

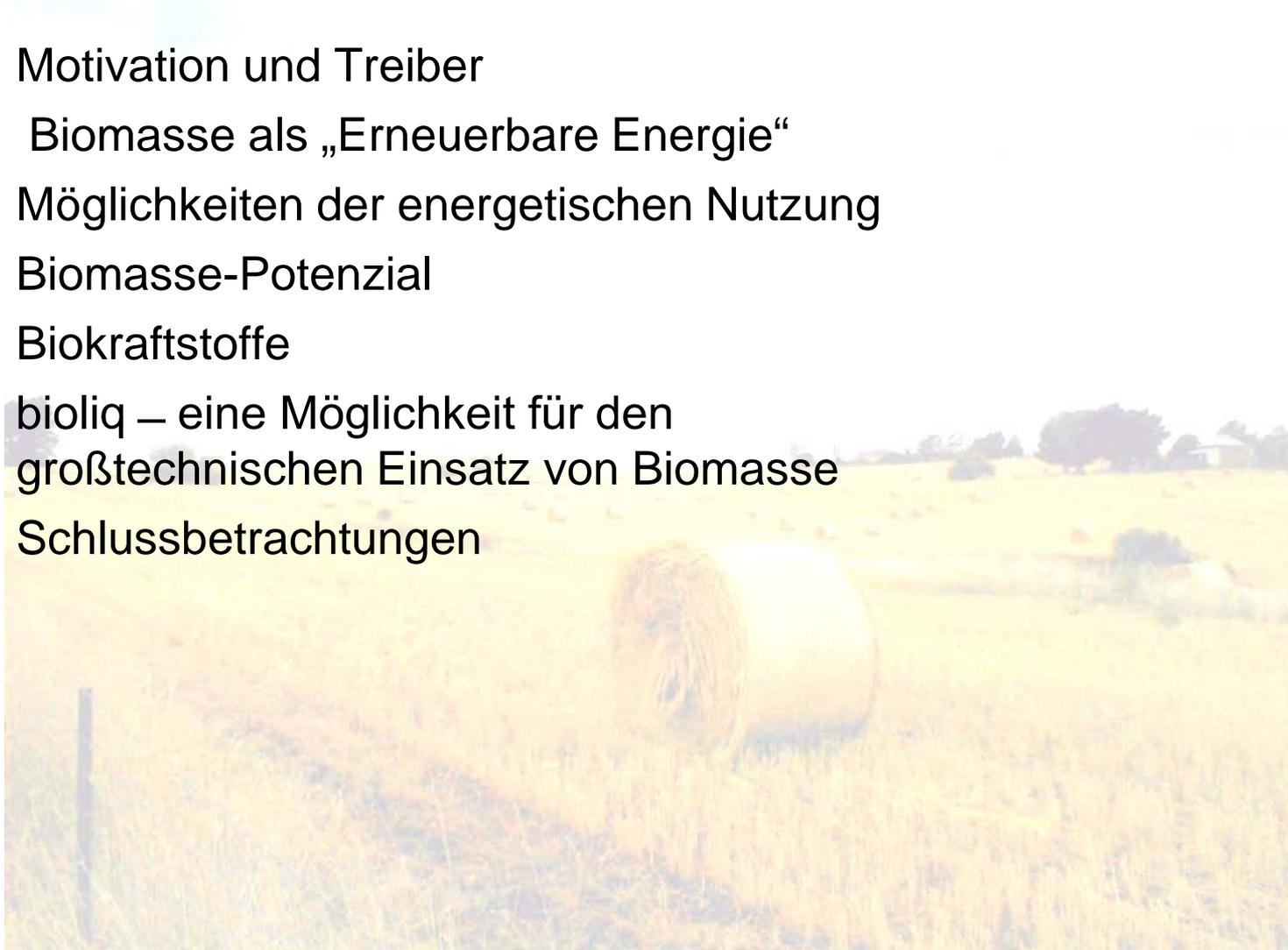
Möglichkeiten und Grenzen industrieller Bioenergie

Dr. N. Dahmen, Prof. J. Sauer

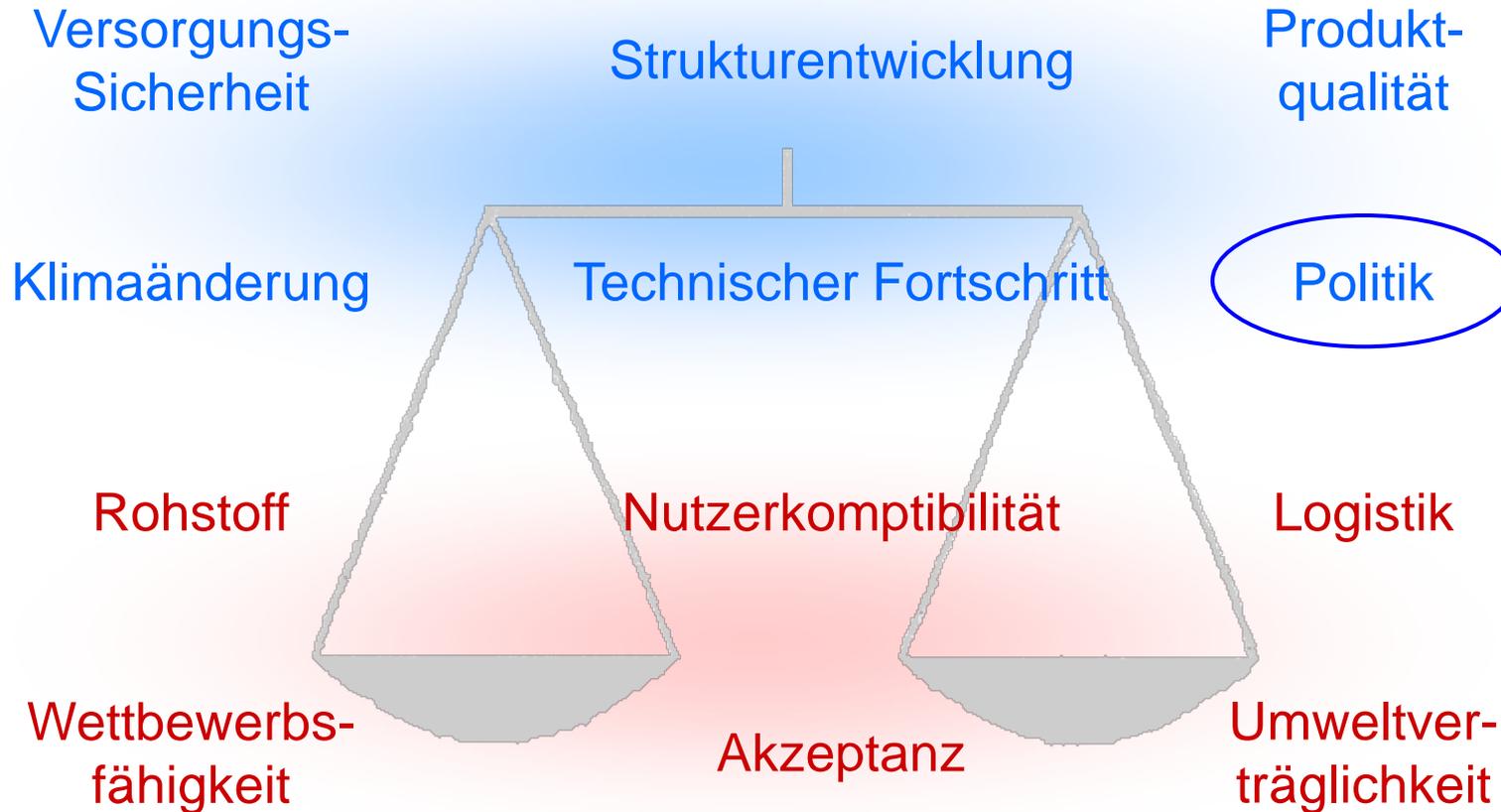
Institut für Katalyseforschung und -technologie

Worüber wir sprechen!

- Motivation und Treiber
- Biomasse als „Erneuerbare Energie“
- Möglichkeiten der energetischen Nutzung
- Biomasse-Potenzial
- Biokraftstoffe
- bioliq – eine Möglichkeit für den großtechnischen Einsatz von Biomasse
- Schlussbetrachtungen



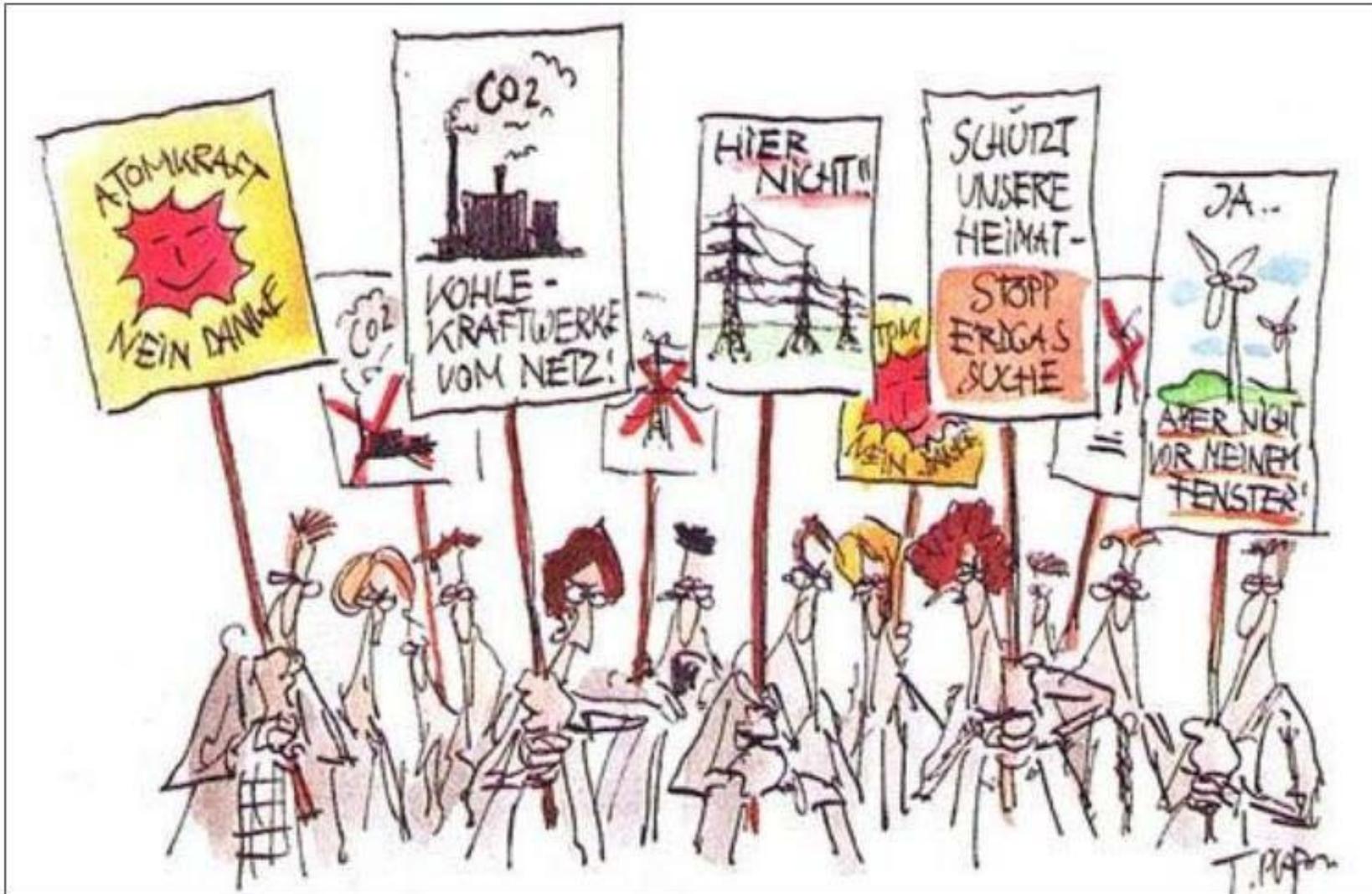
Treiber und Kriterien



Gesetzgebung zur Bioenergie

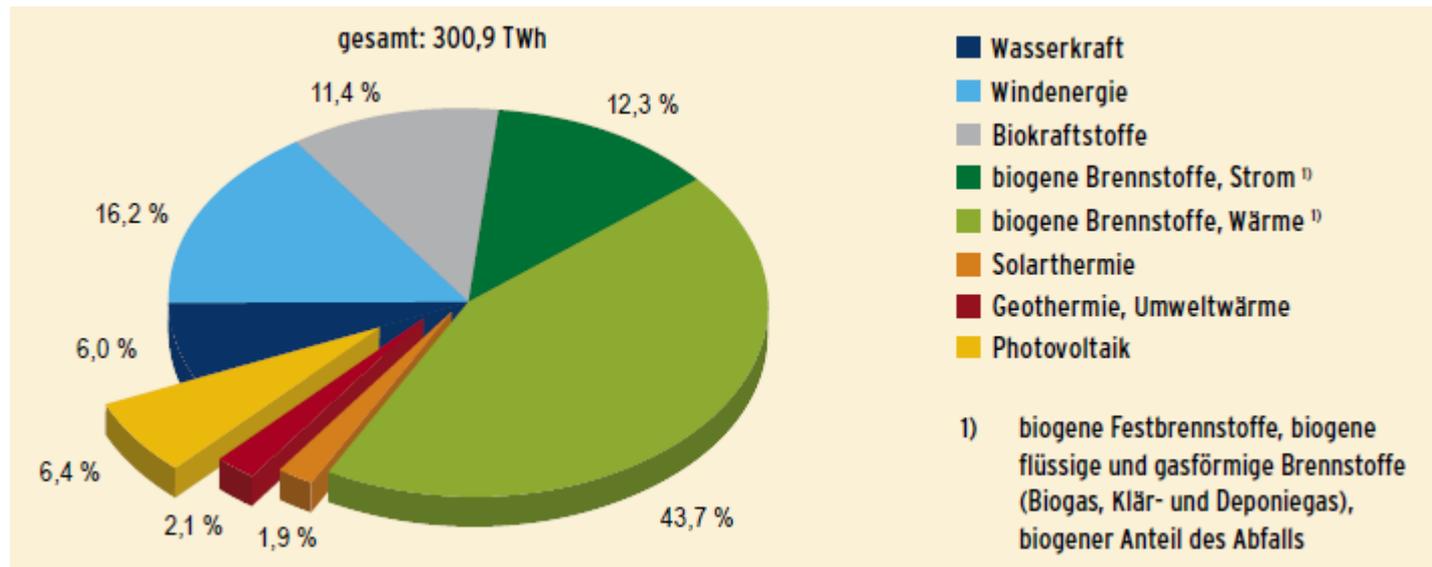
- EEG (geändert 2009), Energieeinsparungsverordnung
 - EE WärmeGesetz (nur Baden-Württemberg), 2008
 - Marktanreizprogramm (MAP)
 - Klimaschutzprogramm
 - Biokraftstoff-Quotengesetz
 - BioSt-NachV (Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung, bisher nur für Palm- und Rapsöl)
 - Biokraft-NachV (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung)
- Vermeidung schädlicher Auswirkungen von Bioenergie:
- Wirkungen erkennen
 - Erstellen sinnvoller Nachhaltigkeitskriterien
 - Gesetzgebung
 - Überwachung
- Flankierende Maßnahmen:
Spitzen-Cluster, Bioökonomie 2030, Roadmap Bioraffinerien...

