



Forschungszentrum Jülich  
*in der Helmholtz-Gemeinschaft*

Wissenschaftszentrum  
Nordrhein-Westfalen

Institut Arbeit  
und Technik



Kulturwissenschaftliches  
Institut

Wuppertal Institut für  
Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

Thomas Grube\*, Karin Arnold\*\*, Reinhard Menzer\*, Ralf Peters\*, Stephan Ramesohl\*\*

\* Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich

\*\* Wuppertal Institut für Klima, Energie, Umwelt GmbH, Wuppertal

## **Bewertung von Verfahren zur Herstellung flüssiger synthetischer Kraftstoffe aus Biomasse**

Beitrag zur Konferenz

„Rohholzmanagement in Deutschland“

22. – 23. März 2007, Hannover Congress Centrum



# Analysemethoden im Bereich der Verfahrens- und Systemanalyse

## Ökobilanz (DIN EN ISO 14040)



## IEF-3: Punktuelle Aufgabenstellungen

Primärenergie	Emissionen	Materialien	Kosten
Simulation von Prozessen der Energietechnik			
Dynamische Simulation von Fahrzeugantrieben (SIMBA)			
Well-to-Tank und Well-to-Wheel Bilanzierung (KRAKE)			
		Technologie-Benchmarking für Brennstoffzellensysteme	
			Nutzerkosten (KOSTEX)
			Kosten der Bereitstellung von Kraftstoffen





## Überblick

- Einführung: Pkw-Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft
- Biomasse: Verfügbarkeit und Kosten
- Verfahrensanalyse der BTL-Kraftstoffproduktion
- Zusammenfassung und Optionen





## **Pkw-Antriebe und Kraftstoffe im Wettbewerb**

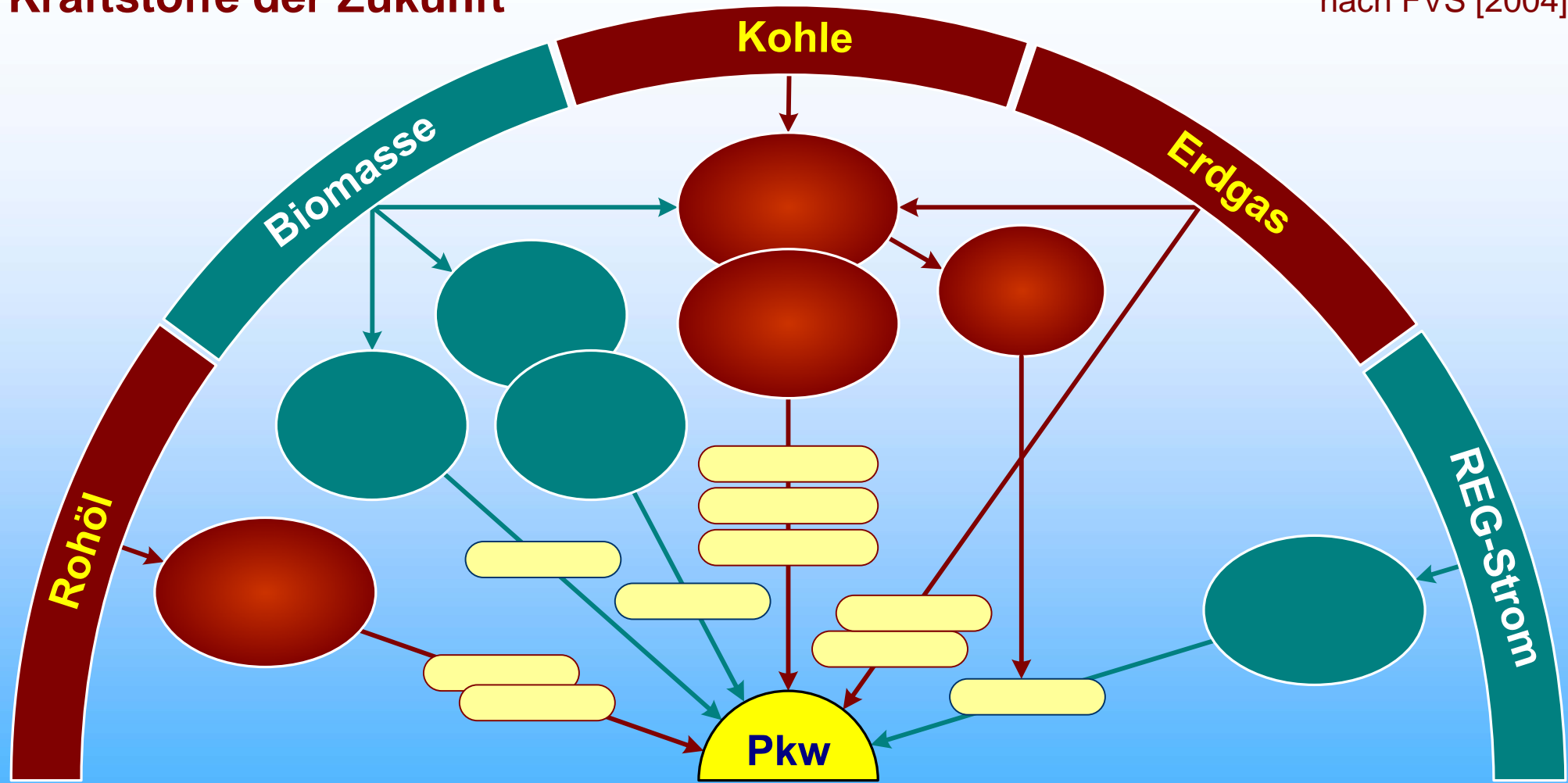
- **Zielsetzung: Verringerung von Primärenergieträgereinsatz und Emissionen**
- **Antriebssysteme im Wettbewerb**
  - ➔ *Weiterentwickelte **Verbrennungsmotoren (VM)***
  - ➔ ***Hybride (VM und Elektroantrieb)***
  - ➔ *Elektroantriebe mit **Brennstoffzellen***
  - ➔ *Elektroantriebe mit **Batterien***
- **Kraftstoffe im Wettbewerb (zusätzlich zu Benzin und Diesel)**
  - ➔ *Mittelfristig: **Synthesegasstämmige Kraftstoffe aus Biomasse (BTL), Erdgas (GTL) oder Kohle (CTL), Alkohole, C.NG, H<sub>2</sub> (fossile und regenerative Basis)***
  - ➔ *Langfristig: **H<sub>2</sub> und Biokraftstoffe (BTL, Alkohole) mit regenerativer Primärenergiebasis***
- **Ein Mix aus verschiedenen Kraftstoffen und Antrieben ist wahrscheinlich**





# Kraftstoffe der Zukunft

nach FVS [2004]



**C.NG** ... Druckerdgas    **DME** ... Dimethylether    **FT** ... Fischer-Tropsch    **L.NG** ... Flüssigerdgas  
**REG-Strom** ... Strom aus erneuerbarer Energie



## Der ideale Kraftstoff

(nach WARNECKE [2005])





## Einführungsszenario alternativer Kraftstoffe in der EU

Alle Angaben in %

Jahr	Biokraftstoffe	Erdgas	Wasserstoff	Gesamt
2005	2,00			2,00
2010	5,75	2,00		7,75
2015	7,00	5,00	2,00	14,00
2020	8,00	10,00	5,00	23,00

