stirlingmotor 35 bzw. 70 kW_{el}

η_{el} ca. 12%

ca. 240 kW bzw. 480 kW thermisch (max. 50% der Spitzenlast)

→ 600 bzw. 1.000 kW ab Heizhaus



Quelle: Mawera,
Hackgutkessel mit 35 kW Stirlingmotor

3. Biomasseumwandlung

Bio-HKW in Pfaffenhofen

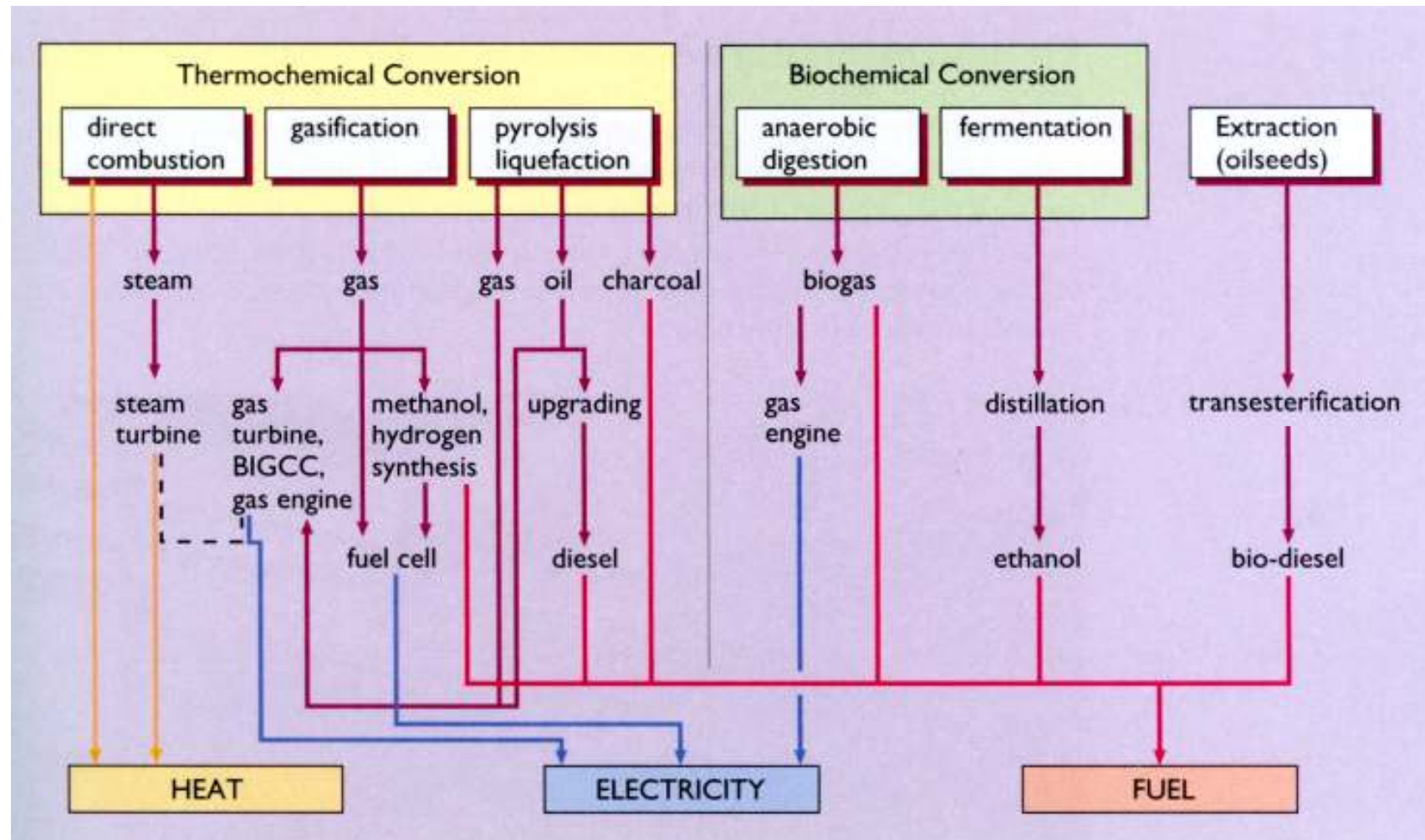
- **Brennstoff:** 80.000 t/a
100% Waldhackschnitzel