Problem Akzeptanz?



Erneuerbare Energien in 2011

- 12,5% am gesamten Endenergieverbrauch – Strom, Wärme und Kraftstoffe (Ziel 2020: 18%; 2030: 30%; 2050: 60%)
- 20,3% am Bruttostromverbrauch (Ziel 2020: 35%; 2030: 50%; 2050: 80%)
- 11,0% am Endenergieverbrauch für Wärme (Ziel 2020: 14%)
- 5,5% am Kraftstoffverbrauch (Ziel 2020: 10%)
- Vermeidung von 130 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten



Quelle: BMU

Wärmeerzeugung mit Biomasse

■ Kleinfeuerungsanlagen

Kaminöfen	2,6 Mio.	
Heizkamine	2,5 Mio.	In Haushalten bis 50 kW
Kachelöfen	1,8 Mio.	mit Scheitholz und Pellets
Pelletanlagen	80.000 in 2007	
	100.000 in 2008	
	600.000 in 2015?	



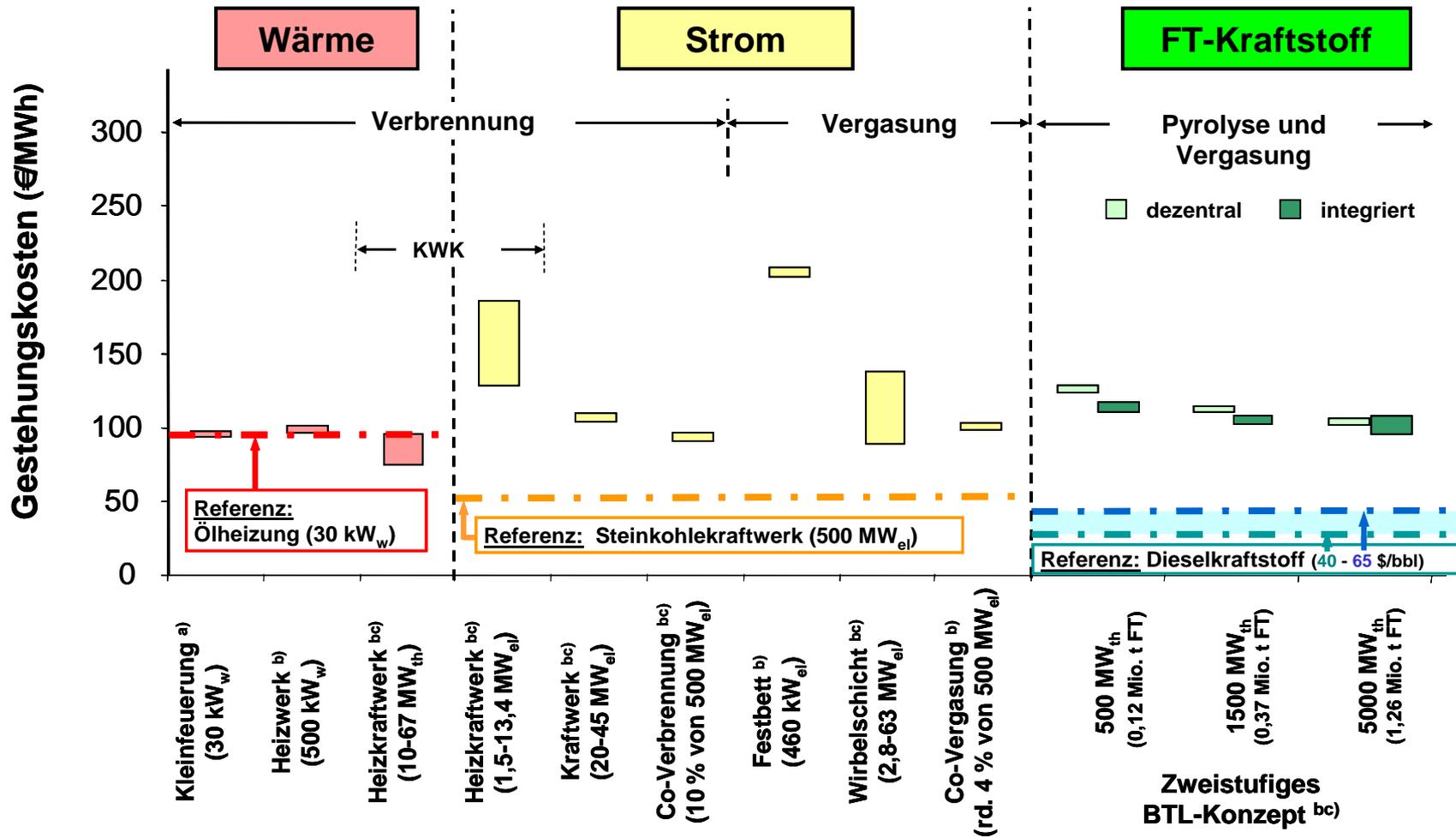
■ 1.100 Heizwerke mit > 500 kW mit Nahwärme Einsatz von Hackschnitzeln, Pellets u.a.

- Heizwärme
- Warmwasser
- Trocknung
- Wärme für Adsorptionskühlung



8 MW_{th} Biomasse-Heizkraftwerk Güssing

Gestehungskosten Erneuerbarer Energien



a) Industrierestholz (Pellets, 92 % TS)

b) Waldrestholz (HS, 50 % TS)

c) Stroh (Quaderballen, 86 % TS)

Quelle: ITAS

Besonderheiten von Biomasse als Rohstoff

■ Chemische Zusammensetzung

■ Eigenschaften

- Heterogene Vielfalt
- Weiträumiges Aufkommen
- Oft geringe Energiedichte

■ Produktion in der Biosphäre

- Nachhaltiger Anbau
- Nährstoffkreisläufe
- Biodiversität und Lebensräume
- Besitz- und Organisationsstruktur

■ Nutzungskonkurrenz

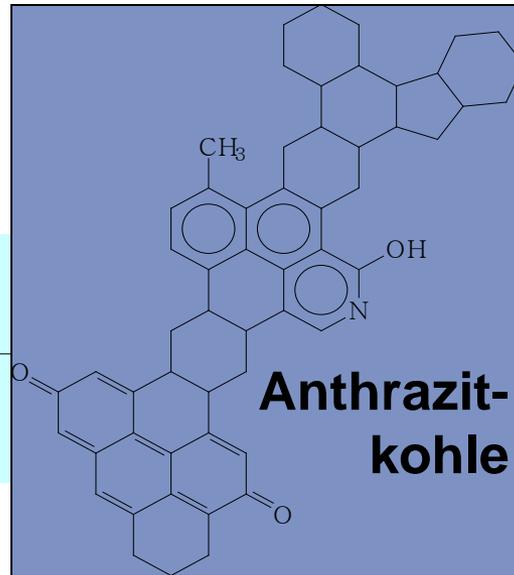
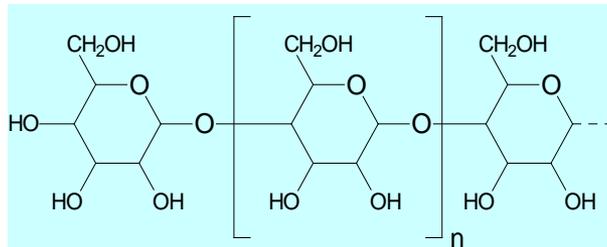
- 5F-Regel: **F**ood > **F**eed > **F**ibre > **F**uel > **F**ertilizer

	Kohle	Braunkohle	Biomasse
C	80-90	60-75	50
H	3-6	6	6
O	2.5-10	17-34	43

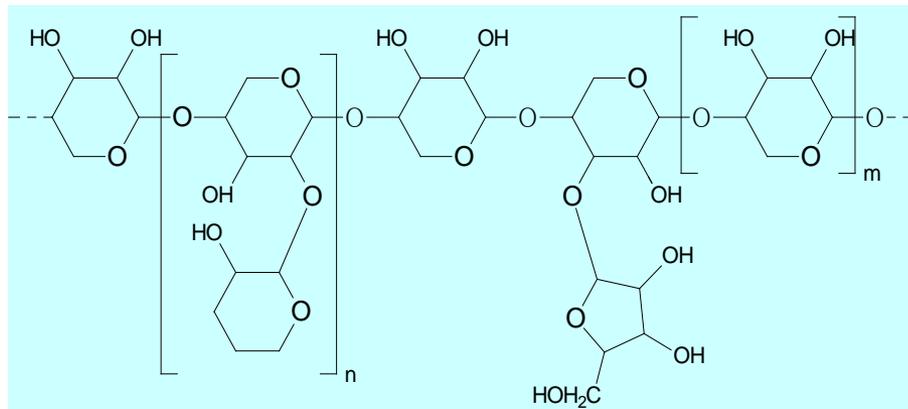
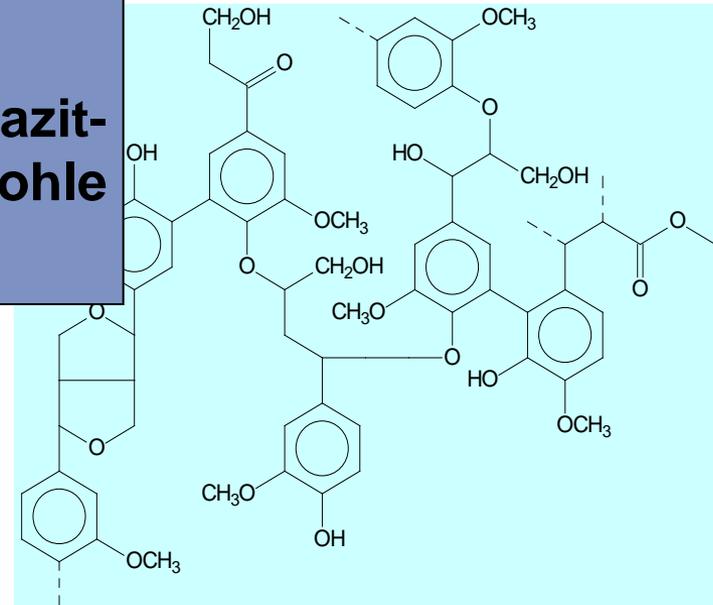
Gewichtsanteile in %(g/g)