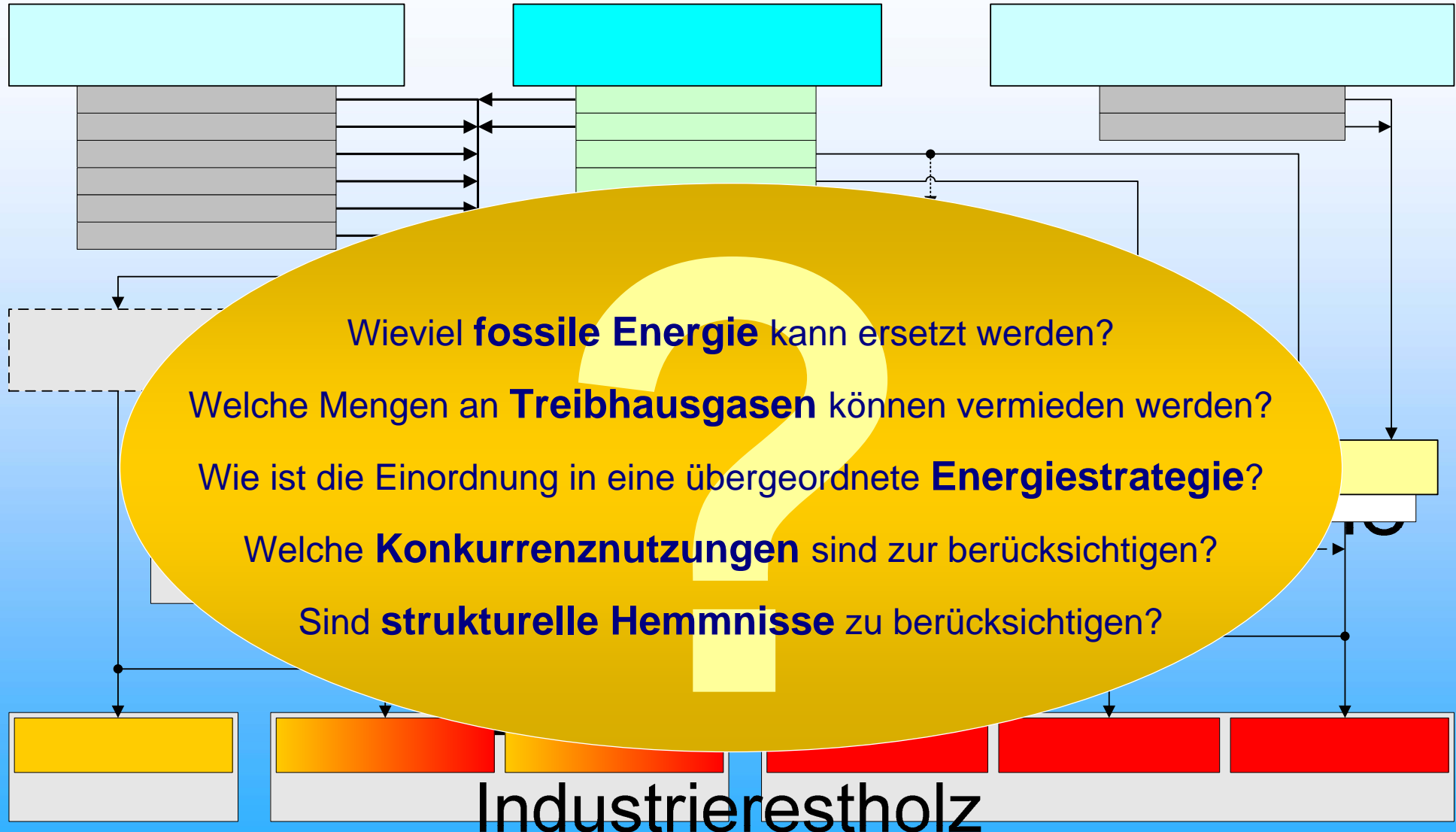
Quellen: KOM [2001a] Grünbuch Energieversorgungssicherheit  
 KOM [2001b] Weißbuch Verkehrspolitik bis 2010  
 EU [2003] EU-Kraftstoffrichtlinie 20/30/EG





# Biomasse-Nutzungspfade

Quelle: nach Wuppertalinstitut

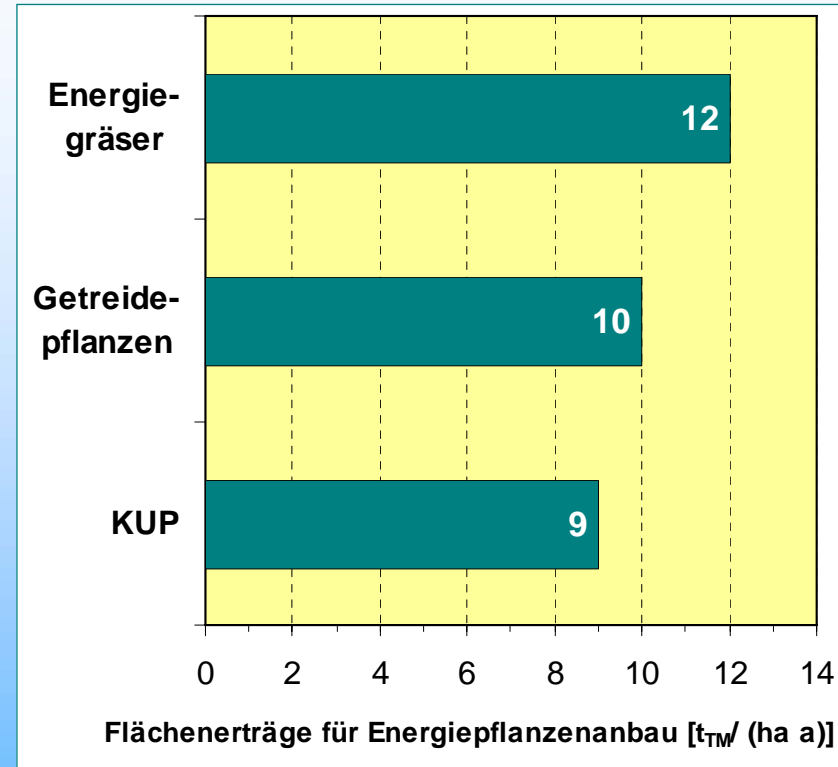
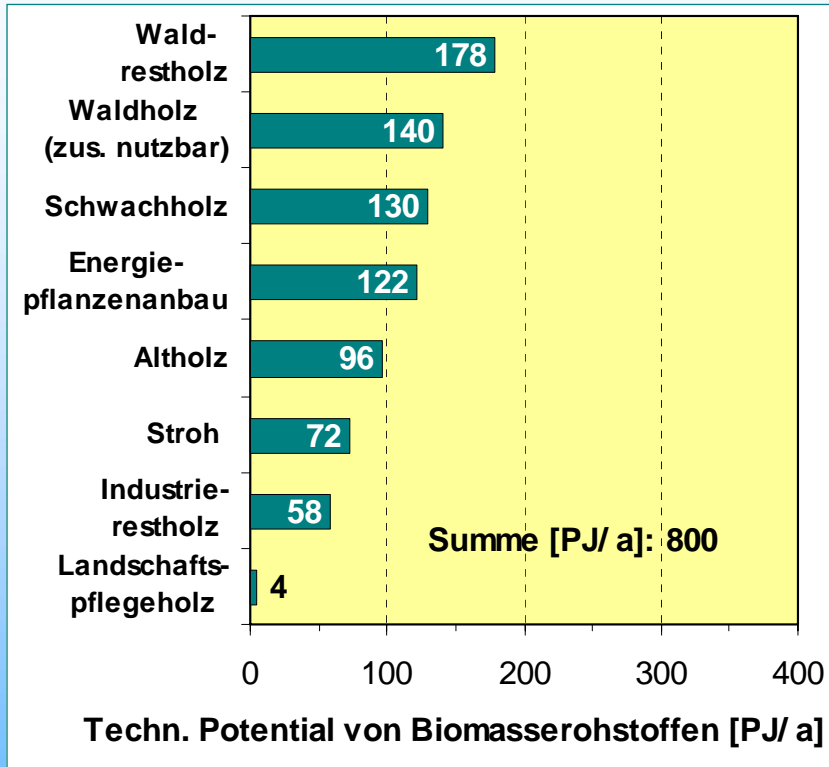






# Herkunft und Mengenpotential halmgut- und holzartiger Biomasserohstoffe in Deutschland

(nach KALTSCHMITT et. al [2003])



Abschläge berücksichtigen, dass nicht die Gesamtmengen energetisch genutzt werden können.