- **Biomassekessel mit wassergekühlten Vibrationsrost**
Feuerungswärmeleistung: 26,7 MW;
Dampfparameter: Temperatur 450°C, Druck 60 bar_{abs}
- **Wärmeverkauf:** 120 GWh jährlich (ca. 10.000 Haushalte)
- **Dampfturbine:** 7,5 MVA; jährl. Stromerz.: 42 GWh (10.000 Haushalte)

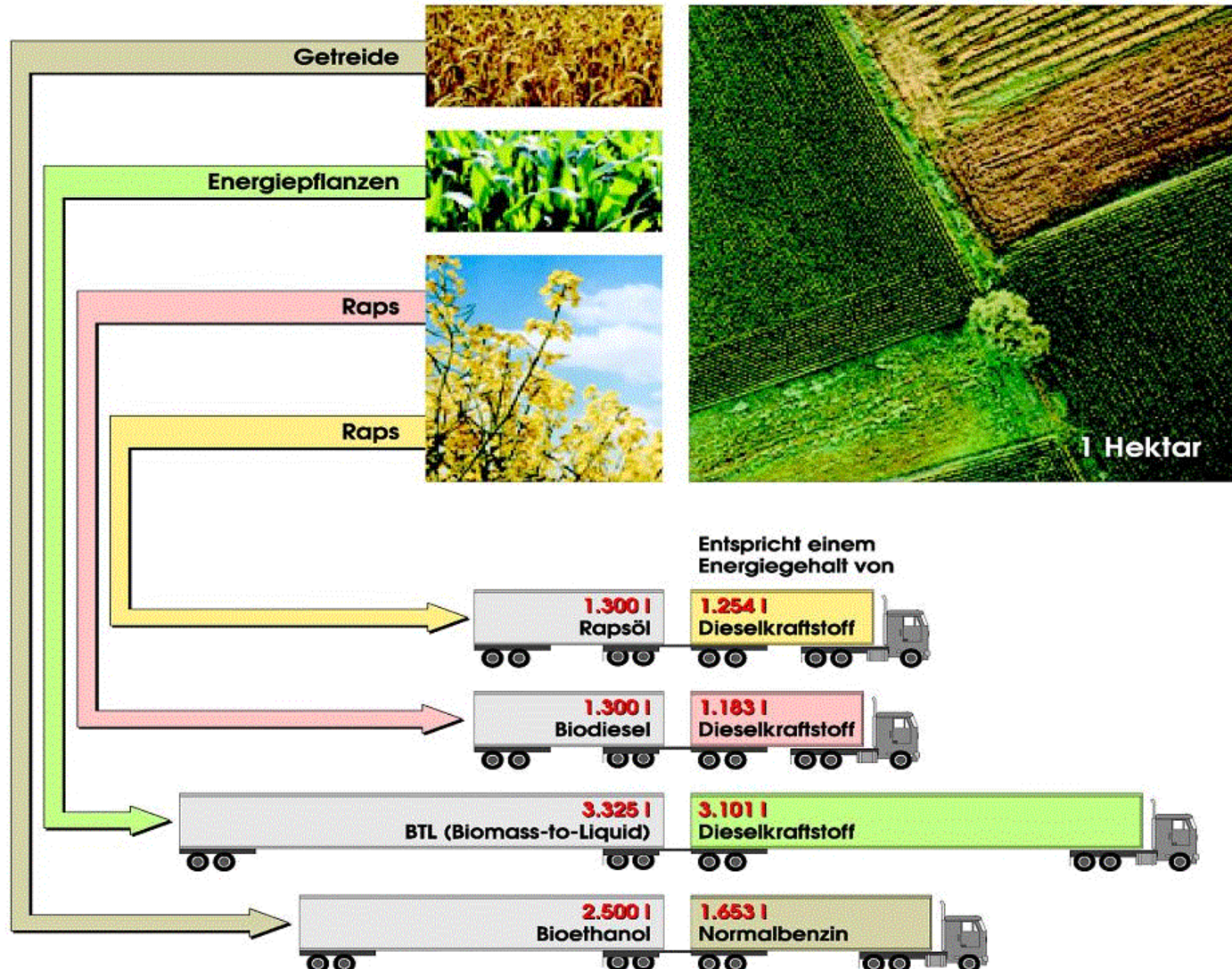
3. Biomasseumwandlung

Kraftstofferzeugung



3. Biomasseumwandlung

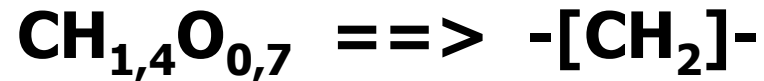
Potenziale von Biokraftstoffen



3. Biomasseumwandlung

Vergasung und Synthese

Aufgabe: Biomasse zu Kohlenwasserstoff



Mögliche Lösung: Umsetzung zu Synthesegas



Synthesen:



3. Biomasseumwandlung

Biomass to Liquid (BtL-Kraftstoffe)

- + Nutzung der vorhandenen Infrastruktur
- + Anpassung an die Anforderungen
- + Nutzung aller Arten von Biomasse
- Geringe Energieausbeute
- Herstellungsverfahren ist komplex und nicht für eine (stark) dezentralisierte Produktion geeignet

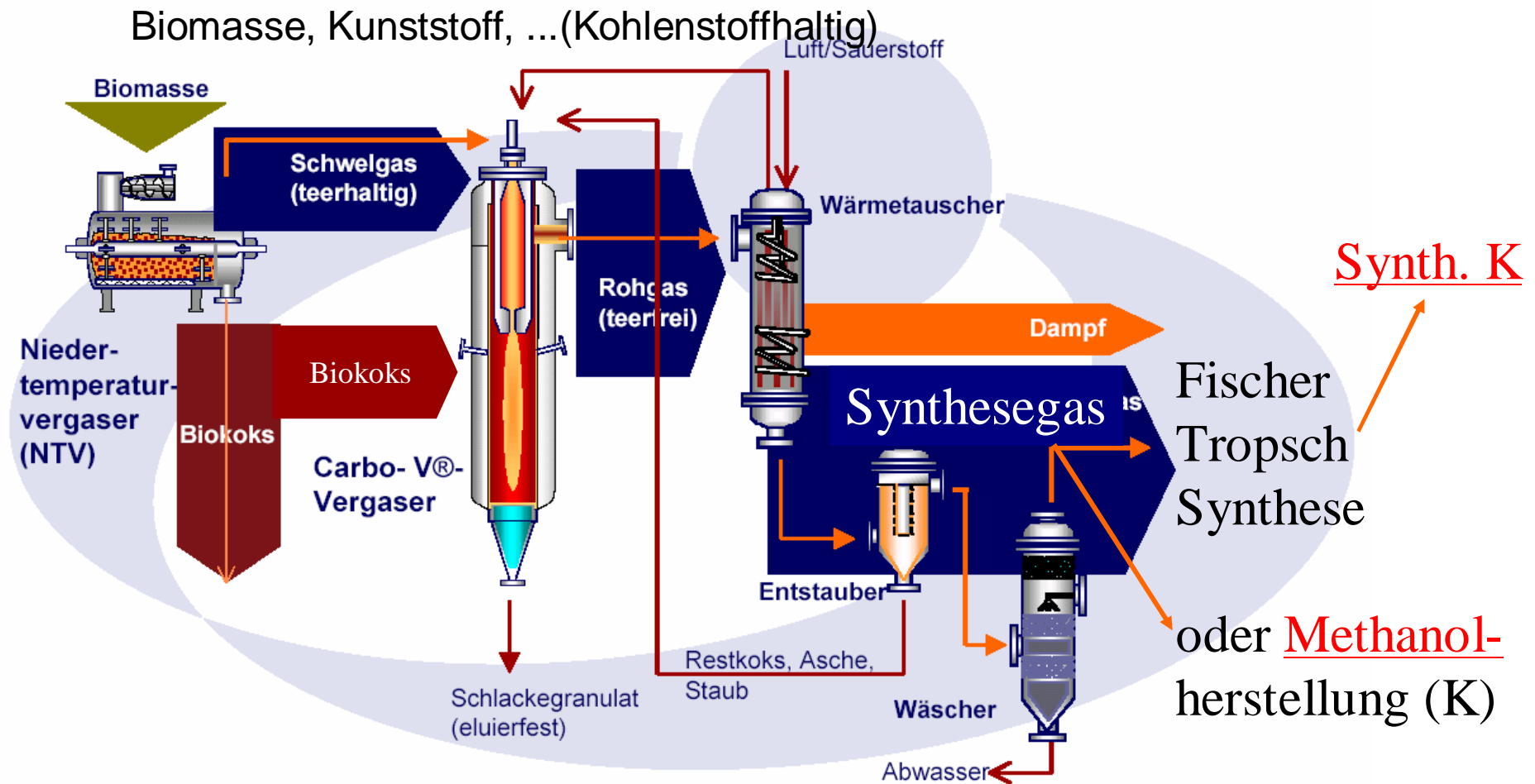
Carbo-V® Prozess von Choren

2007 Inbetriebnahme einer Demonstrationsanlage mit
ca. 50 MWth / 15000 t/a in Freiberg

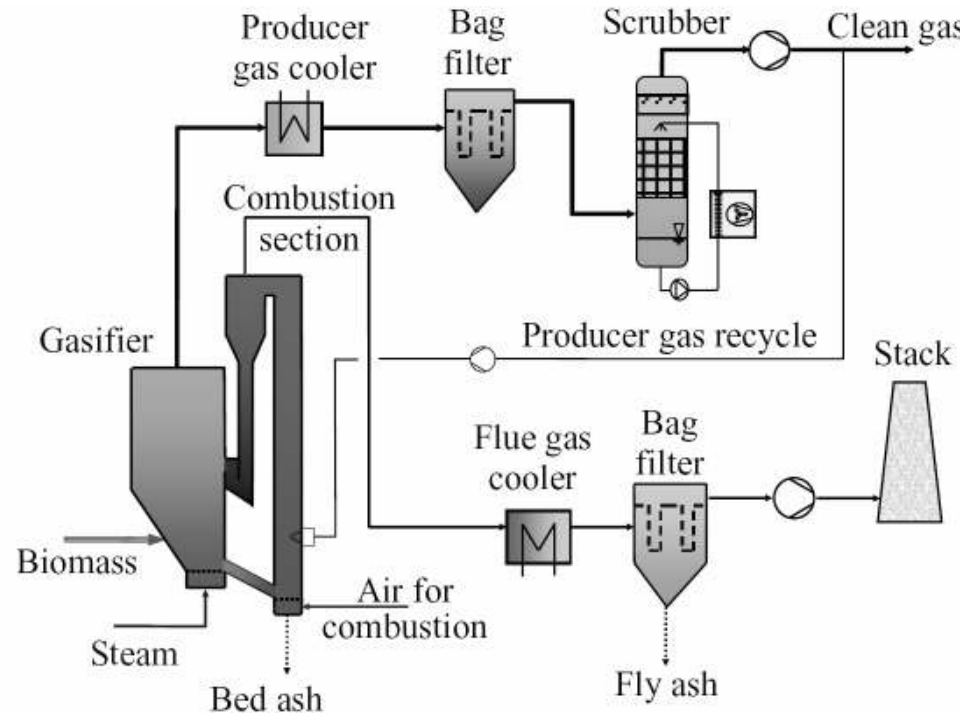
3. Biomasseumwandlung

Synthetische Kraftstoffe aus Biomasse