Zusammensetzung von Biomasse

Cellulose



Lignin



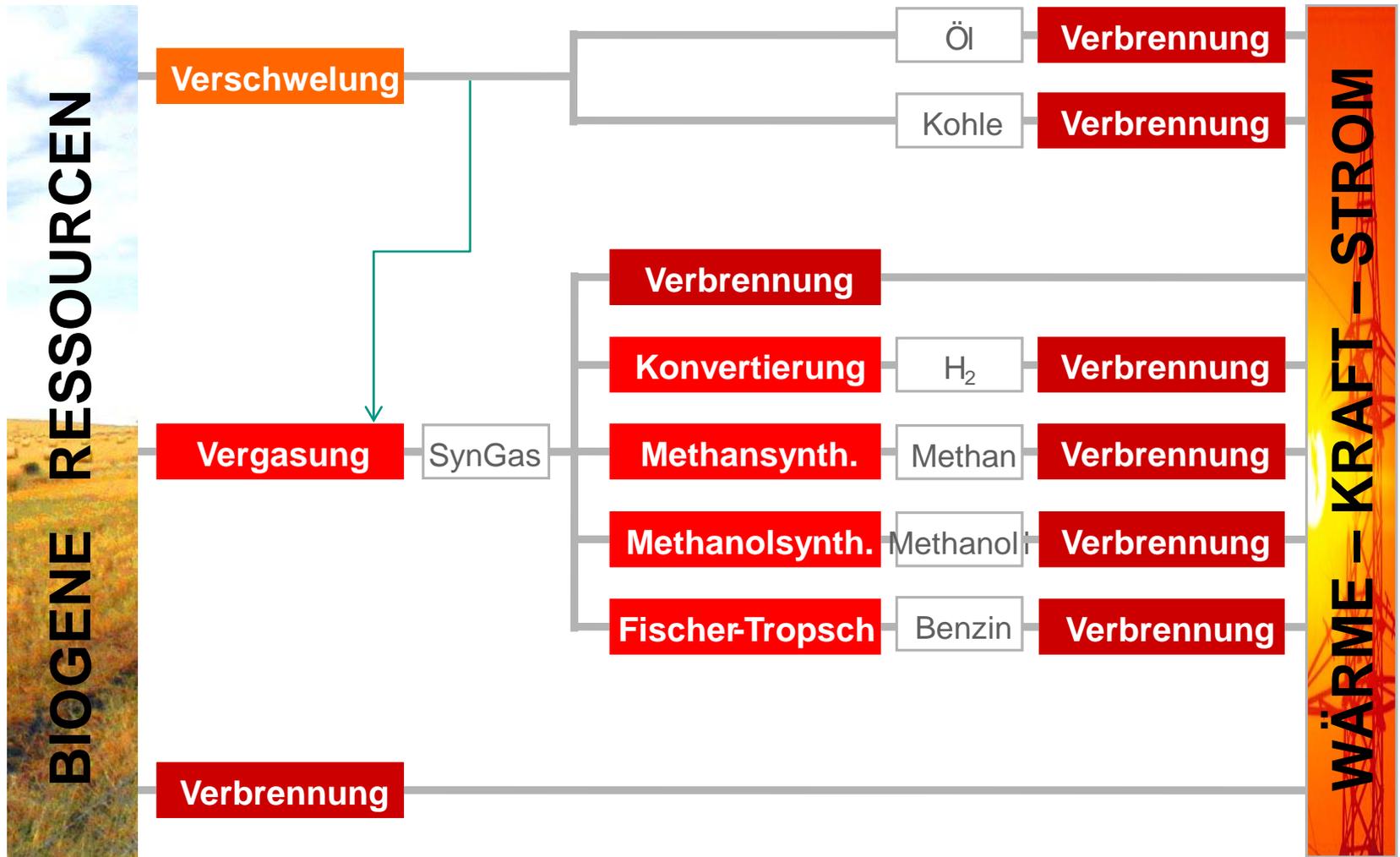
Hemicellulose

Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse

3% des jährlichen Aufwuchses!



Thermochemische Verfahren



Erzeugung und Nutzung von Landbiomasse

nutzbar sind:

Forstwirtschaft (64%)

1,5% Holzabfall
6,0% Brennholz

Landwirtschaft (16%)

2,0% Getreidestroh
0,6% Restbiomasse

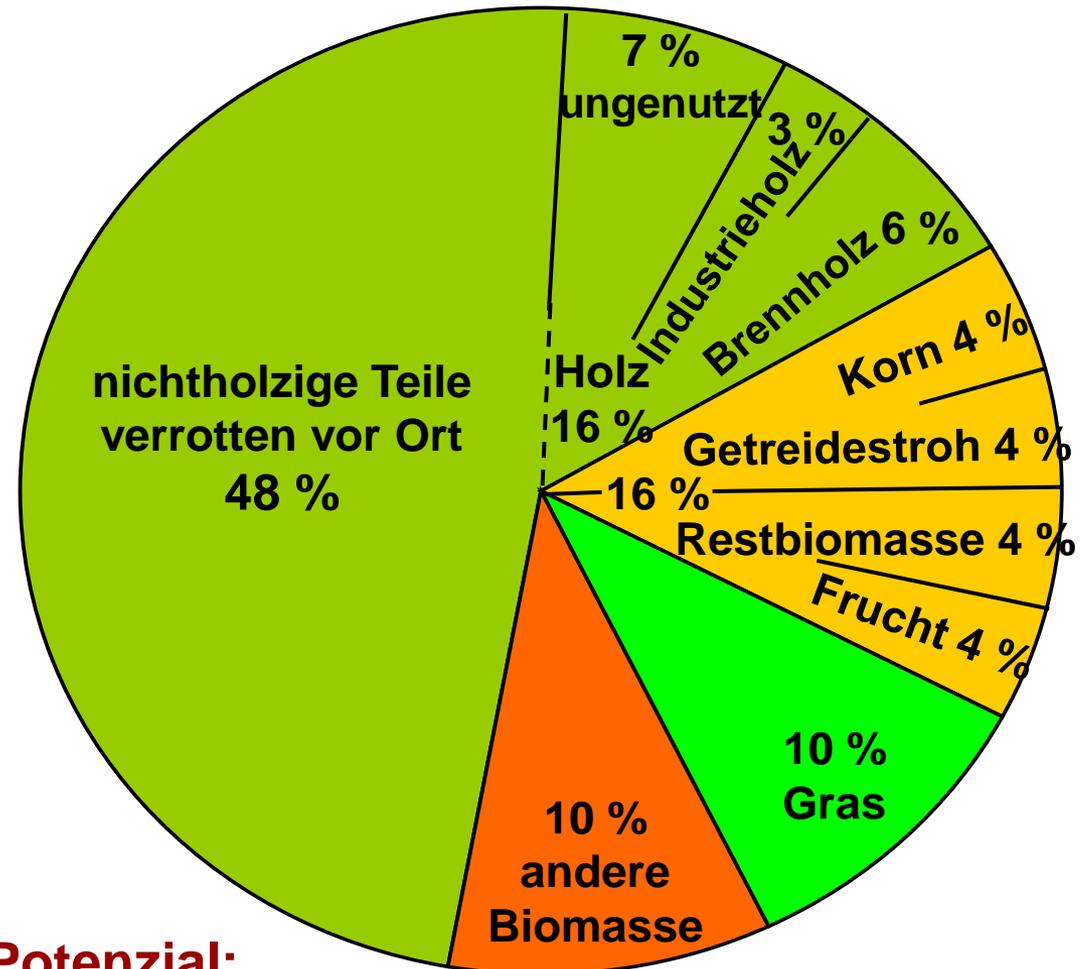
Grünland (10%)

0,4% Pflegegüter

Andere (10%)

0,7% Futterabfall
0,4% Restbiomasse
0,7% Nahrungsabfall

= 12,3 % von 32 Gtoe

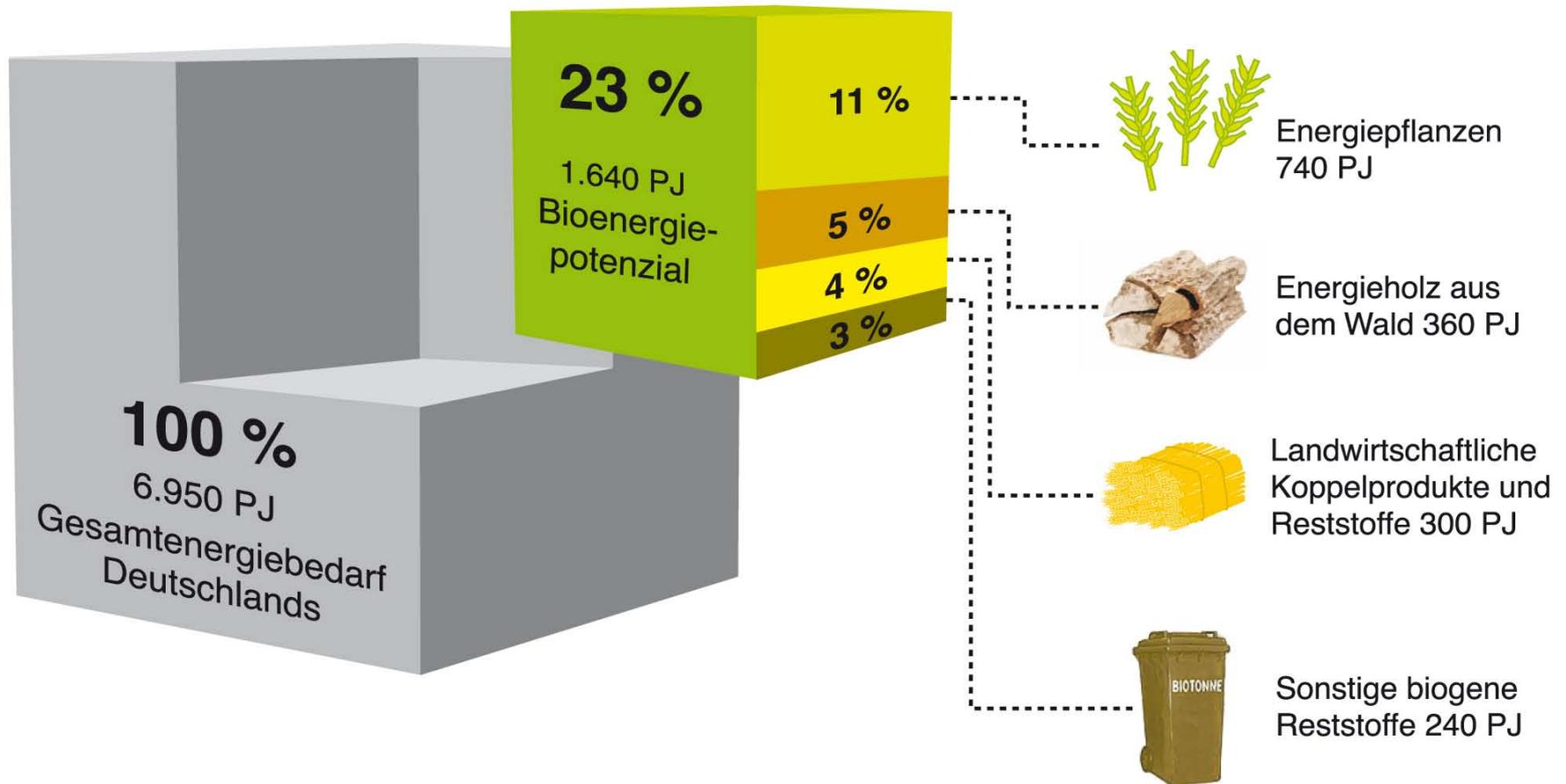


Potenzial:

1 Gtoe in 2000 (10% PEV)

4 Gtoe in 2100?

Einheimische Bioenergie: Was kann sie 2050 leisten?

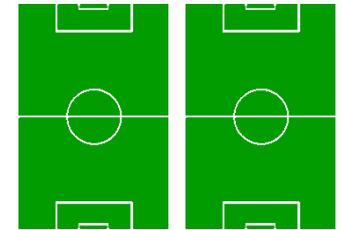


Quelle/Bild: FNR

Zahlen gerundet

Grenzen der Biomasse-Erzeugung

- Landfläche der Erde ca. 150 Mio. km² Land
davon werden etwa 70 % land- und forstwirtschaftlich genutzt
- Pro-Kopf-Fläche für landwirtschaftliche Produkte (ohne Wald)
prinzipiell verfügbare Fläche/Person: 15.500 m²
2300 m² Ackerfläche + 5300 m² Weidefläche
- Wasserbedarf 300 – 800 kg pro kg trockene Biomasse!
- Wirkungsgrad der Photosynthese an Land ca. 0,3%,
(z. B. Getreide 10 t/ha a, Energiemais bis 30 t/ha a)
- Produktionsleistung ca. 0,5 W/m², im Jahr 5 kW/ha bzw.
(mittlere Sonneneinstrahlung: 118 W/m², im Jahr 1100 kWh/m²)



- Einsatz genveränderter Pflanzen (GVO)
 - Kurzumtriebsplantagen (für Bioenergie)
 - „Neue“ und alte Energiepflanzen
 - Verzicht auf subventionierte Überschüsse
 - Nutzung von Brachflächen (Stilllegungsflächen)
 - (Um)Nutzung von Reststoffe (Stroh)
 - Intensivierung
 - Einsatz von Maschinen
 - Bewässerung
 - Düngemiteleinsetzung
- ⇒ stärkere Beanspruchung von Fläche und Ressourcen



Rechenbeispiel: Globale Auswirkungen

1. Ausbau der Biokraftstoffe auf 5% (120 Mio.t von 2,4 Mrd.t Kraftstoff) könnte bedeuten:

Bioethanol: 70 Mio.t

⇒ 320 Mio.t Getreide
= 15% der Weltgetreideernte

Biodiesel: 50 Mio.t

⇒ 130 Mio.t Ölsaaten
= 30% der Weltölsaaten

Veredlungsverluste Fleischerzeugung

- Getreide weltweit: 2.060 Mio.t/a
 - Fleisch weltweit: 226 Mio.t/a
 - Futtermittelverwertung: Faktor 5 für Fleisch
- ⇒ 1.130 Mio.t/a für Fleischproduktion
d.i. ca. 1/2 der Weltgetreideproduktion!

- ⇒ „Tank oder Teller“-Diskussion ist eine „Steak oder Tank“-Frage!
- ⇒ Auswirkungen auf Getreide- und Ölsaatenmarkt!
- ⇒ Biokraftstoffe der 1. Generation allein können global keinen signifikanten Beitrag leisten (aber regional!)
- ⇒ intelligenter Mobilitäts-, Kraftstoff- und Rohstoff-Mix!

Biokraftstoffe

■ 1. Generation

- Alkohole aus Zucker/Stärke
(Zuckerrohr und -rüben, Getreide,....)
- Pflanzenöl für Agrar- und Biodiesel, HVO (Kerosin)
(Raps, Soja, Palmöl, Jatropha?.....)



⇒ **Stand der Technik**

■ 2. Generation

(Synthetische BtL Kraftstoffe, Alkohol aus Cellulose,
aus Reststoffen der Land- und Forstwirtschaft ...)

⇒ **Entwicklung**



■ 3. Generation

(Mikrobielle Kraftstoffe, Öl aus Mikroalgen.....)