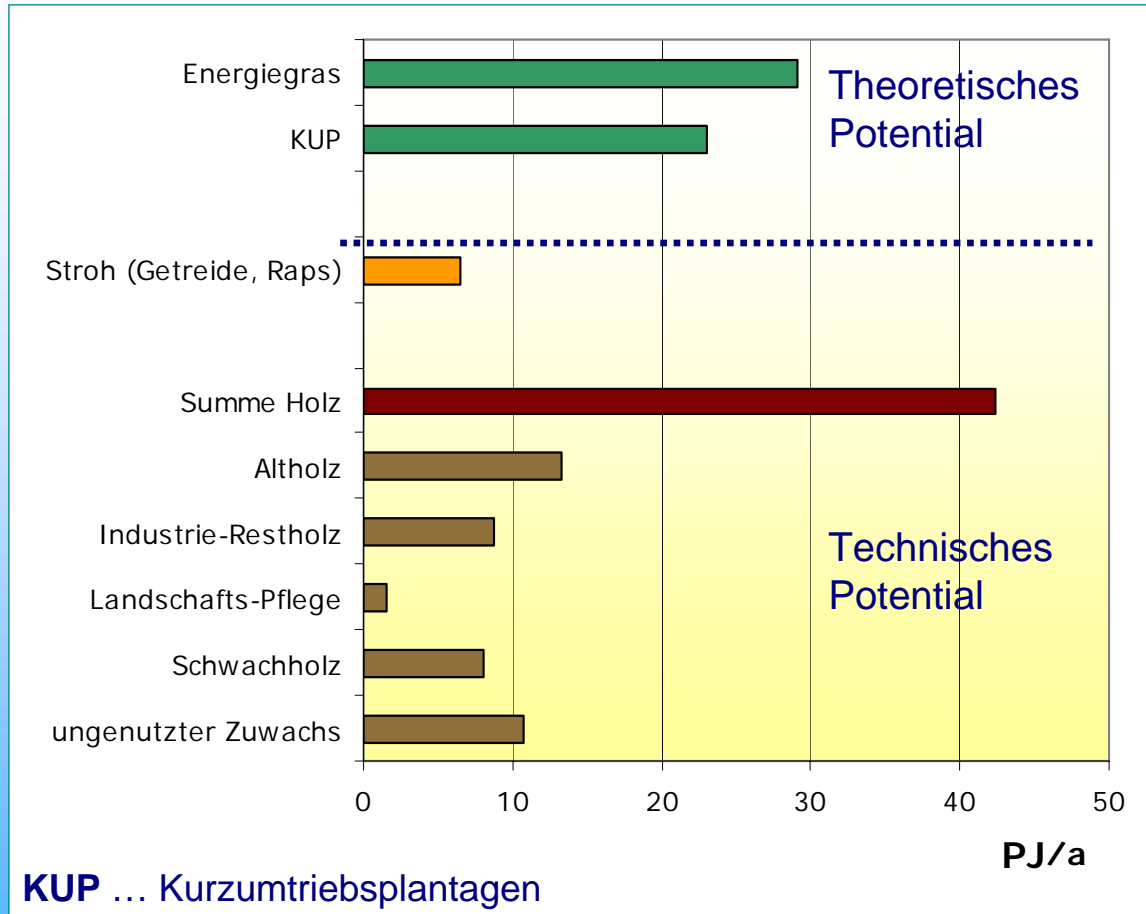
Ein Mischanbau aus den angegebenen Energiepflanzen auf 2 Mio. ha Fläche führt zu 122 PJ/ a gemäß Abbildung links.

**KUP** ... Kurzumtriebsplantagen, **TM** ... Trockenmasse





## Biomassepotential für NRW: Summenbildung über Rohstoffkategorien



- Summe über einzelne Holzkategorien: ca. **42 PJ/a**
- Strohpotenzial (Getreide und Raps): ca. **6,5 PJ/a**
- Summe aus Biomasse-Reststoffen: ca. **48,5 PJ/a**
- Mögliches zusätzliches Potenzial aus Anbau (nicht additiv):
  - ➔ Entweder aus KUP (9 t/ha, 23 GJ/t) max. **23 PJ/a**
  - ➔ Oder aus Energiegras (12 t/ha, 17 GJ/t) max. **29 PJ/a**
- **Damit insgesamt**
  - ➔ **71,5 PJ/a** (incl. KUP) bzw.
  - ➔ **76,5 PJ/a** (incl. Energiegras)

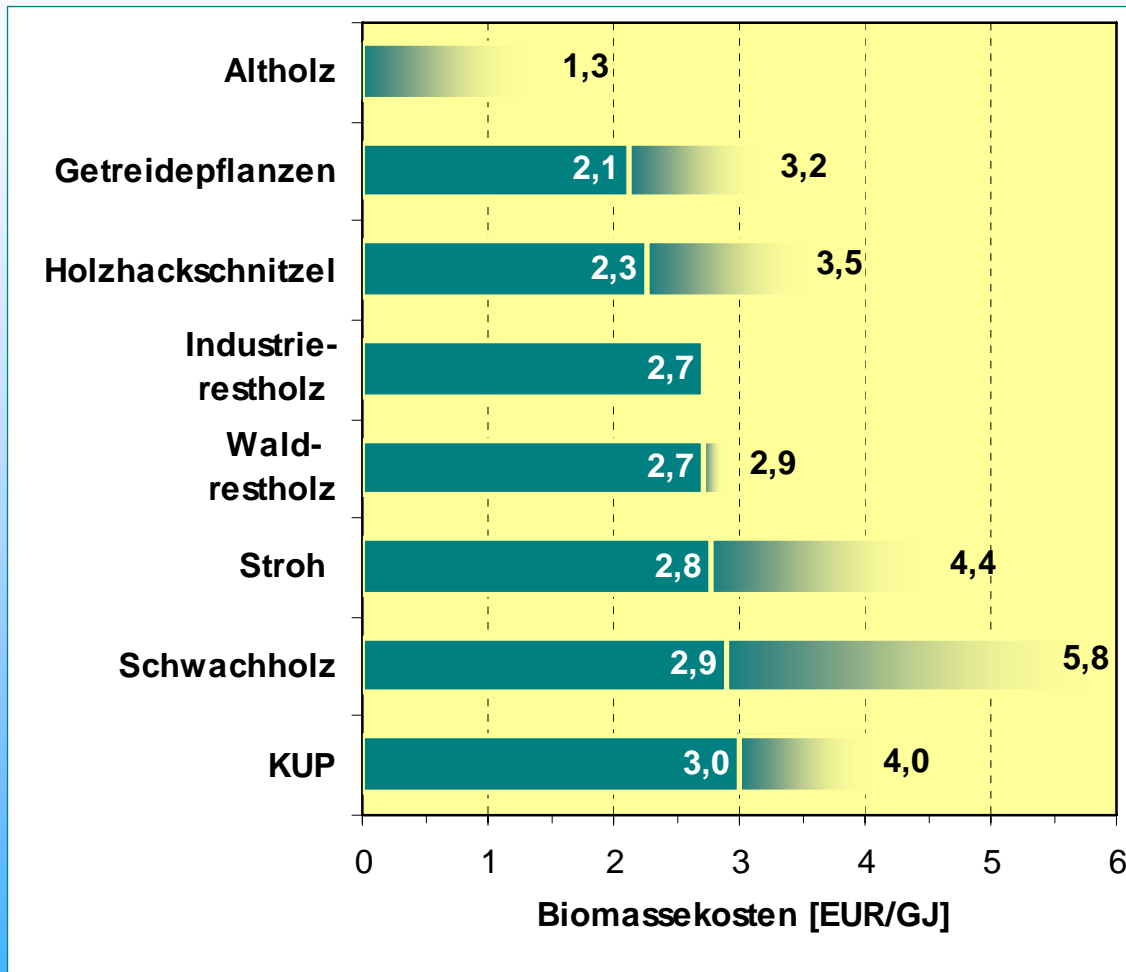
Das energetisch bewertete Potential an Biomasse-Reststoffen in NRW liegt bei ca. 50 PJ/a. Es kann durch Energiepflanzenanbau um ca. 50% auf ca. **70 PJ/a** gesteigert werden.