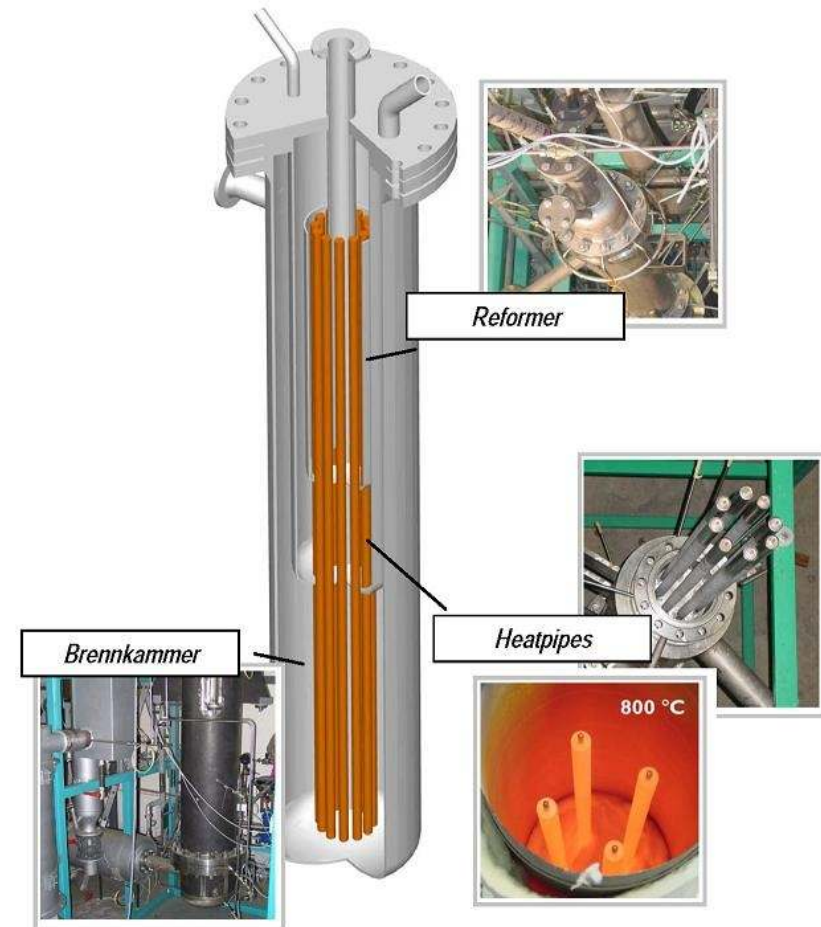
Anlagenschema Carbo-V[®]-Vergasung



Zweistufige Vergaser: Güssing/ TUM



C. Pfeifer et al, *Ind. Eng. Chem. Res.* **2004**, 43, 1634-1640



3. Biomasseumwandlung

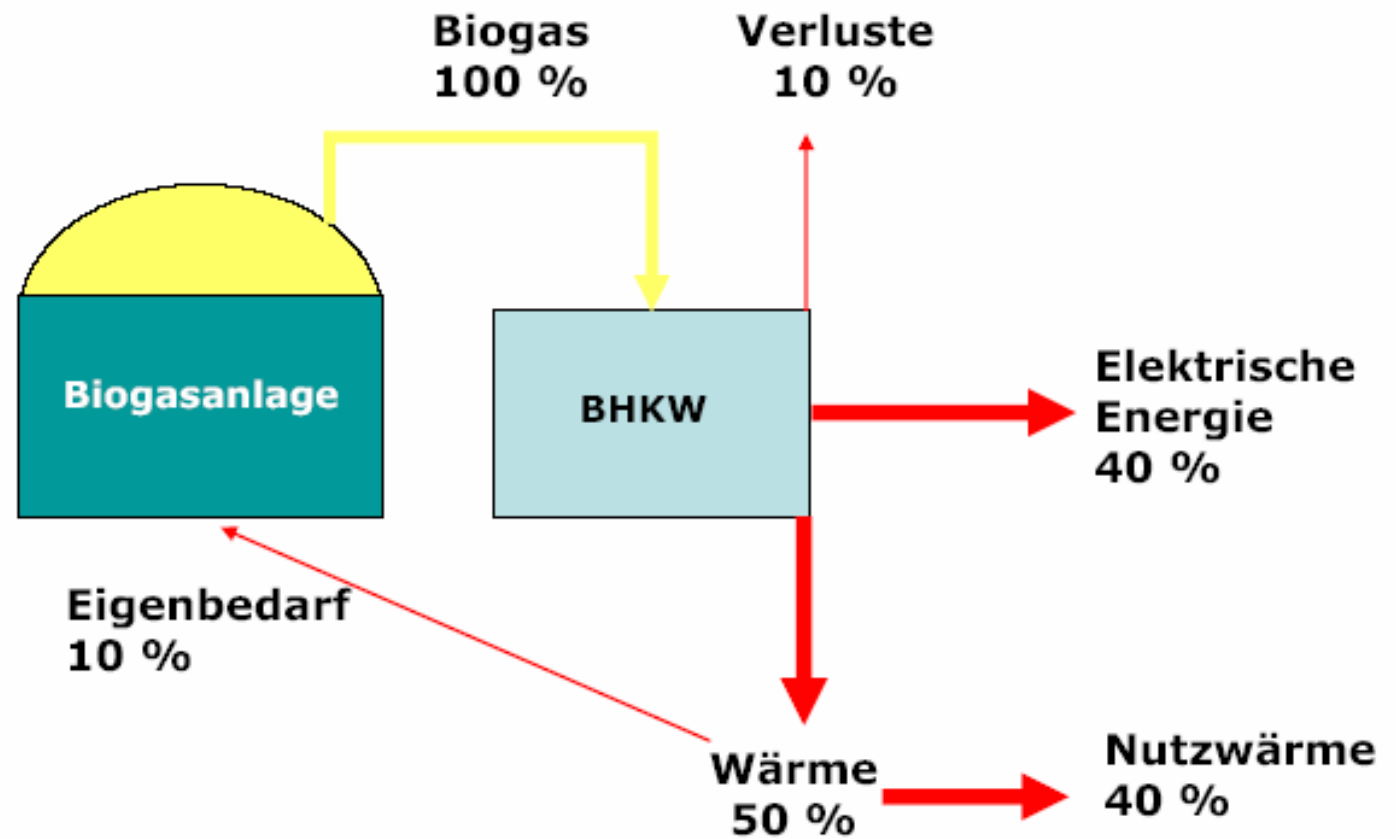
Vergleich von Diesel, Methanol, SNG, und Wasserstoff