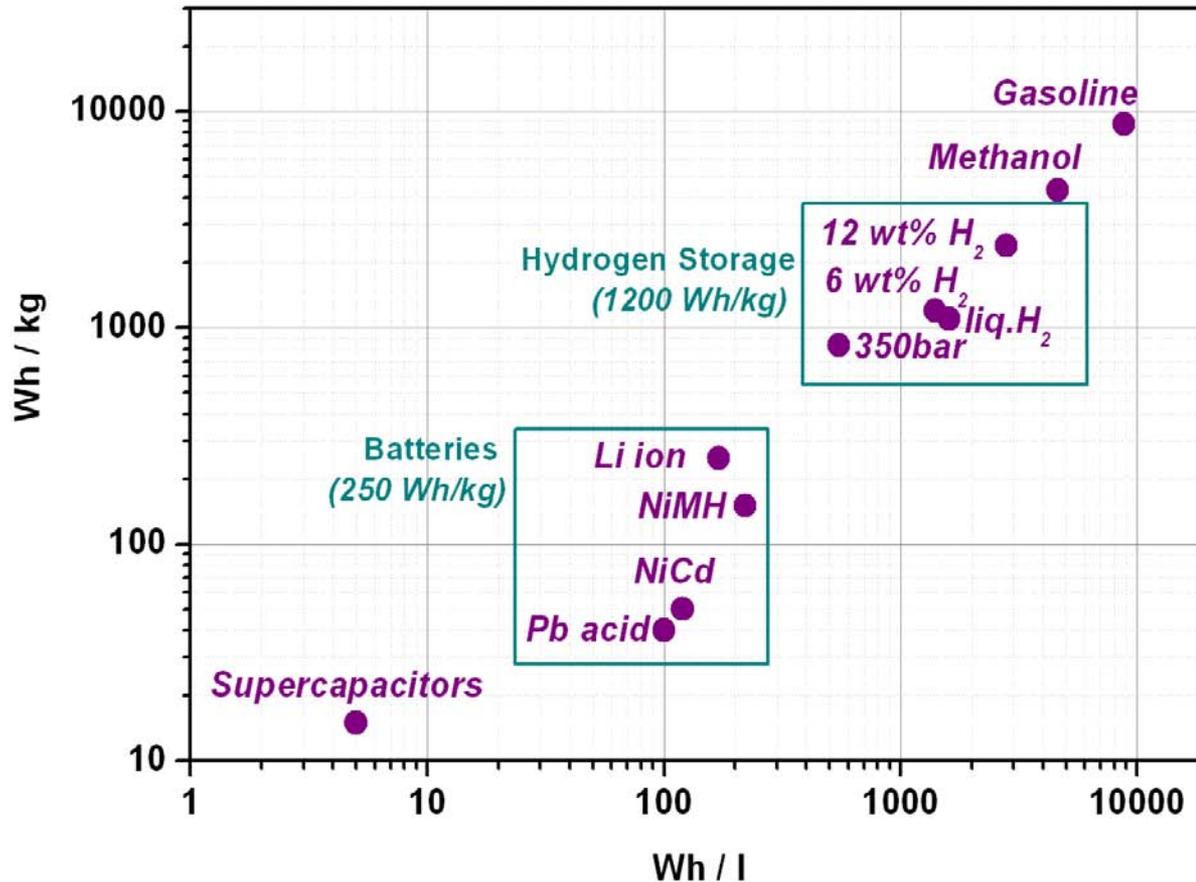
⇒ **Forschung**



Biokraftstoffe - Übersicht

Kraftstoffart	Einsatzstoffe	Ertrag GJ/ha	CO ₂ -Einsparung t/ha
Dieselsubstitute			
Pflanzenöl (FA)	Rapsöl	35	3
FA-Methylester	Soja-, Raps-, Palmöl	20,38,75	1,3,9
Hydrierte FA		35	5,5
BtL (Fischer-Tropsch)	Lignocellulose	114	10
Benzinsubstitute			
Bioethanol	Getreide, Zuckerrohr	50-120	3,7-10
Bioethanol	Lignocellulose	20	1,5
BtL (MtG, DtG)	Lignocellulose	114	10
Gassubstitute			
Biogas	Gülle, Grünpflanzen, org. Abfälle	130	7,4
Biowasserstoff	Lignocellulose	120	~10
BtL (DME)	Lignocellulose	-	~10

Speicherdichten in der Mobilität



⇒ Flüssigkraftstoffe haben unerreicht hohe Speicherdichten und eignen sich vor allem deshalb für mobile Anwendungen!

Quelle: Fichtner, INT

Die ersten Tankstellen der Welt waren Apotheken



1886 Benz „Ligroin (Waschbenzin)“

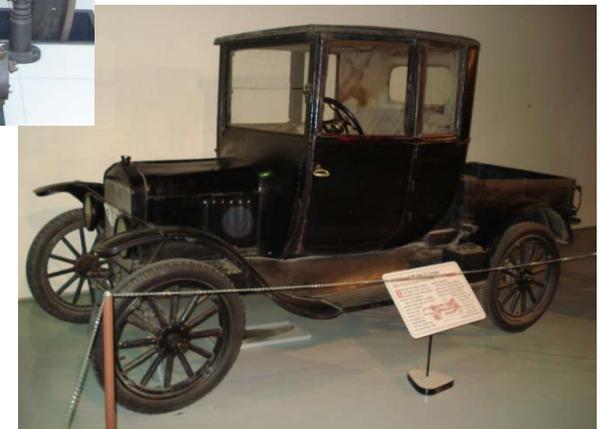


Diesel 1906
„Erdnussöl“



1926 Broods
Steamer
„Paraffinöl“

Ford Modell T
„Bioethanol“



Fahrzeuge mit Holzvergaser

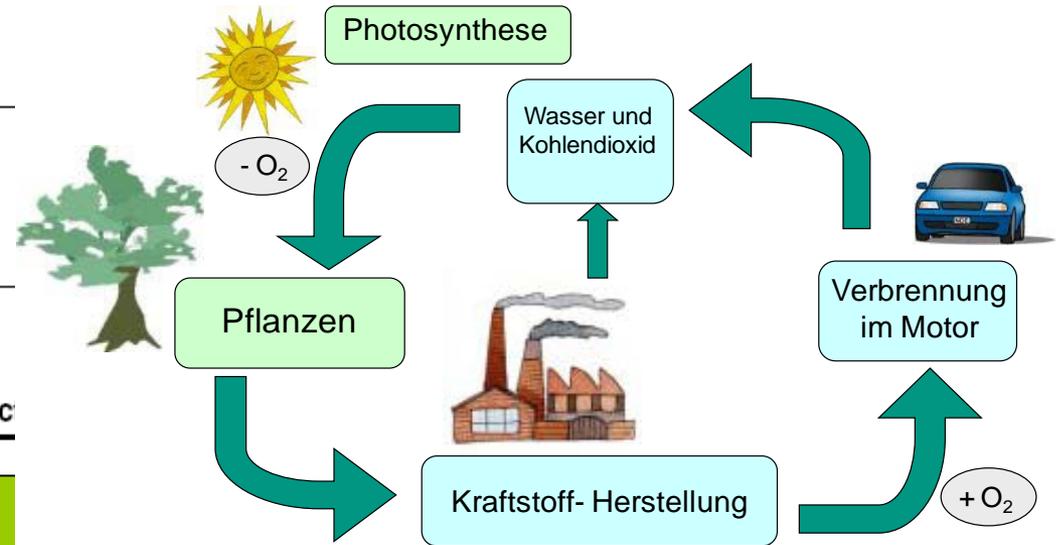
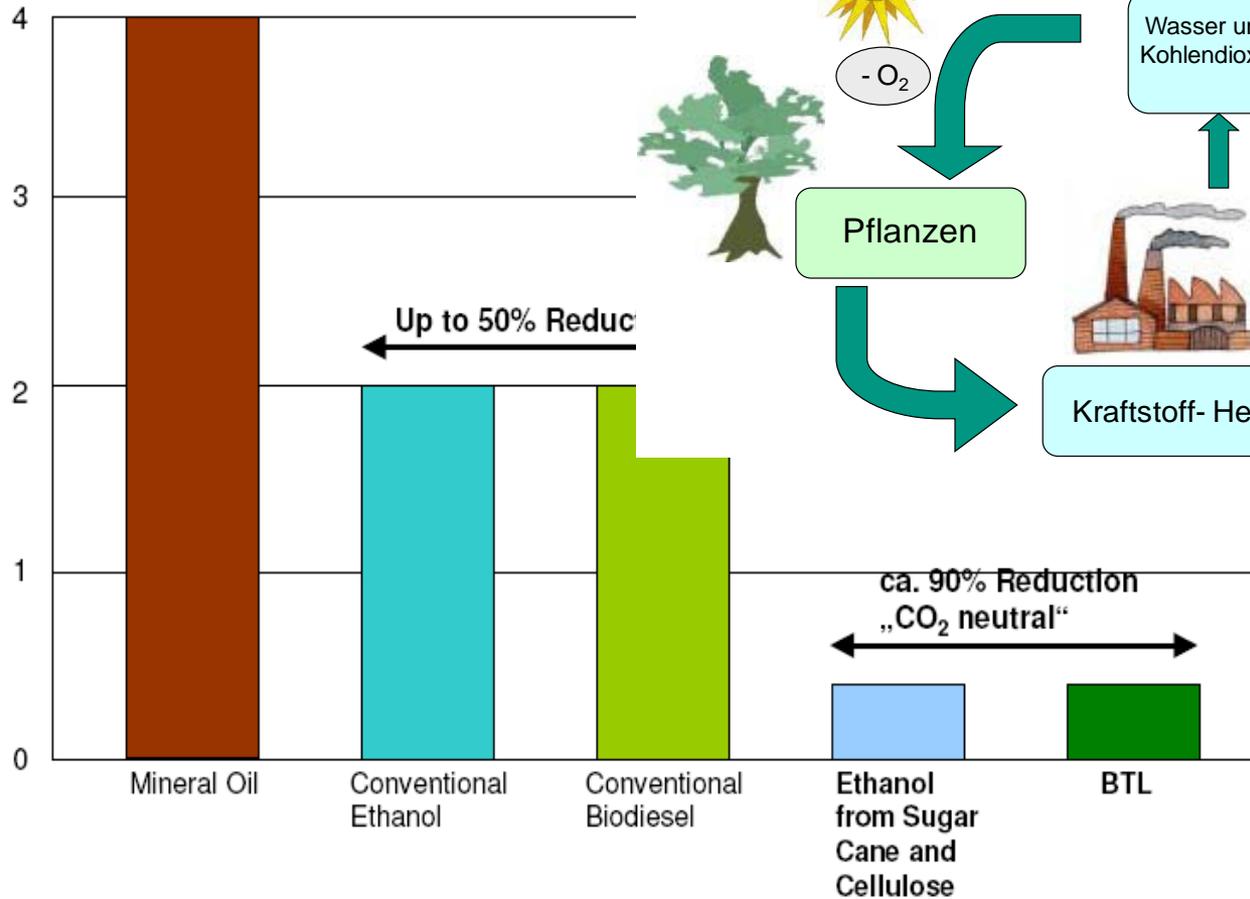