## Kosten halmgut- und holzartiger Biomasserohstoffe in Deutschland

(verschiedene Quellen)



- Angegebene Werte ohne Transportkosten, die deutlich von den Transportentfernungen abhängen
- Zum Teil erhebliche Bandbreiten der Biomassekosten (angegeben sind obere und untere Grenzen gemäß Studiendaten)
- Kosten für Altholz je nach Art auch mit Gutschrift zu bewerten

Werte nach BLOCK [2005],  
CONCAWE [2005], LEIBLE [2005],  
WIESE [2004]

KUP ... Kurzumtriebsplantagen





## BTL-Verfahren

- **Untersuchungsrahmen:**

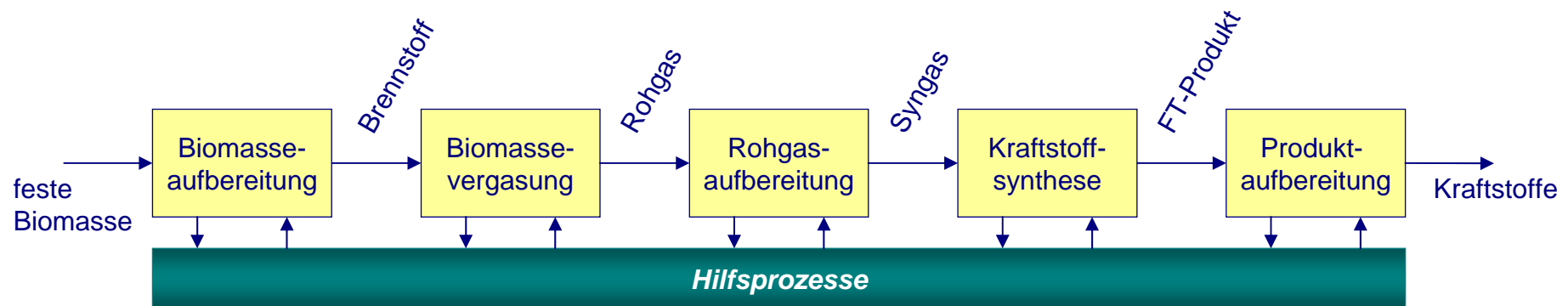
3 Verfahren (A, B und C) zur Vergasung von Holz oder Stroh; Fischer-Tropsch-Synthese

- **Vorgehen:**

- ➔ Massen- und Energiebilanzierung mit Pro/II – spezifisch für 1 t/h Einsatzstoff
- ➔ **Absicherung** der Ergebnisse in Gesprächen mit Verfahrensentwicklern
- ➔ Gegebenenfalls **Bandbreitendarstellung** der Ergebnisse
- ➔ Bewertung des **Strombezugs** mit Deutschem Strommix (Primärenergie und Treibhausgasemissionen)

- Skalierungsvarianten:
 

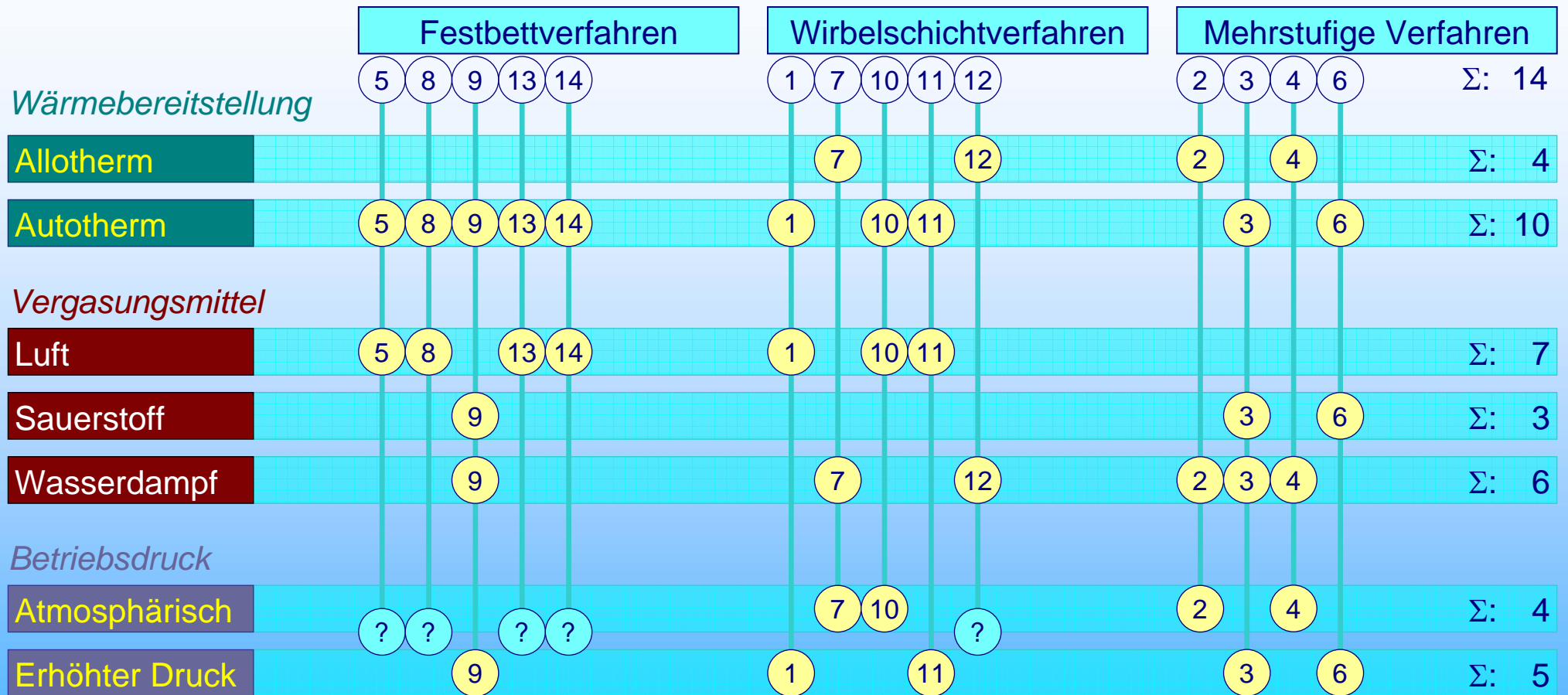
<b>100 MWth</b>	186'000 t/a (Holz)	196'000 t/a (Stroh)
<b>500 MWth</b>	929'000 t/a (Holz)	978'000 t/a (Stroh)