Kind/ Criteria	Biofuel production		Market	
	Overall thermal efficiency ^a	Technical effort ^b	Chances today	Efforts for market penetration
FT-Diesel	↘	↘	↗	↗
MeOH	↗	↗	↘	↘
SNG	↗	↗	↗	→
H ₂	↗	↗	↘	↘



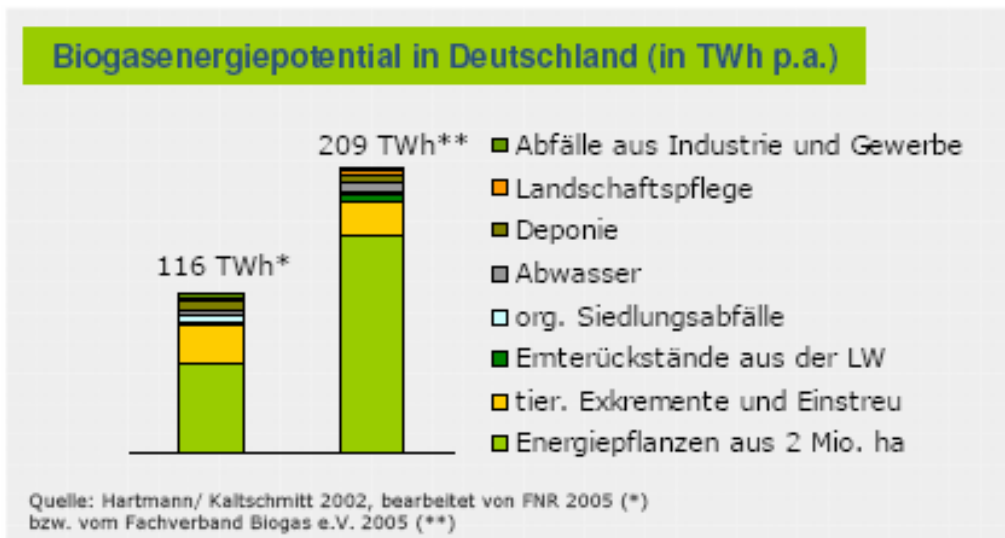
3. Biomasseumwandlung

Biogas- anlagen

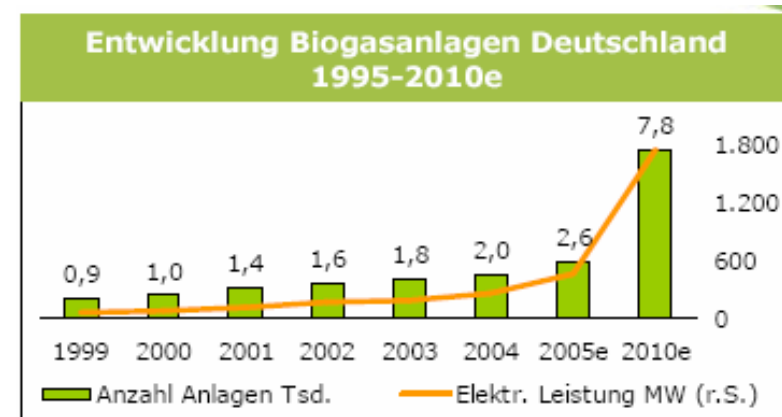


3. Biomasseumwandlung

Potential und Entwicklung von Biogas



- Biogas hat das Potential 20% des deutschen Erdgasverbrauches zu ersetzen (= 4 % des Primärneregieverbrauches)