Kraftstoff für 80 km:
ein Sack trockene
Buchenholzstücke

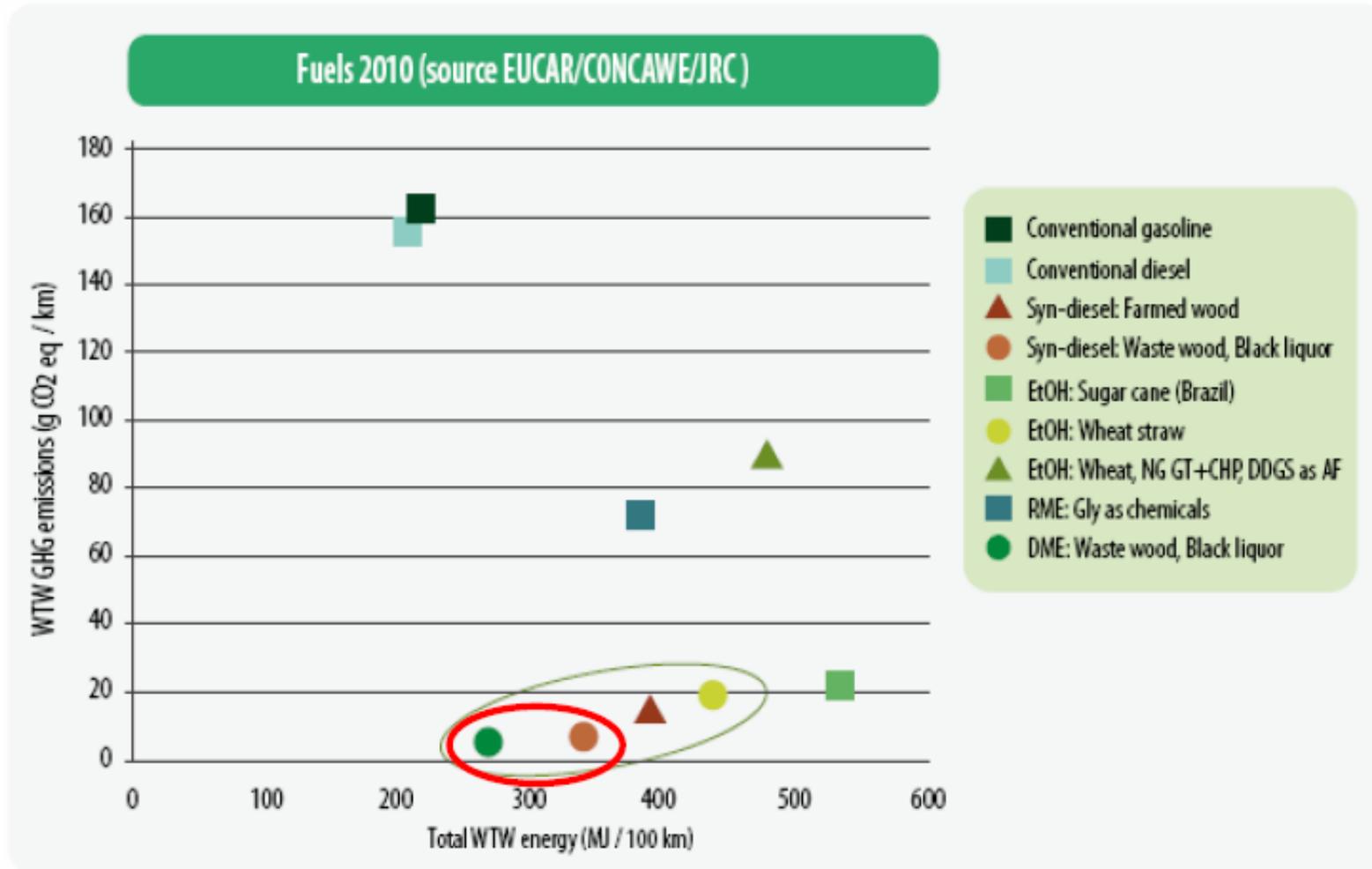


CO₂-Emissionspotenziale

tons CO₂ / ton of Fuel

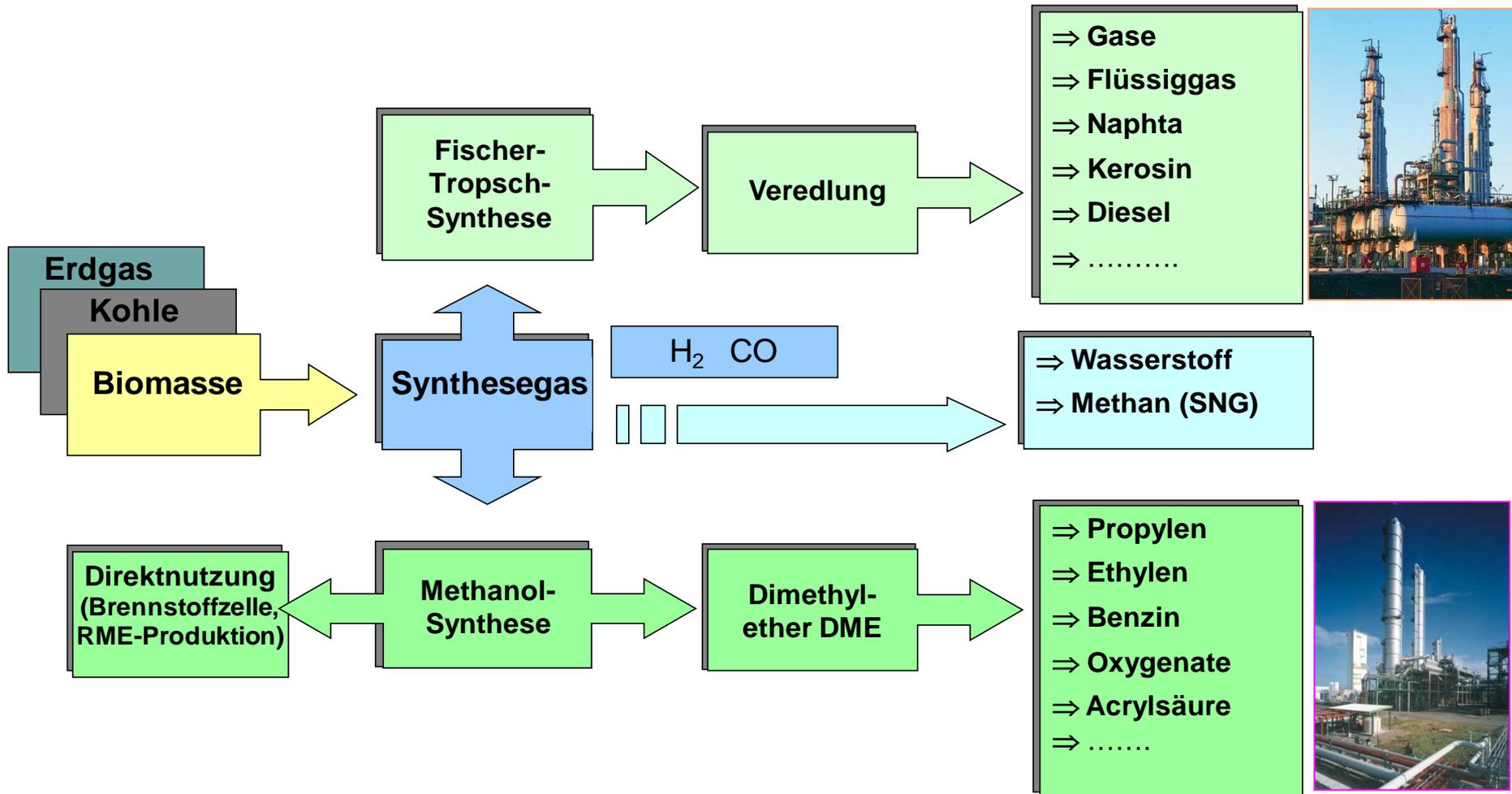


Source: Shell, EU GM LBST Report, Concawe Bio-fuel Report 2002



Quelle: Europ. Biofuels Techn. Platform, 2008

Chemische Pfade zu Syntheseprodukten



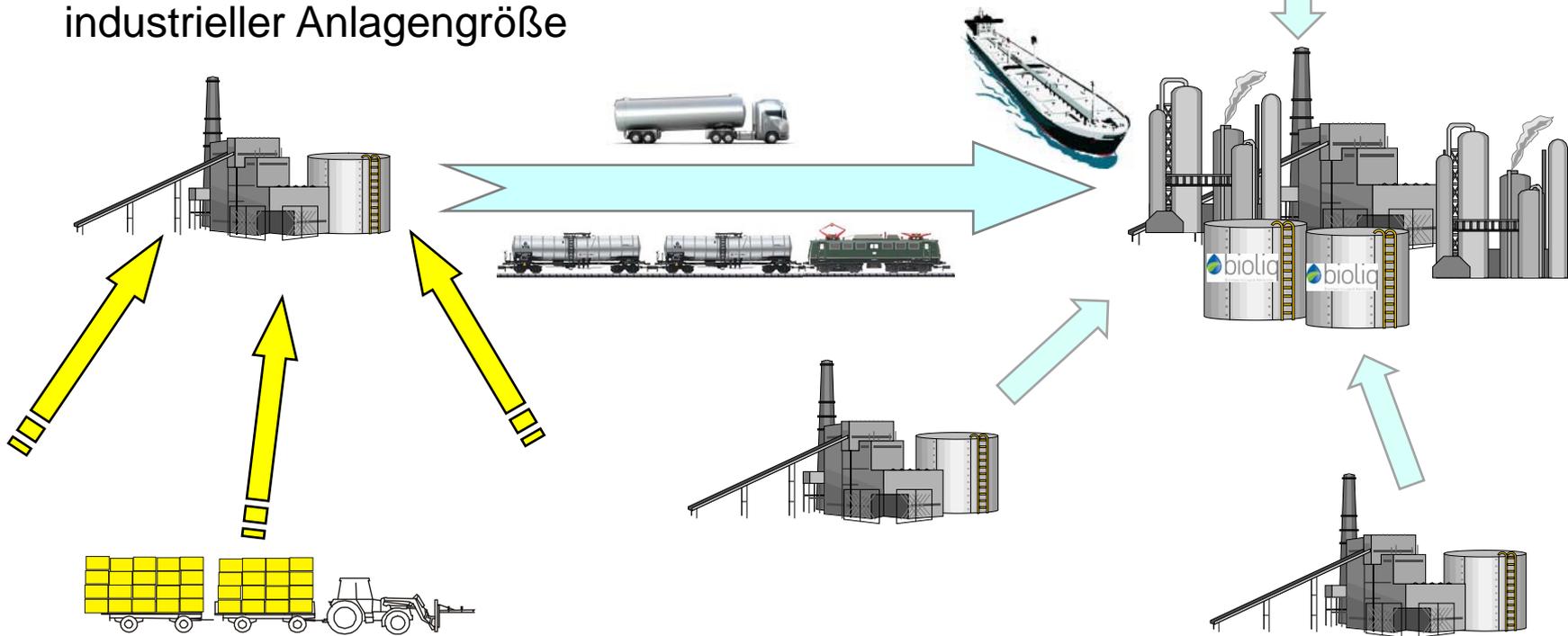
Einsatzstoffe

- **Landwirtschaft**
 - Stroh, Heu,
 - Energiepflanzen
 - Kurzumtriebsplantagen
- **Forstwirtschaft**
 - Waldrestholz
- **Landschaftspflegegut**
 - Gehölzschnitt
 - Pflegeheu
- **Organische Reststoffe**



Das dezentrale/zentrale - Konzept

- Energieverdichtung durch BioSyncrude-Erzeugung von Biomasse in regional verteilten Anlagen
- Wirtschaftliche Umwandlung zu Synthesegas und weiter zu Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen in industrieller Anlagengröße