# Verfahren zur Vergasung von fester Biomasse

(erweitert nach HOFBAUER [2003])

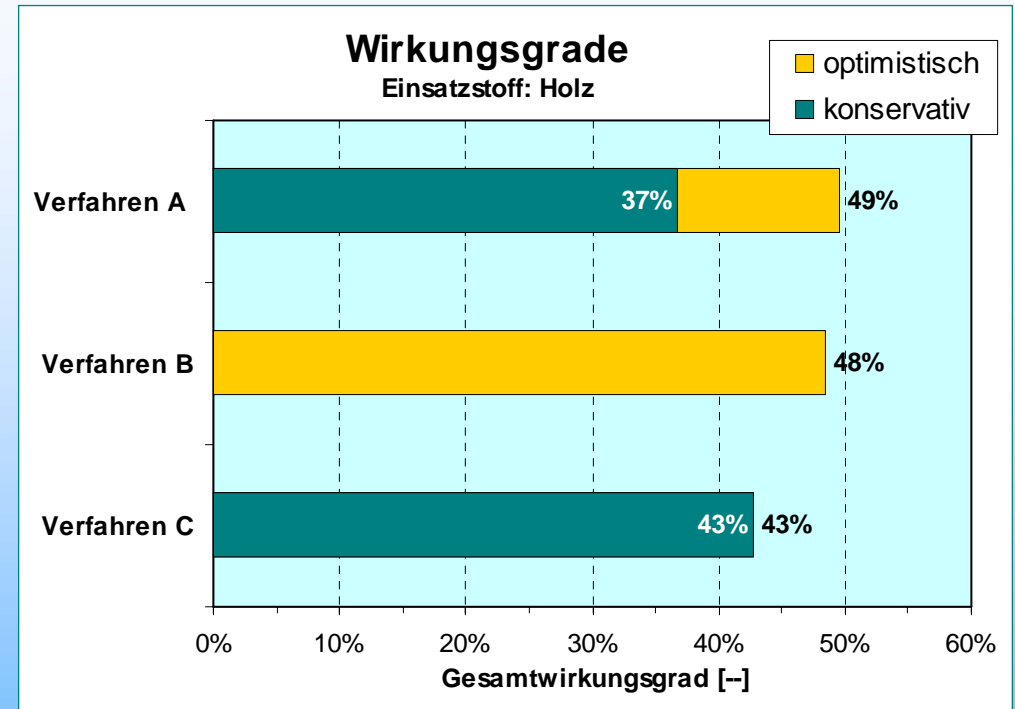
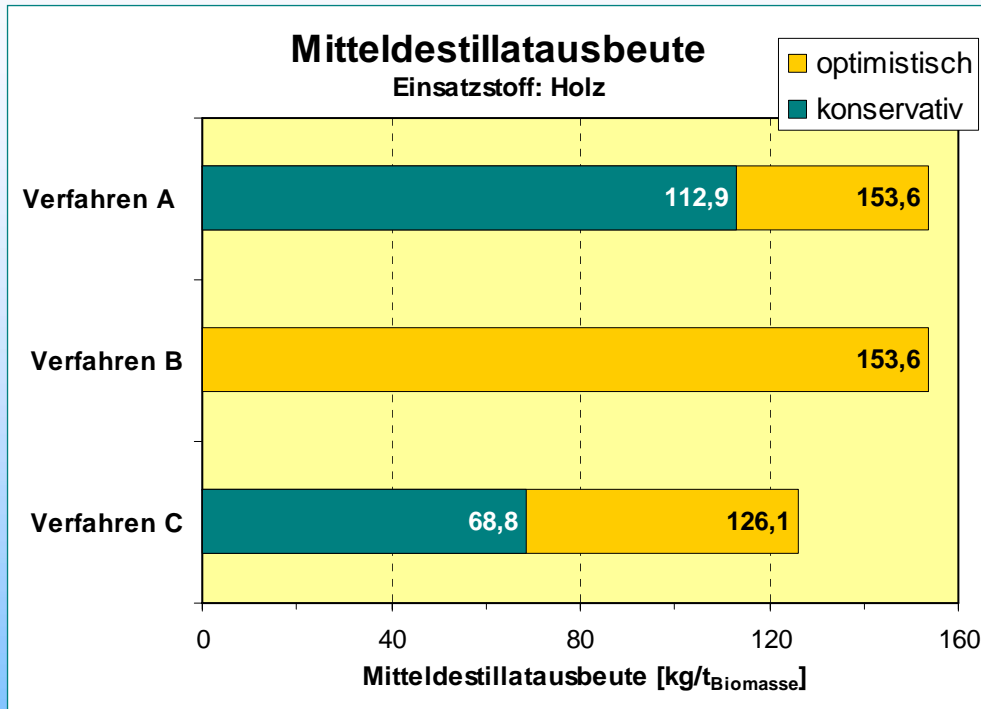


Arbre (1)	Blauer Turm (2)	Carbo-V® (3)	DENARO (4)	Domsland (5)	FZK (6)
Güssing (7)	Harboore (8)	SVZ (Methanol) (9)	UMSICHT (10)	Värnamo (11)	Vermont (12)
Wiener Neustadt (13)	Xylowatt (14)				





## Zusammenführung der Ergebnisse aus der Verfahrensanalyse (Einsatzstoff: Holz)



*Verfahren A: höherer Wert mit Fischer-Tropsch-Katalysatoren erreichbar, die neben CO + H<sub>2</sub> auch weitere Komponenten des Synthesegasgemisches verwerten.*

**Verfahren B führt mit größerer Sicherheit zu hoher Ausbeute und Wirkungsgrad.  
Es wird im Folgenden als Referenz weiterverwendet.**