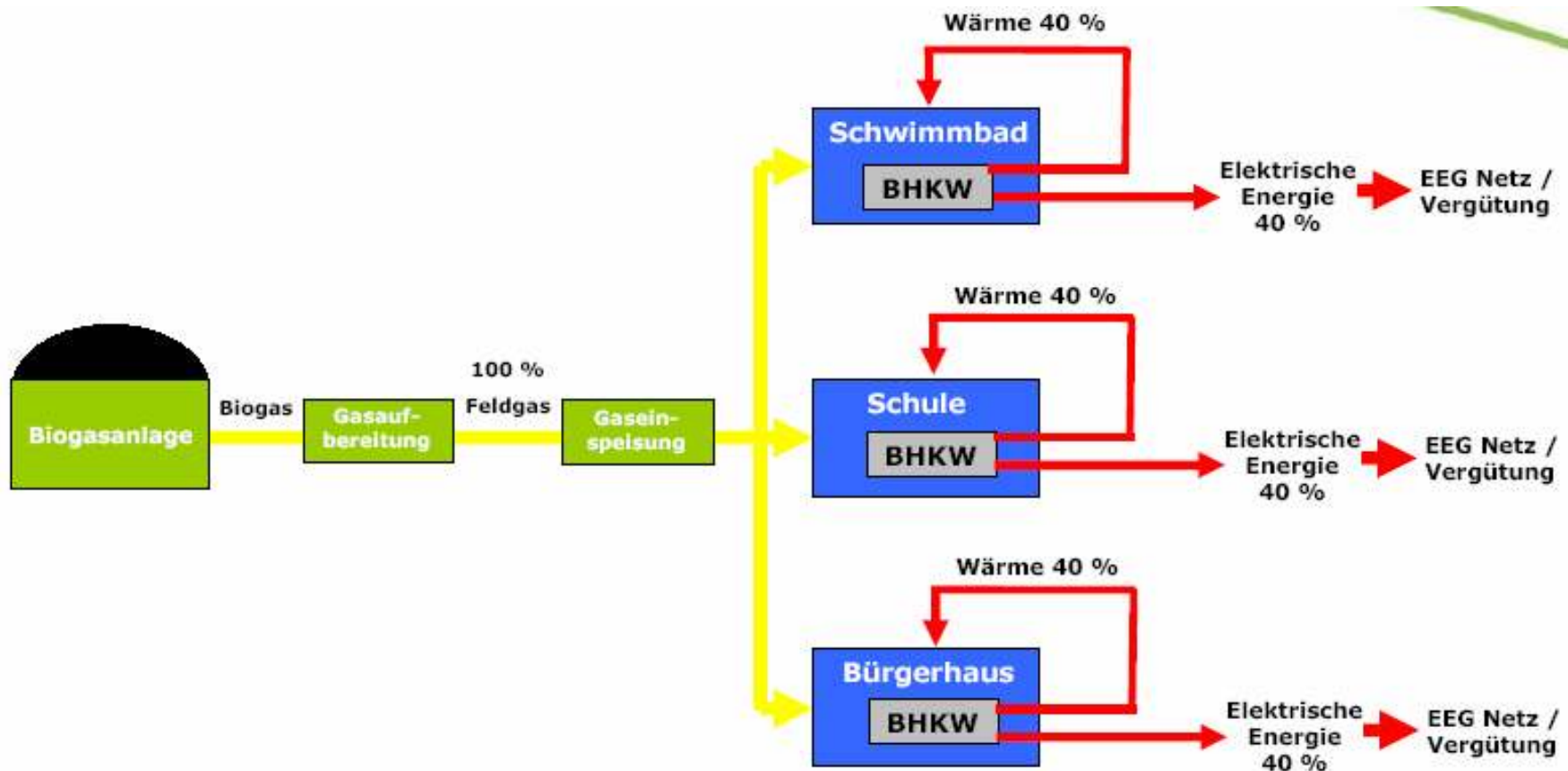
Kennzahlen Biogas Deutschland

	2005
Installierte elek. Leistung	650 MW
Stromerzeugung p.a.	3,2 Mrd. kWh
Anteil am Gesamtverbrauch Strom	> 0,5%
Anteil an Wärmebereitstellung	0,3%
Investitionen Anlagenerrichtung	450 Mio. EUR
CO ₂ Emissionsminderung p.a.	2,5 Mio. t