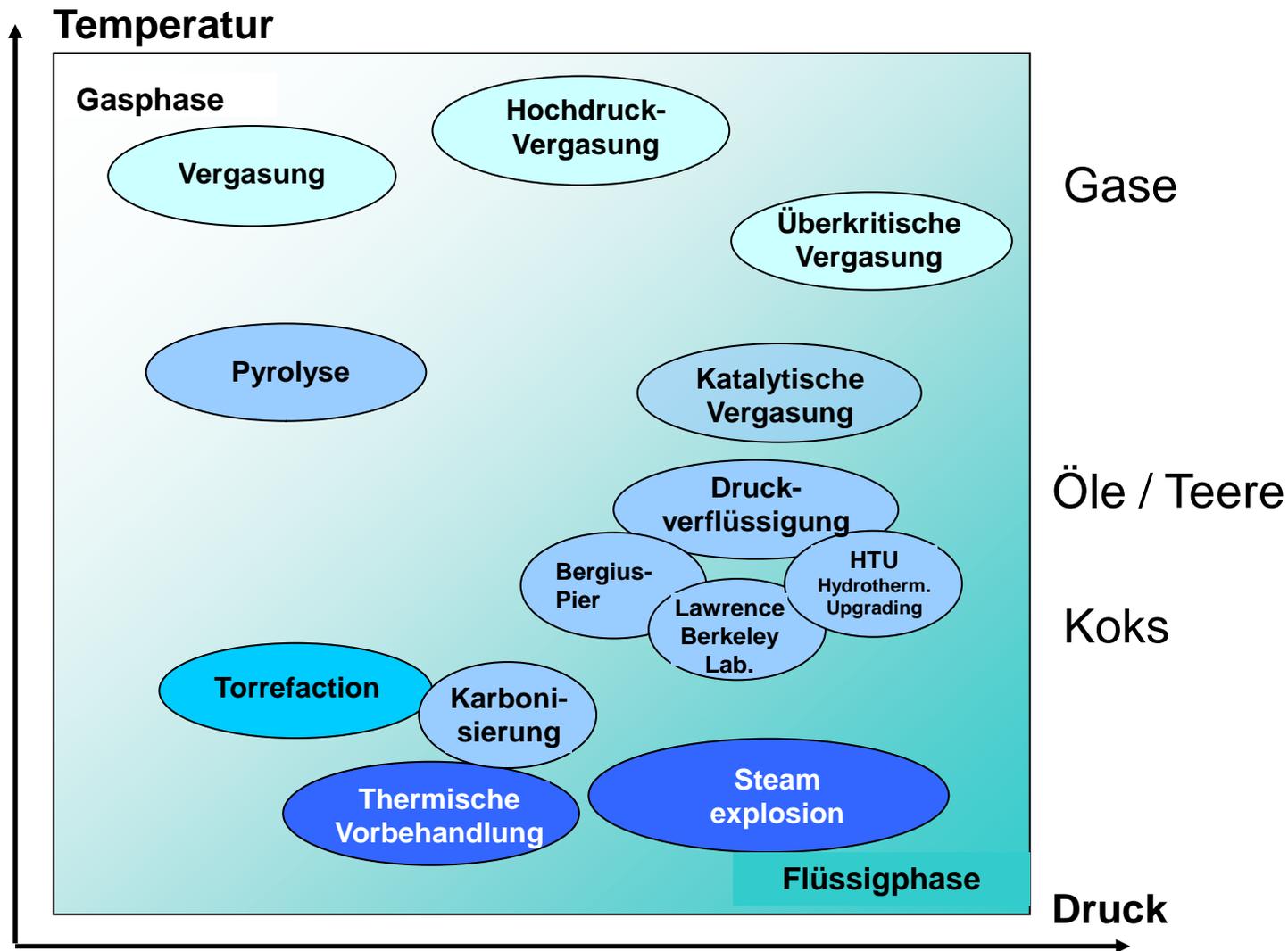


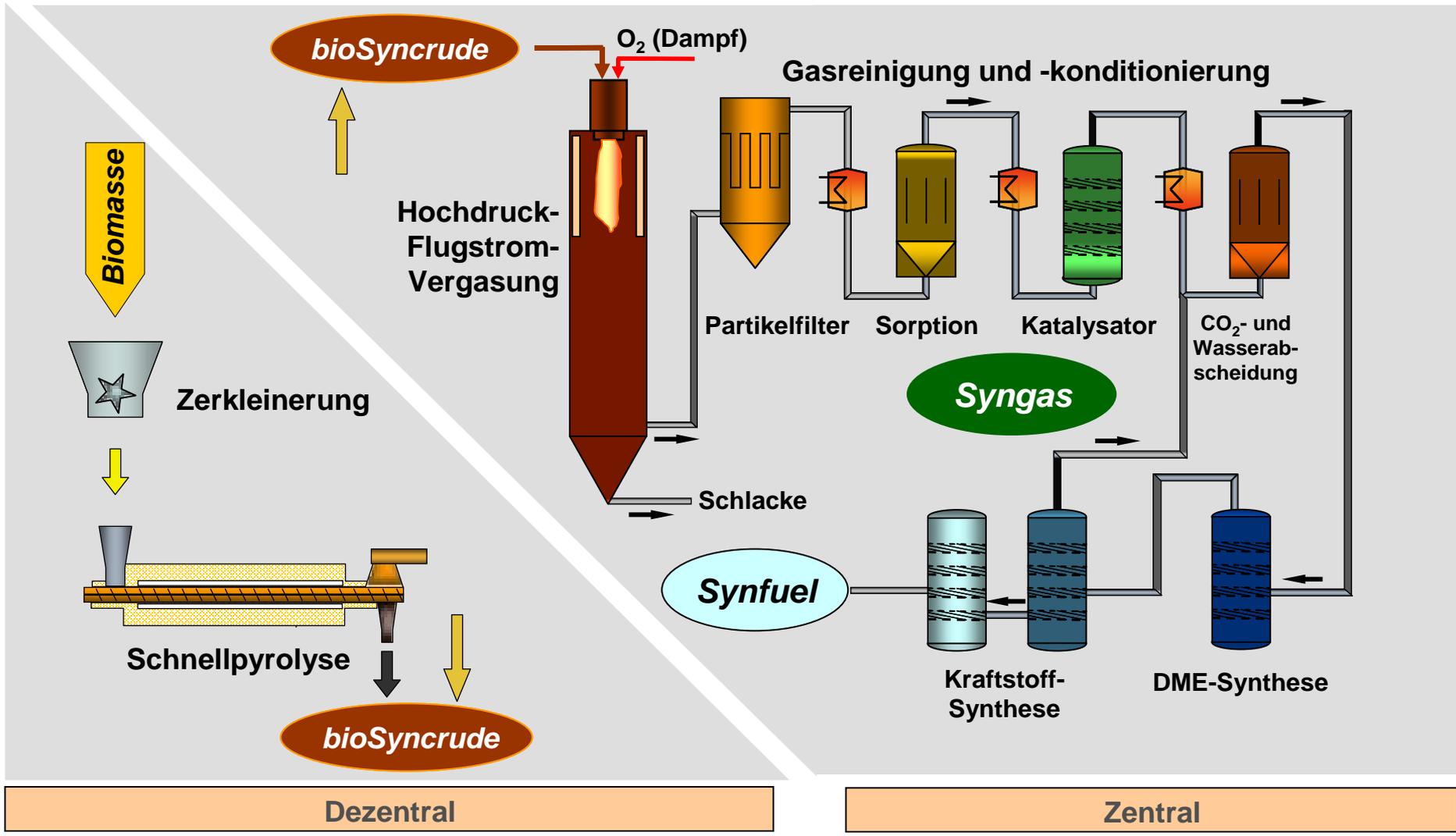
Energiedichte: 2 GJ/m³

25 GJ/m³

36 GJ/m³

Thermochemische Prozesse





Die bioliq-Pilotanlage am KIT

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Prozess	Schnellpyrolyse + BioSyncrude Herstellung	Hochdruck-Flugstromvergasung	Heißgasreinigung + DME-Synthese	Kraftstoffsynthese
Produkt	BioSyncrude	Synthesegas	DME	Benzin
Kapazität	2 MW (500 kg/h)	5 MW (1 t/h)	150 kg/h	100 l/h
Realisierung	2005 - 2008	2008 - 2012	2009 - 2012	
Stand	In Betrieb	Inbetriebnahme		
Partner	Lurgi/Air Liquide + MAT Mischanlagentechnik	Lurgi/Air Liquide	MUT Advanced Heating Chemieanlagenbau Chemnitz	

Die bioliq-Pilotanlage am KIT



Stufe I: Schnellpyrolyse

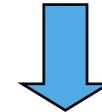
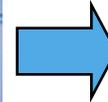
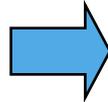
Biomasse-Zerkleinerung



Schnellpyrolyse



Pyrolyseprodukte



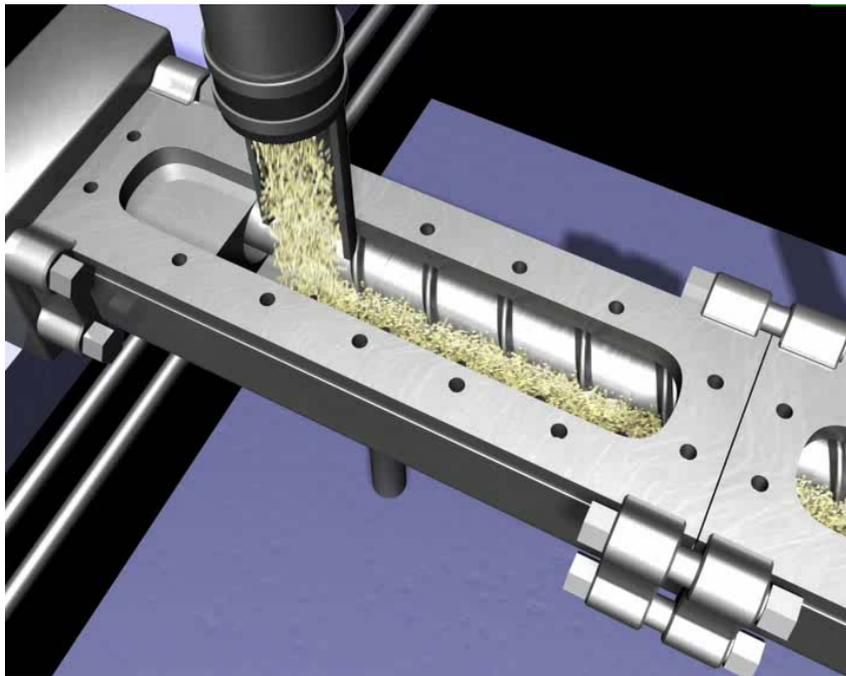
Biomasse-Lagerung



BioSyncrude-Herstellung

Stufe I: Schnellpyrolyse

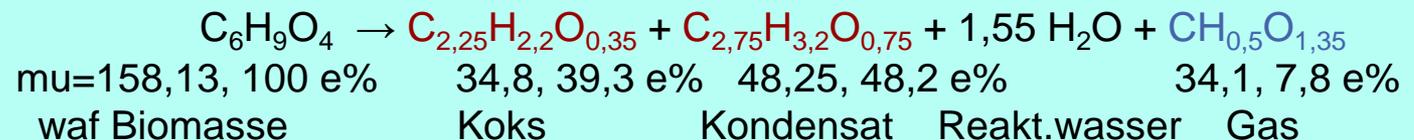
- Schnelle thermische Zersetzung der Biomasse im bei ca. 500 °C,
- Wärmeübertragung durch Sand, der im Kreislauf gefahren wird
- Vermischung von Pyrolysekoks- und öl zu BioSyncrude



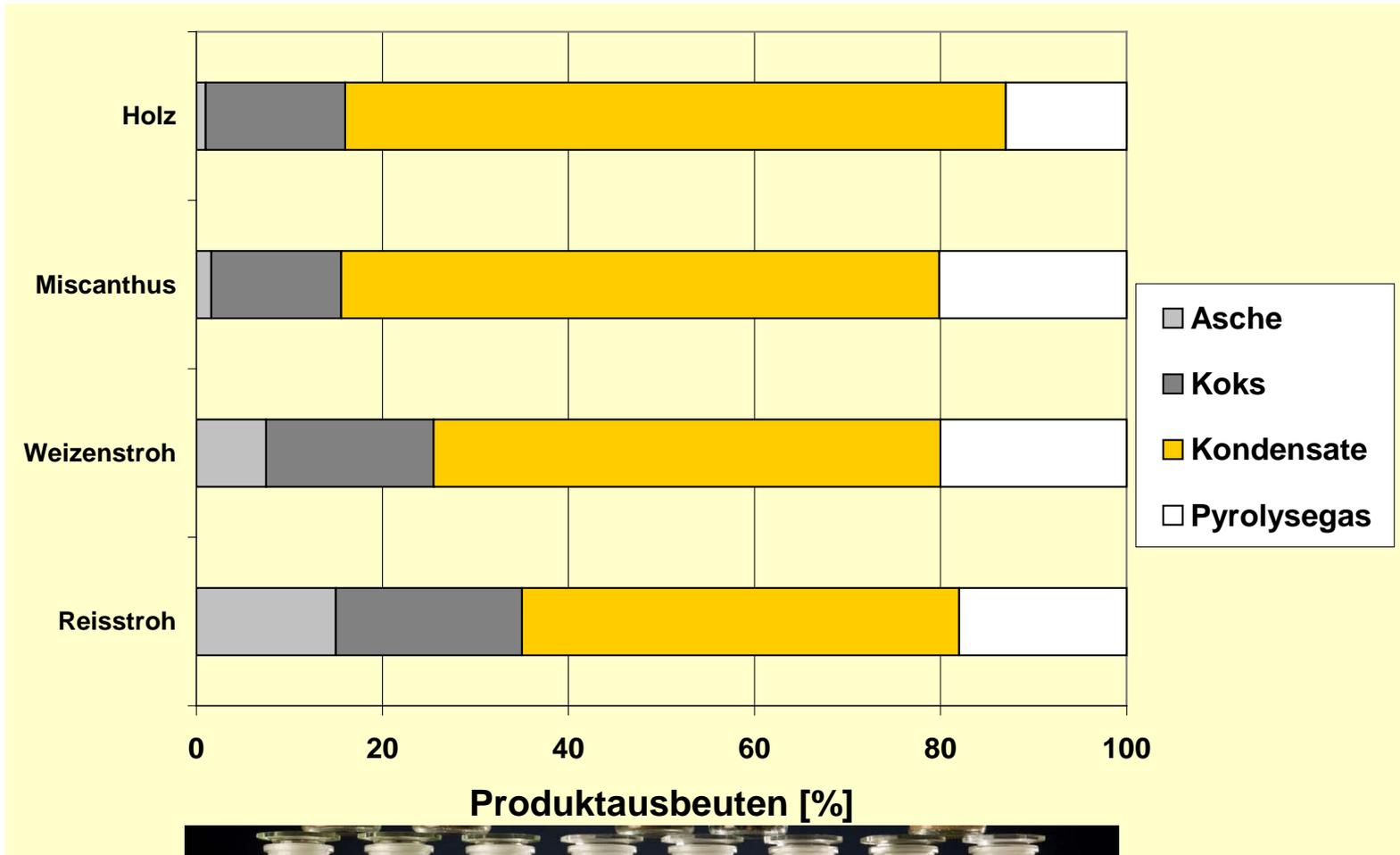
Koks + Pyrolyseöl ⇨ BioSyncrude

⇨ Erhalt von ca. 85% der Energie der Ausgangsbiomasse

Pyrolyse

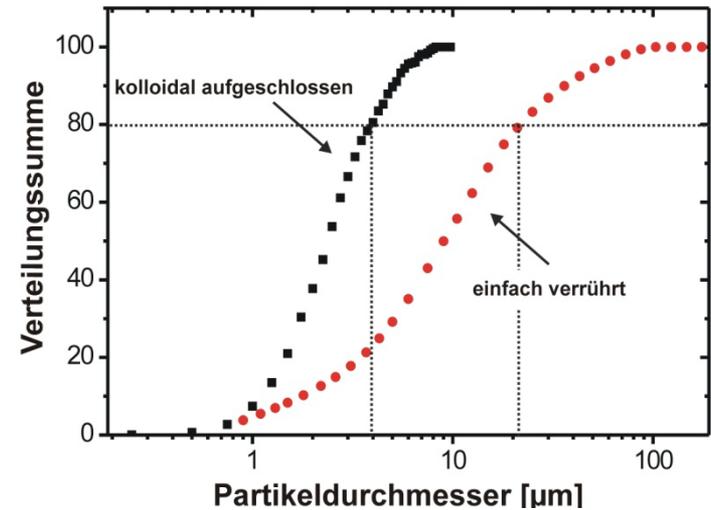
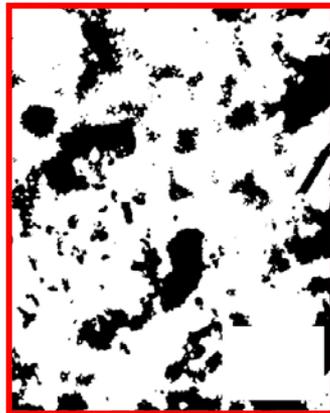