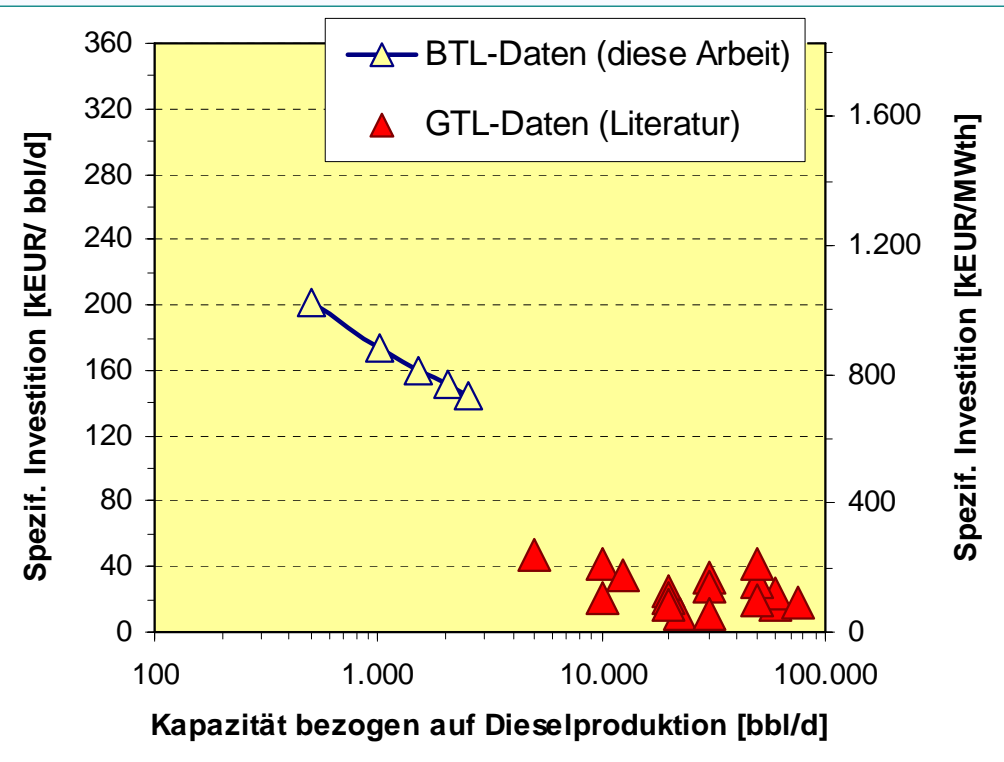




# Abschätzung der Kraftstoffkosten

(nach ARNOLD [2006])

- Grundlage bildet detaillierte Kostenaufstellung für BTL-Anlagen nach TIJMENSEN [2000]
- Wesentliche Annahmen:
  - ➔ Anlagenverfügbarkeit: 90 %
  - ➔ Abschreibungszeitraum: 15 Jahre
  - ➔ Kalkulationszinsfuß: 8 %
  - ➔ Gewinnaufschlag: 10 %
- Rohstoffkosten:
  - ➔ Holz: 50 EUR/t
  - ➔ Stroh: 60 EUR/t
  - ➔ Transport: 100 MW<sub>th</sub> 11 EUR/t  
500 MW<sub>th</sub> 22 EUR/t
- Allokation der Kostenarten nach dem Heizwert  
*Annahme: alle Produkte sind auch zum errechneten Preis absetzbar.*



Abhängigkeit der spezifischen Anlageninvestition von der Anlagenkapazität und Vergleich mit GTL-Anlagen

**bbl/d** ... Barrel (159 l) pro Tag,  
**BTL** ... Biomass-to-liquid, **GTL** ... Gas-to-liquid



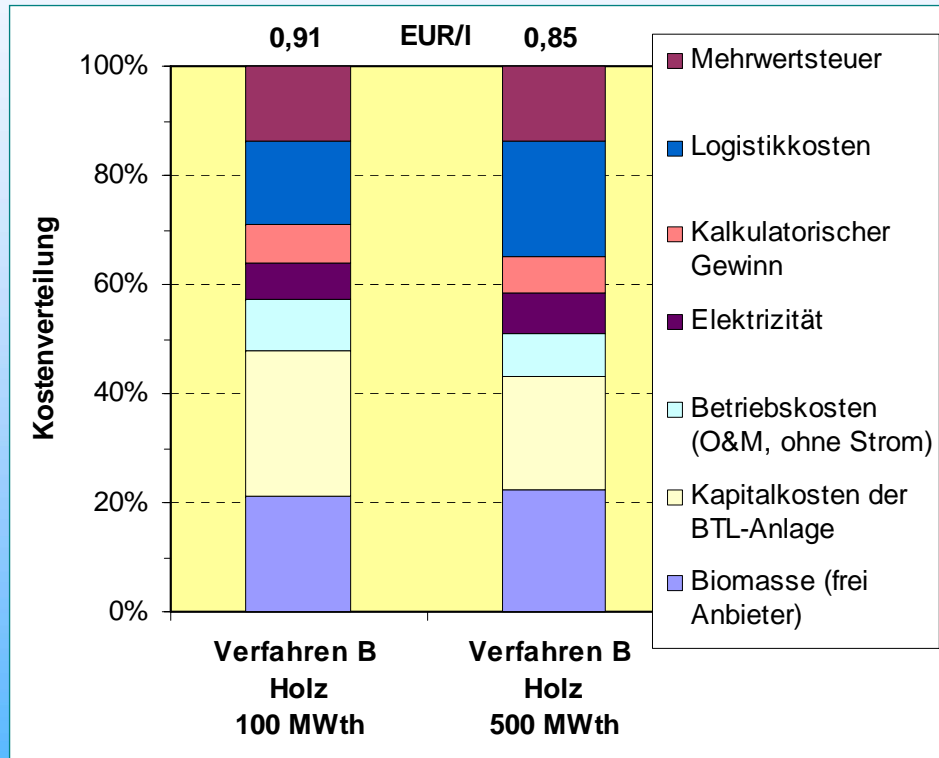




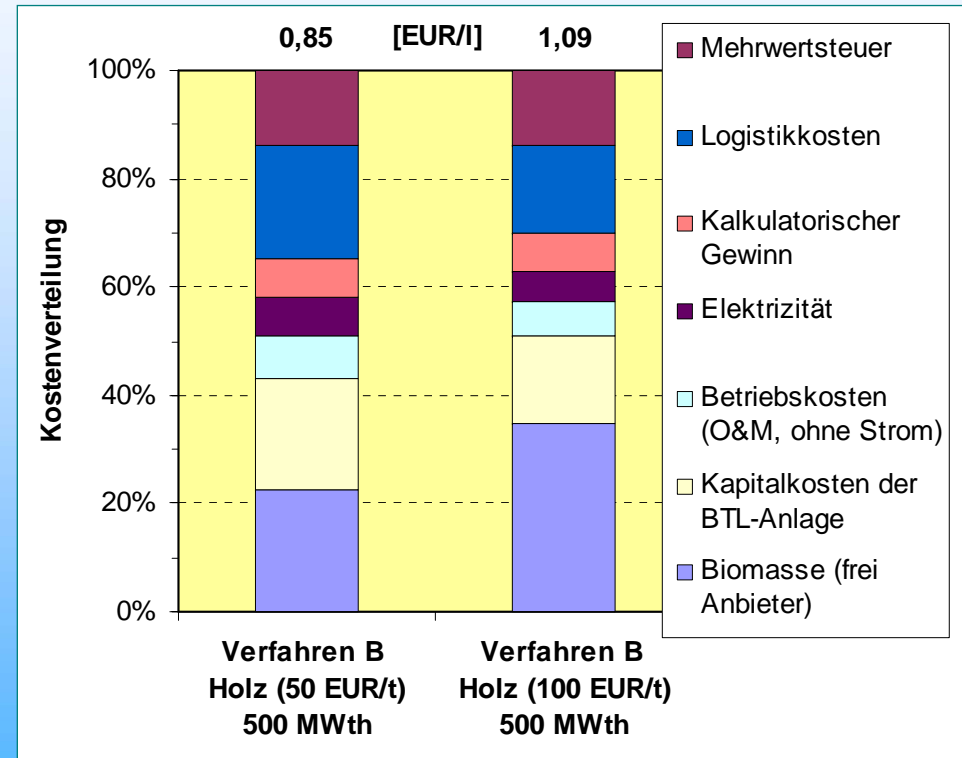
# Sensitivität der Bereitstellungskosten von Diesel aus BTL-Prozessen