Quelle: BMU, Fachverband Biogas e.V., AGEE

3. Biomasseumwandlung

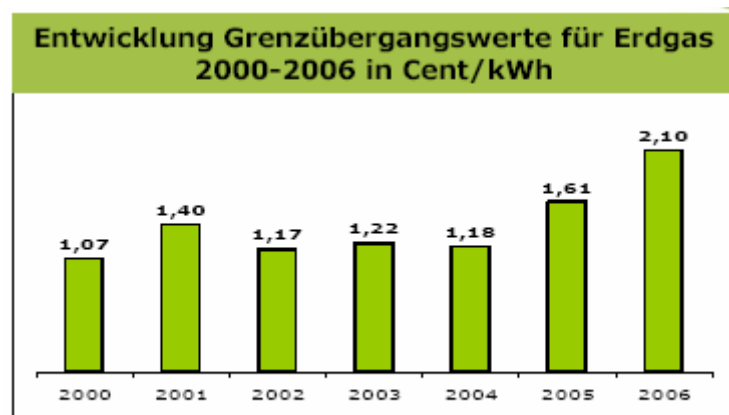
Biogaseinspeisung ins Erdgasnetz



3. Biomasseumwandlung

Gestehungskosten

Erdgas

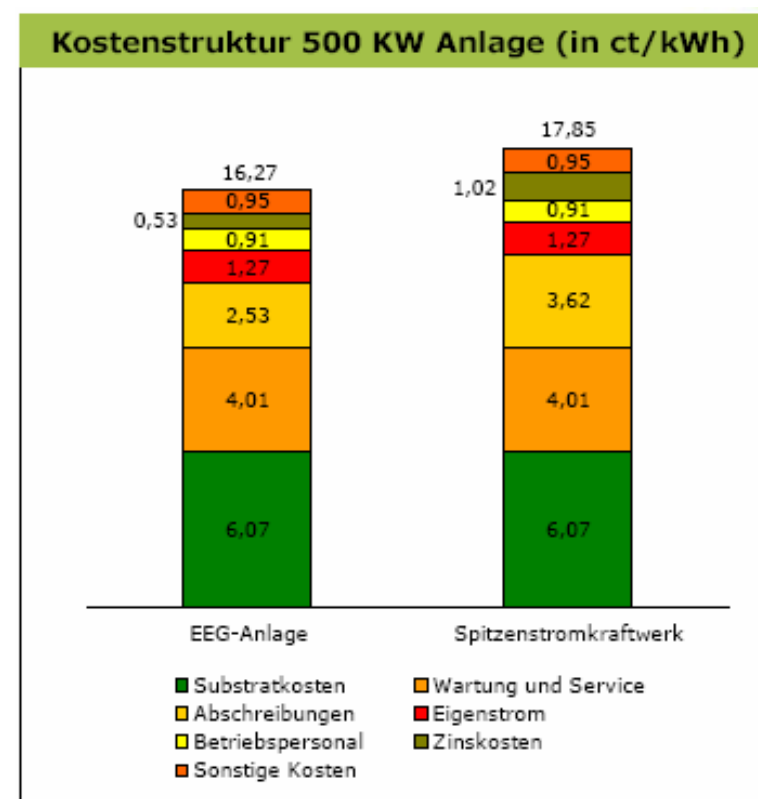


Quelle: BAFA

Preiskalkulation (in ct/kWh)		
	Großkunden	Privathaushalte
Biogas, davon	6,50	7,90
Direktanschluss	0,75	nicht erforderlich
Gasaufbereitung	n. erforderlich	1,90
Transport Gasnetz	n. erforderlich	0,30
Erdgas, davon	3,30-4,10	5,10-6,20*
Erdgassteuer	0,18	0,18
Differenz	2,40-3,20	1,70-2,8

Quelle: BMU, BMWT, *Verivox exkl. MWSt., Unternehmensangaben

Strom



Zusammenfassung

- Biomasse ist ein Festbrennstoff und enthält schwierige Inhaltsstoffe
- Biomasse im Wärmemark konkurrenzfähig
- Staub- und Feinstaubemissionen bei Kleinanlagen
- Kostengünstige Anlagen mit KWK im Leistungsbereich bis 1 MW fehlen
- Im MW-Bereich viele Anlagen zur Stromerzeugung mit Förderung des EEG
- Kraftstofferzeugung
 - Dezentrale Nutzung: Einfaches Verfahren
 - Komplexe Verfahren erfordern große Anlagen