Schnellpyrolyse unterschiedlicher Biomassen

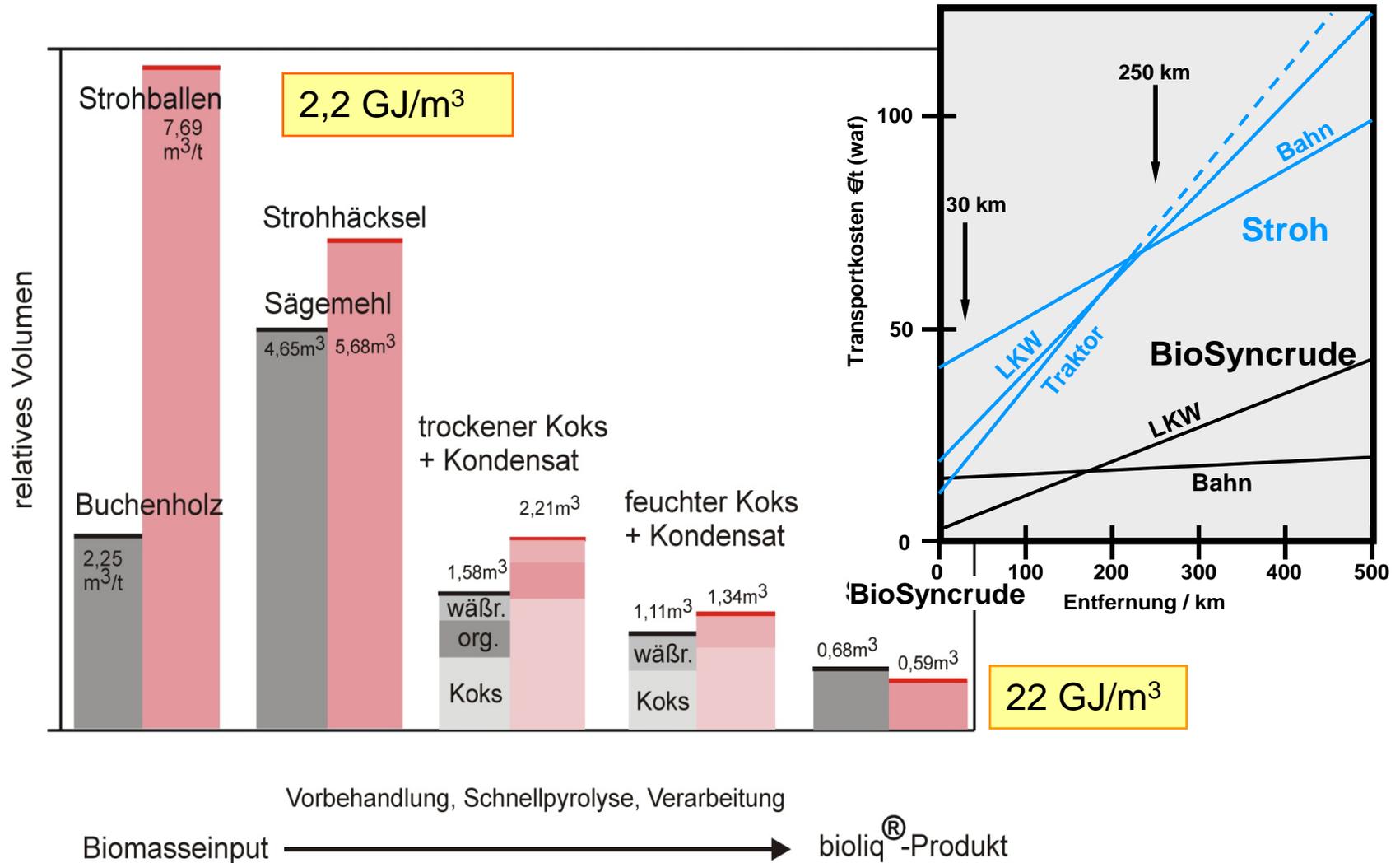


BioSyncrude

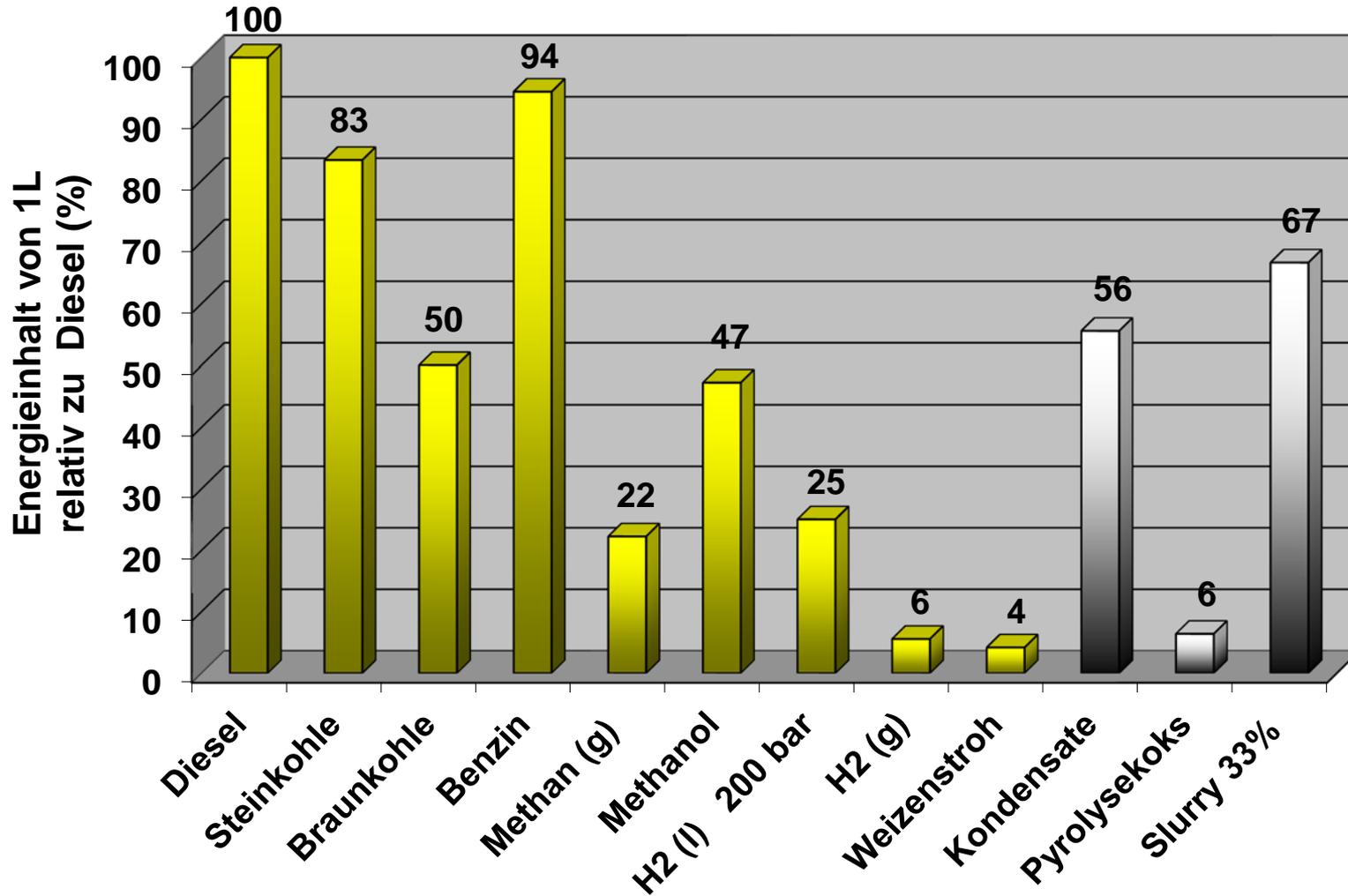
- Fließfähige, stabile Suspension für Transport und Lagerung
- Zerstäubungsfähig zur Vergasung
- Niedrige Gefährdungseinstufung
- Mit wenig Aufwand herstellbar



Energieverdichtung mit BioSyncrude



Energiedichten im Vergleich

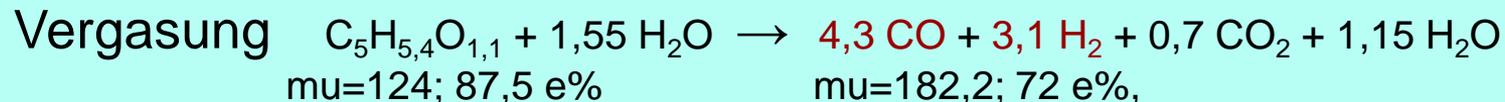


Hochdruck-Flugstromvergaser

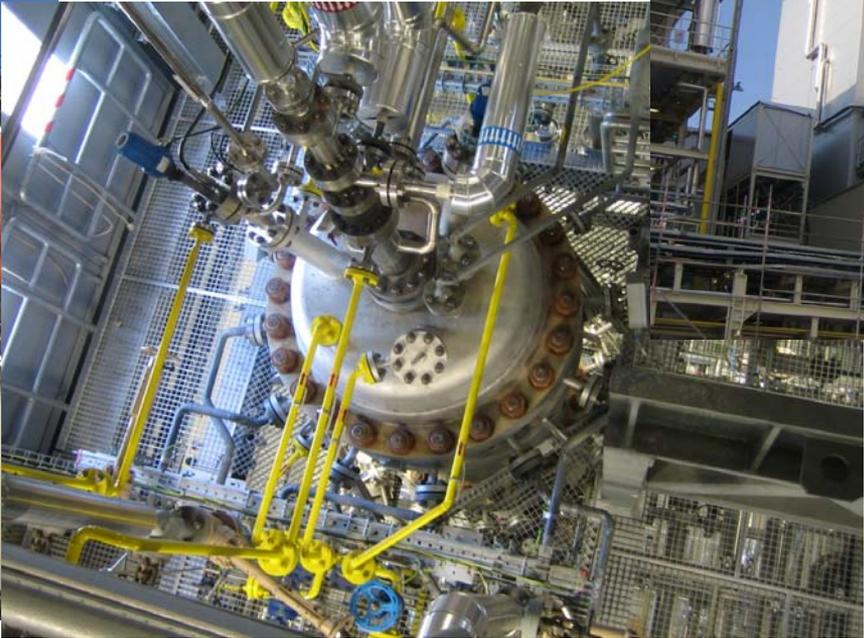
- Geeignet für Asche-reiche Brennstoffe
- Flexibler Betrieb mit Sauerstoff als Vergasungsmittel
- Technischer Nachweis durch Versuchskampagnen am 3-5 MW-Pilotvergaser in Freiberg mit 70 t BioSyncrude

⇒ teerfreies, methanarmes Syngas bei Synthesedruck ohne Zwischenkompression

Komponente	Vol%
H ₂	20 – 25
CO	25 – 37
CO ₂	12 - 18
CH ₄	0 - 1
H ₂ O	25 - 30
O ₂	0

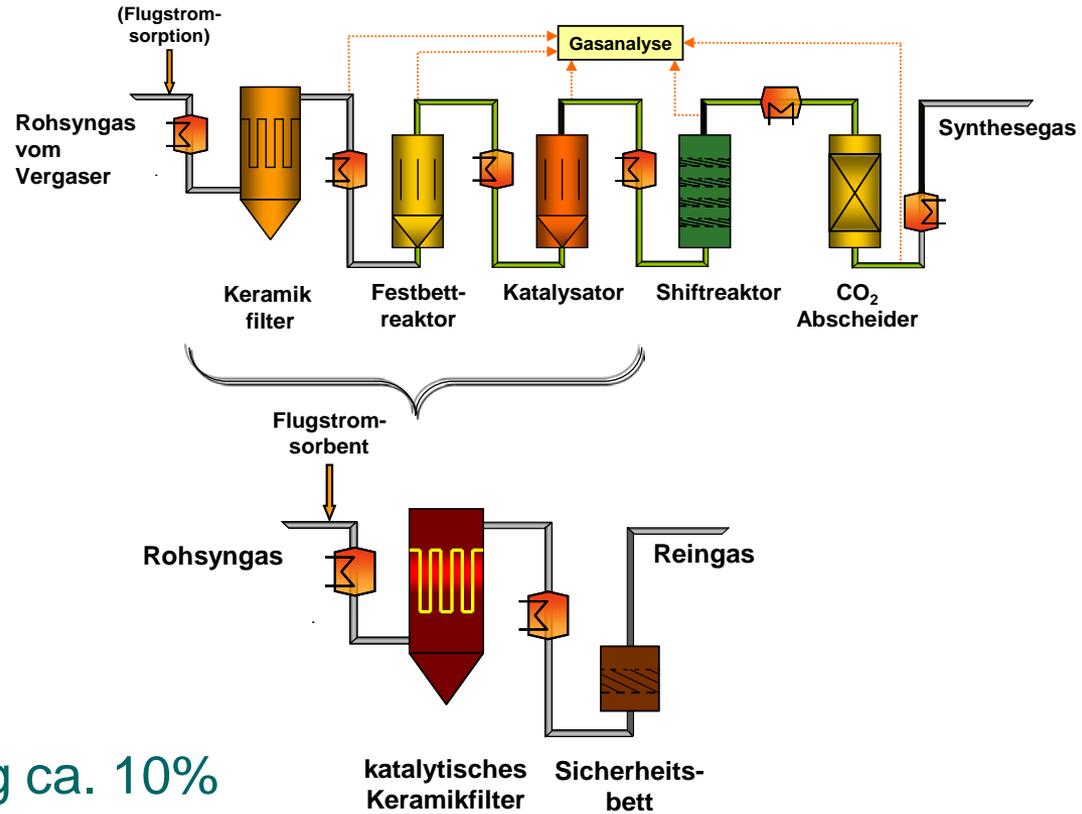


Flugstromvergaser



Stufe IIIa: Hochtemperatur-Gasreinigung

- HTHP-Trockensorption zur Abtrennung von Sauergasen und Alkalien
- Katalytische Zersetzung von organischen und stickstoffhaltigen Verbindungen
- CO₂-Abtrennung (optional)
- 700 Nm³/h Synthesegas (40 Bm³/h bei 80 bar, 800 °C)



- ⇒ Mögliche Energieeinsparung ca. 10% gegenüber konventioneller Gasreinigung
- ⇒ Prozessintensivierung durch Integration mehrerer Prozessschritte