(Einsatzstoff: Holz, Ausbeute entsprechend Verfahren B)

**Sensitivität bezüglich der Anlagenkapazität:  
100 MW<sub>th</sub> und 500 MW<sub>th</sub>**



**Sensitivität bezüglich der Biomassekosten:  
50 EUR/t und 100 EUR/t**



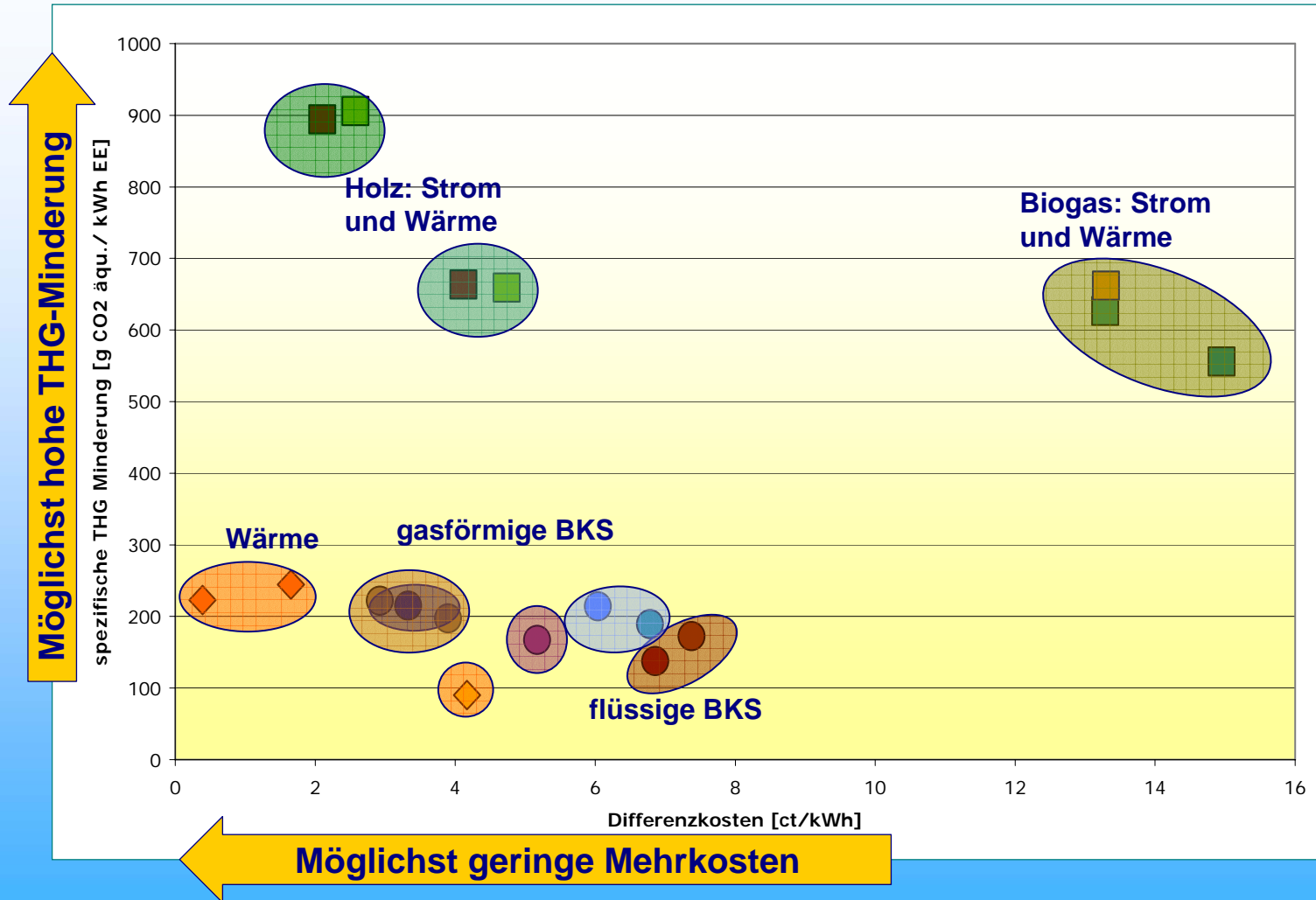
Erhöhung der Anlagenkapazität  
(100 auf 500 MW<sub>th</sub>):  
**Kraftstoffkosten sinken um 7 %.**

Verdoppelung der Biomassekosten  
(50 auf 100 EUR/t):  
**Kraftstoffkosten steigen um 29 %.**





# „Konkurrenznutzungen“ für biogene Energieträger



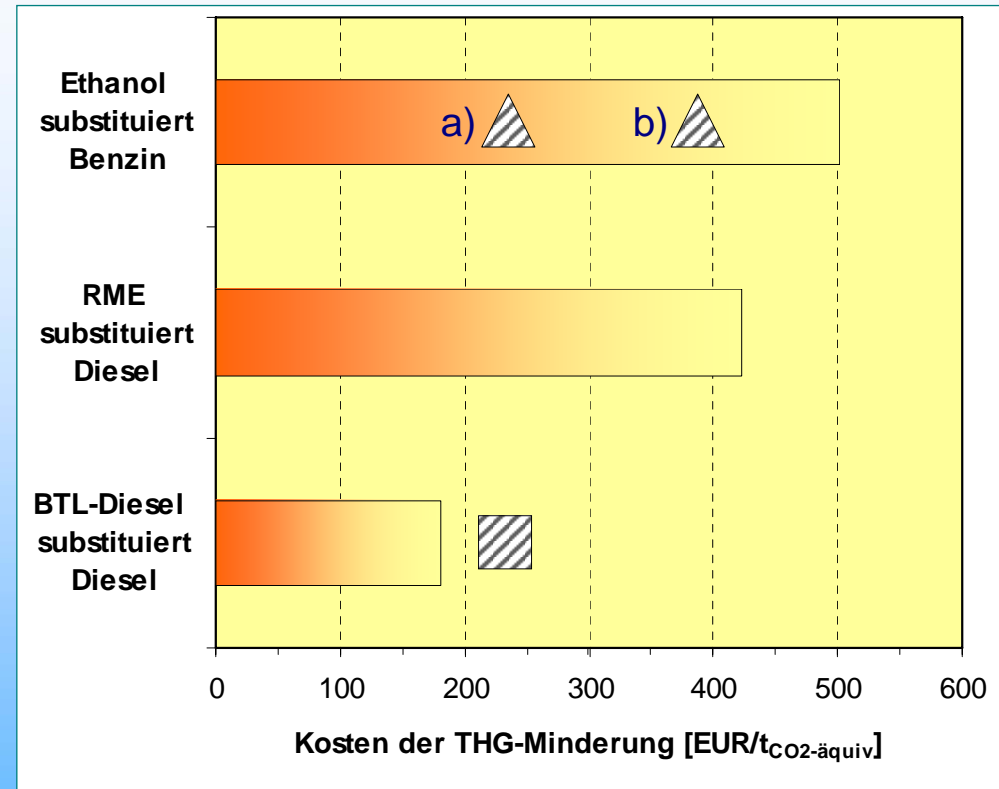
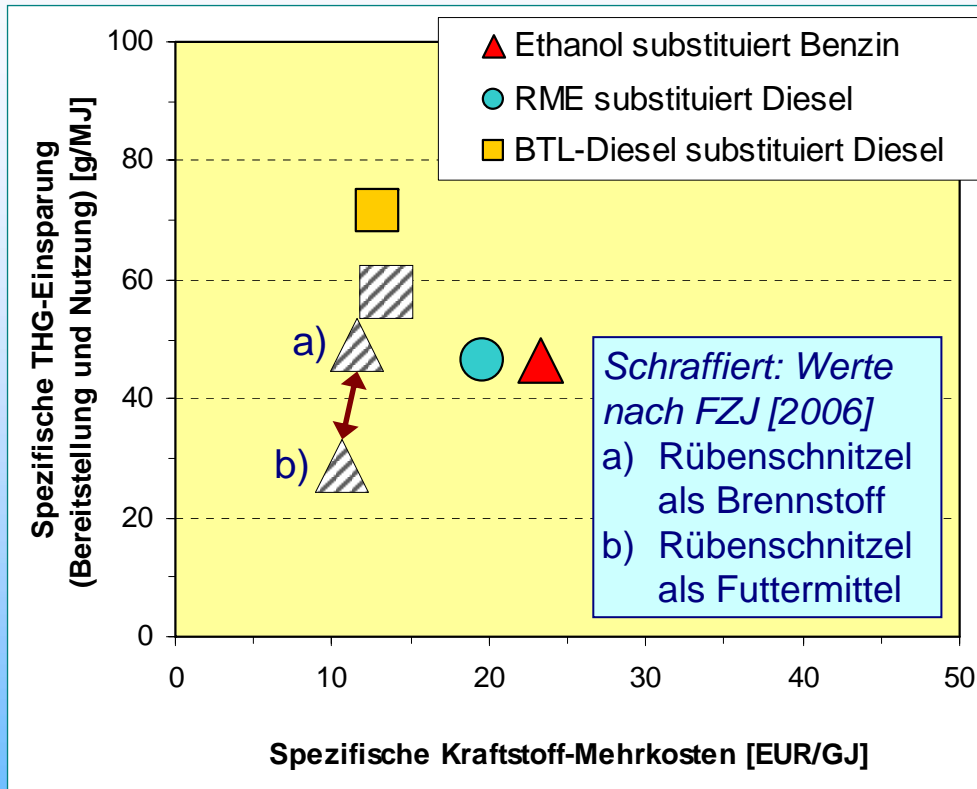
BKS ... Biokraftstoffe, THG ... Treibhausgasemissionen