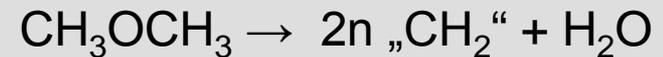


Stufe IIIb/IV: DME- und DtG- Synthese

- Direktsynthese von DME mit Mischkatalysator bei 250 °C, 60 bar
 - Benzinsynthese durch Zeolithkatalysierte
 - Dehydratisierung
 - Oligomerisierung
 - Isomerisierung von DME bei 350 °C, 25 bar
- ⇒ Keine Einstellung des CO/H₂-Verhältnisses
- ⇒ Effizientere Technologie
- ⇒ Verbessertes Produkt



Chemieranlagenbau Chemnitz GmbH

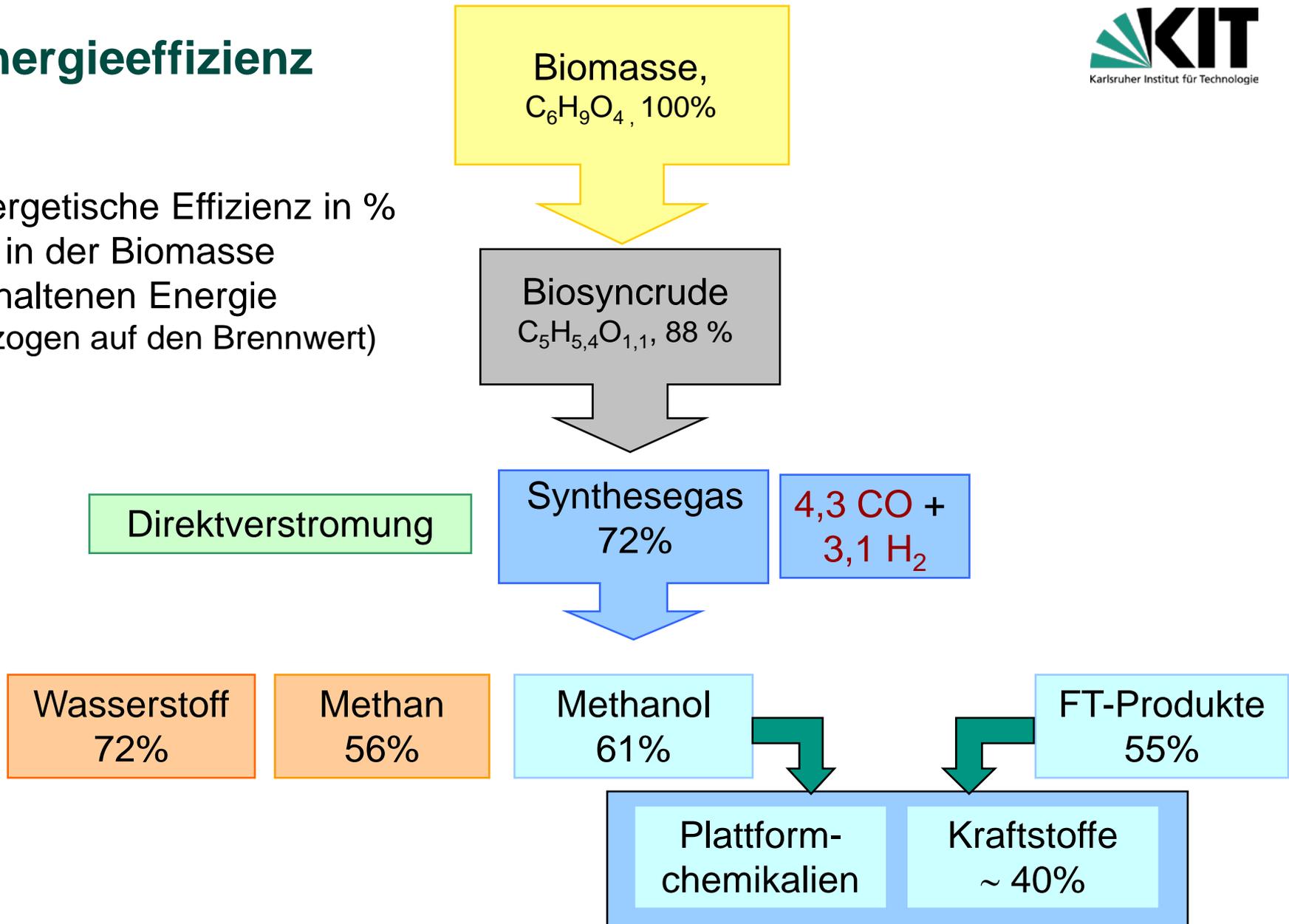


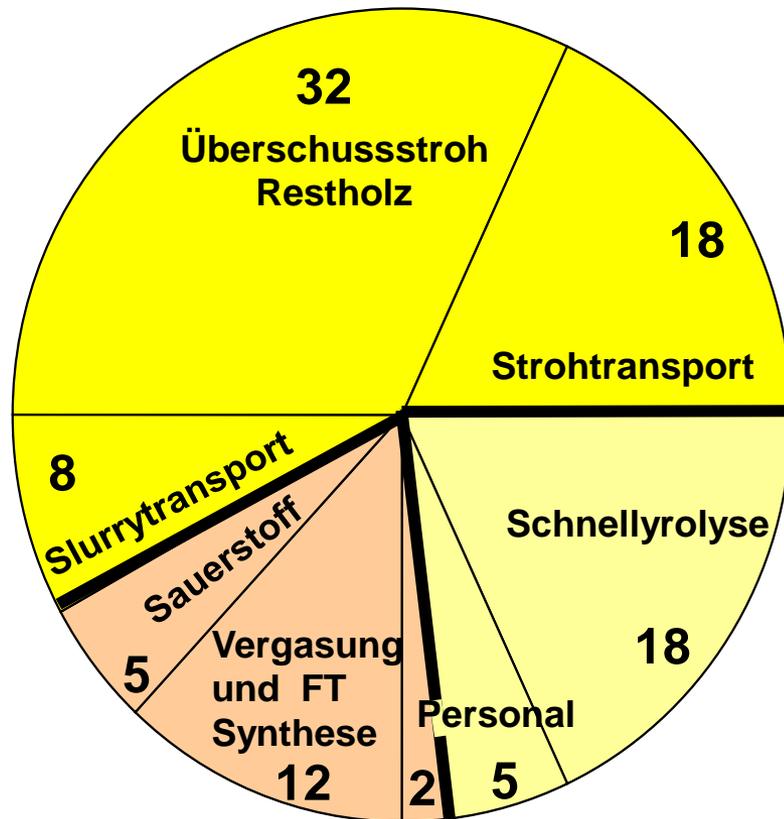
Syntheseanlagen



Energieeffizienz

Energetische Effizienz in %
der in der Biomasse
enthaltenen Energie
(bezogen auf den Brennwert)





40 Pyrolyseanlagen (20 M€)
Kapazität ~ 0,2 Mt/a lufttrockenes Stroh

BioSyncrude ↓ **Transport**

zentrale Vergasungsanlage (500 M€)
Synfuel-Kapazität ~ 1 Mt/a

Grobe Kostenabschätzung:

Diesel aus Erdöl ~ 0,5 €/kg
Synthesekraftstoff ~ 1,0 €/kg

Teurer auf Grund von:

- hohem spezifischen Durchsatz
- kleineren Anlagen
- festem Einsatzmaterial

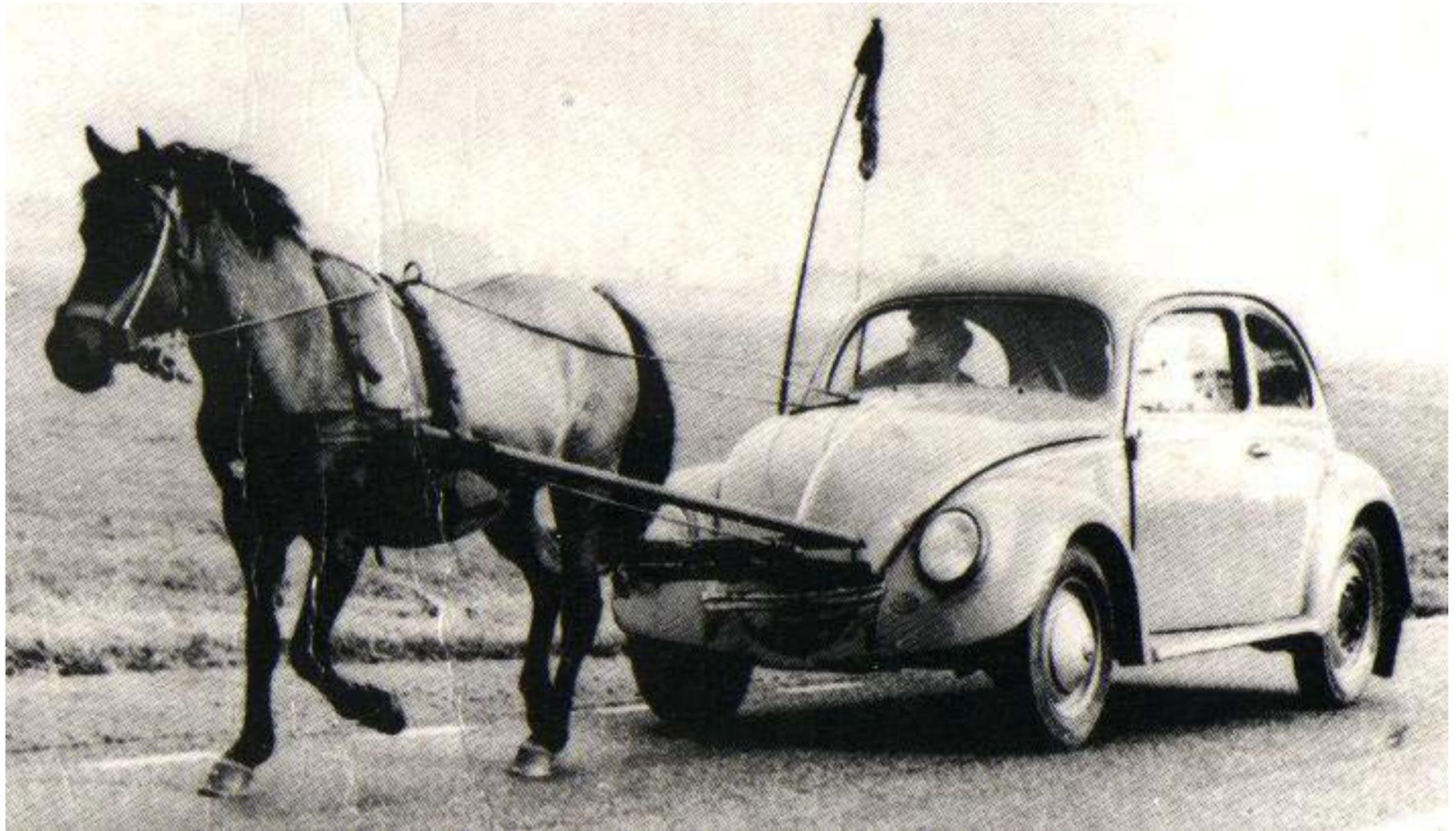
Zusammenfassung bioliq

- Erzeugung hochwertiger Syntheseprodukte
⇒ hohe Wertschöpfung, innovative Technologie
- Verwendung vieler Arten von Biomasse
⇒ großes Einsatzstoff-Spektrum
- Keine Konkurrenz zur Flächennutzung
⇒ Verwendung von biogenen Reststoffen
- Dezentral/zentrales Konzept
⇒ Mobilisierung großer Mengen an Biomasse
- Regional verteilte Anlagen zur Vorbehandlung
⇒ Einkommensquelle in der Landwirtschaft
- Prozessenergie stammt aus der eingesetzten Biomasse
⇒ großes CO₂-Reduktionspotenzial
- Großtechnische Synthesegaserzeugung
⇒ wirtschaftliche Großanlagen



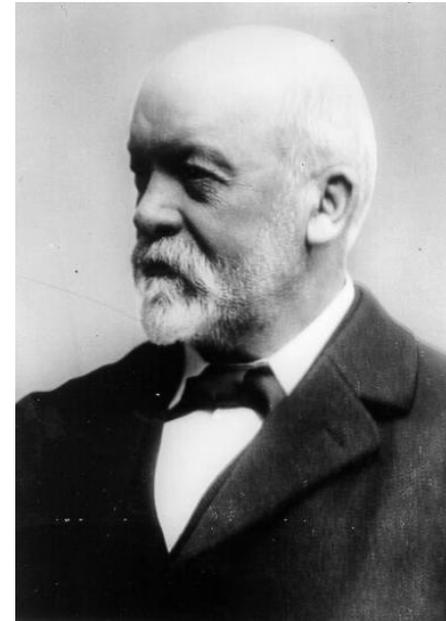
Schlussfolgerungen

- Biomasse kann und muss einen signifikanten Beitrag zum Energiemix leisten
Die Frage ist, mit welchen Produkten!
- Langfristig ist Biomasse als einzige erneuerbare Kohlenstoff-Quelle zur Erzeugung kohlenstoffhaltiger Produkte (Chemie und Energiespeicher)
- Die Synthesegas-Plattform ist Schnittstelle zwischen Energie und Chemie
- Für großtechnische Verfahren ist eine möglichst breite Palette an Einsatzstoffen heranzuziehen, Bedarf an „Allesfresser“-Verfahren
- Biomasse wird der Biosphäre entnommen und hat dabei vielfältige und komplexe Auswirkungen auf Gesellschaft, Ökologie und Ökonomie, dies muss berücksichtigt werden
- Möglichst effiziente Nutzung im Sinne einer Bioraffinerie unter Anbindung vorhandener Strukturen ist anzustreben, ggf. auch durch Kopplung mit fossilen Energieträgern



**„Die weltweite
Nachfrage nach
Kraftfahrzeugen wird
eine Million nicht
überschreiten...**

**... allein schon aus
Mangel an Chauffeuren„**



Gottlieb Daimler 1901

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!