# Spezifische Mehrkosten und Treibhausgasminderung der Kraftstoffsubstitution, Studienmittelwerte

(nach GRUBE [2006])



Die Analyse der Daten zeigt unterschiedliche Mehrkosten und THG-Reduktionspotentiale als Mittelwerte. Tatsächliche Werte sind stark abhängig vom spezifischen Verfahrensweg, der jeweiligen Bewertung der Nebenprodukte sowie der zugehörigen Logistik.

RME ... Rapsölmethylester, THG ... Treibhausgas, BTL ... Biomass-to-Liquid



## Zusammenfassung und Optionen (I)

- International werden Fragen der **Kraftstoffinfrastruktur** in Verbindung mit weiterentwickelten **Pkw-Antrieben** intensiv bearbeitet.
- **Bereitstellungskosten** konventioneller Energieträger steigen langfristig durch sinkende Rohölqualität und -verfügbarkeit.
- **Bereitstellungskosten** für neue Kraft- und Brennstoffe müssen sorgfältig und als Funktion des Substitutionszieles analysiert werden.
- **RME und Ethanol** sind mengenmäßig begrenzt. Die Kosten/Nutzen-Bilanz ist abhängig von Bereitstellungspfaden, der Nebenproduktbewertung und den Umwelteigenschaften (u.a. N<sub>2</sub>O-Emissionen).





## Zusammenfassung und Option (II)

- GTL- und BTL-Prozesse liefern **hochwertige Kraftstoffe**.
- Die **THG-Bilanz** für GTL-Kraftstoff ist ungünstiger als für Diesel und Erdgas.
- BTL-Kraftstoff mit **niedrigeren THG-Emissionen** bei begrenztem Substitutionspotential auf.
- Bisher sind **nur wenige Pilot-Anlagen** zur Herstellung von BTL-Kraftstoffen in Betrieb.
- Angaben für Wirkungsgrad, Emissionen und Kosten müssen im **industriellen Maßstab** bestätigt werden.





## Zusammenfassung und Option (III)

- Für BTL **geeignete Rohgase** sind teer- und stickstoffarm und haben eine hohe H<sub>2</sub>- und CO-Ausbeute.
- Die **Vergasung unter erhöhtem Druck** ist vorteilhaft.
- **Anlagenkapazitäten** werden im Vergleich zu GTL deutlich geringer ausfallen.
- BTL-Verfahren auf Basis der **FT-Synthese** führen zu Produktmix aus unterschiedlichen Kohlenwasserstoff-Fraktionen, der heute zu etwa 75% aus **Mitteldestillaten** besteht.
- **Bereitstellungskosten** von BTL Kraftstoffen liegen nach Literaturangaben im Bereich von bis zu 27 EUR/GJ an. (CONCAWE [2005], THIJMENSEN [2002])





## Zusammenfassung und Option (IV)

- Das **Rohstoffpotential in NRW** kann inklusive der Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaus mit maximal 70 PJ pro Jahr angegeben werden.
- Eine Abschätzung der Rohstoffverfügbarkeit für BTL setzt die Berücksichtigung der **Nutzungskonkurrenzen** voraus.
- Unter den getroffenen Annahmen ließen sich derzeit wenige Prozentpunkte am **Kraftstoffbedarf in NRW** mit BTL decken.
- Wie können die begrenzten Ressourcen am sinnvollsten eingesetzt werden?
  - ➔ **Maximaler Flächenertrag**: Gasförmige Biokraftstoffe mit Vorteilen gegenüber flüssigen Biokraftstoffen
  - ➔ **Klimaschutzbeitrag**: Holzverstromung unter der Voraussetzung einer sehr hohen Abwärmenutzung (setzt Ausbau von Fern-/Nahwärmesystemen voraus).
  - ➔ **Treibhausgasemissionen**: BTL und SNG im Rahmen der Datenunsicherheit vergleichbar.
  - ➔ Weitere Aspekte der Bewertung: sonstige Umweltwirkungen, Nährstoffkreisläufe





## Kontakt und Studienverfügbarkeit

**Thomas Grube, Reinhard Menzer, Ralf Peters**

Institut für Energieforschung – Brennstoffzellen, IEF-3,

Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich

Tel.: +49 (2461) 61-5 398 (-6 695 Fax)

E-Mail: [th.grube@fz-juelich.de](mailto:th.grube@fz-juelich.de)

[www.fz-juelich.de/iwv/iwv3](http://www.fz-juelich.de/iwv/iwv3)

**Karin Arnold, Stephan Ramesohl** (Projektleitung bei der Erstellung der Studie)

Forschungsgruppe „Zukünftige Energie- und Mobilitätsstrukturen“

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

Postfach 10 04 80, D-42004 Wuppertal

Tel.: +49 (202) 2492 -286 (-198 Fax)

E-Mail: [karin.arnold@wupperinst.org](mailto:karin.arnold@wupperinst.org)

<http://www.wupperinst.org>

Studie „Strategische Bewertung der Perspektiven für synthetische Kraftstoffe auf Biomasse-Basis in NRW“

verfügbar unter:

<http://www.kraftstoffe-der-zukunft.de/index.php?module=download>

