

Wasserstoff-Produktion aus Biomasse mittels Fermenter-Technologie

Derzeitiger Stand der Erkenntnisse
Workshop Wasserstoff / Hanau-Wolfgang
12.5.2011

Anton Friedl

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik
und Techn. Biowissenschaften

Technische Universität Wien

anton.friedl@tuwien.ac.at

- Background
- Untersuchte Anlagenvarianten
- Wasserstoff mit Fermenter-Technologie
- Modellierung und Simulation
- Ergebnisse Effizienzanalyse
- Ergebnisse ökonomische Analyse
- Zusammenfassung

- Chemieingenieur / Verfahrenstechnik
- Industrienerfahrung mit Wirbelschicht-Verbrennung
- Leiter des FB Thermische Verfahrenstechnik&Simulation am Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften der Technische Universität Wien
- Spezialisierung auf Trenntechnik (Membrane), Prozess Simulation und CFD

Process Simulation

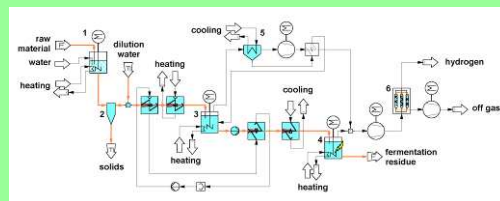
- ✓ Mass/Energy Balances
- ✓ Heat Integration (Pinch Technology)
- ✓ Process Optimization

Separation Processes

- ✓ Membr. Processes
- ✓ Distillation
- ✓ Absorption
- ✓ Gas-Stripping

Applications

- Biorefinery
- Bio-Hydrogen
- Bioethanol, ABE
- Drinking Water
- Flue Gas Cleaning



Fluid Dynamics (CFD)

- ✓ Flow Optimization
- ✓ Complex Flows
 - Multiphase Flows
 - Reactive Flows
 - Heat Transfer
 - FE-CFD Coupling
- ✓ Flow Measurement

Separation Processes

- ✓ Membrane Processes
 - Gas Permeation
 - NF, RO
 - Electrodialysis

Applications

- Biogas Upgrading
- Biorefinery...

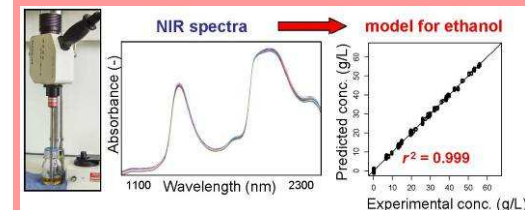


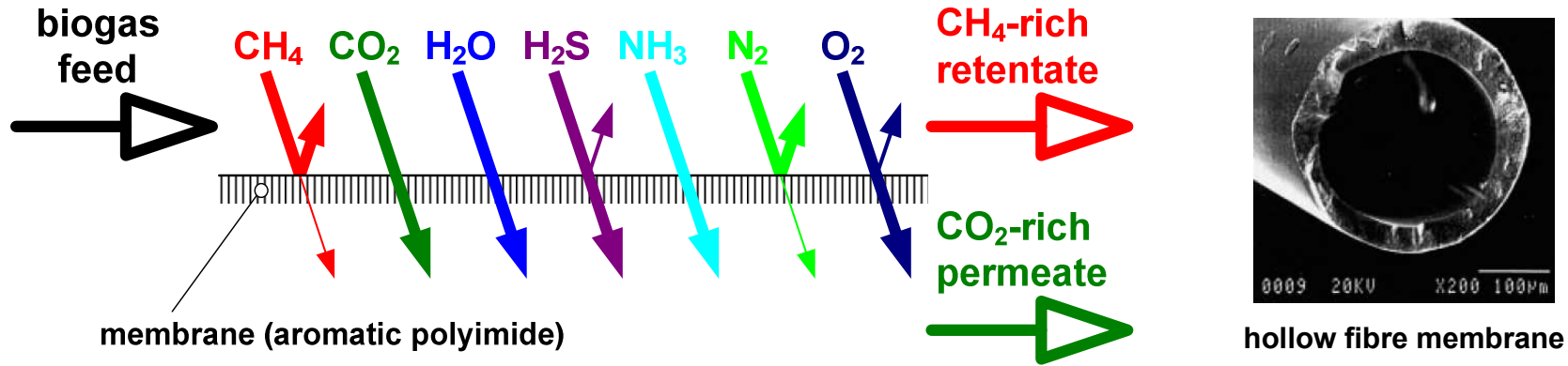
Chemometrics

- ✓ Property Prediction
- ✓ Model Development
- ✓ Multivariate Data Analyses

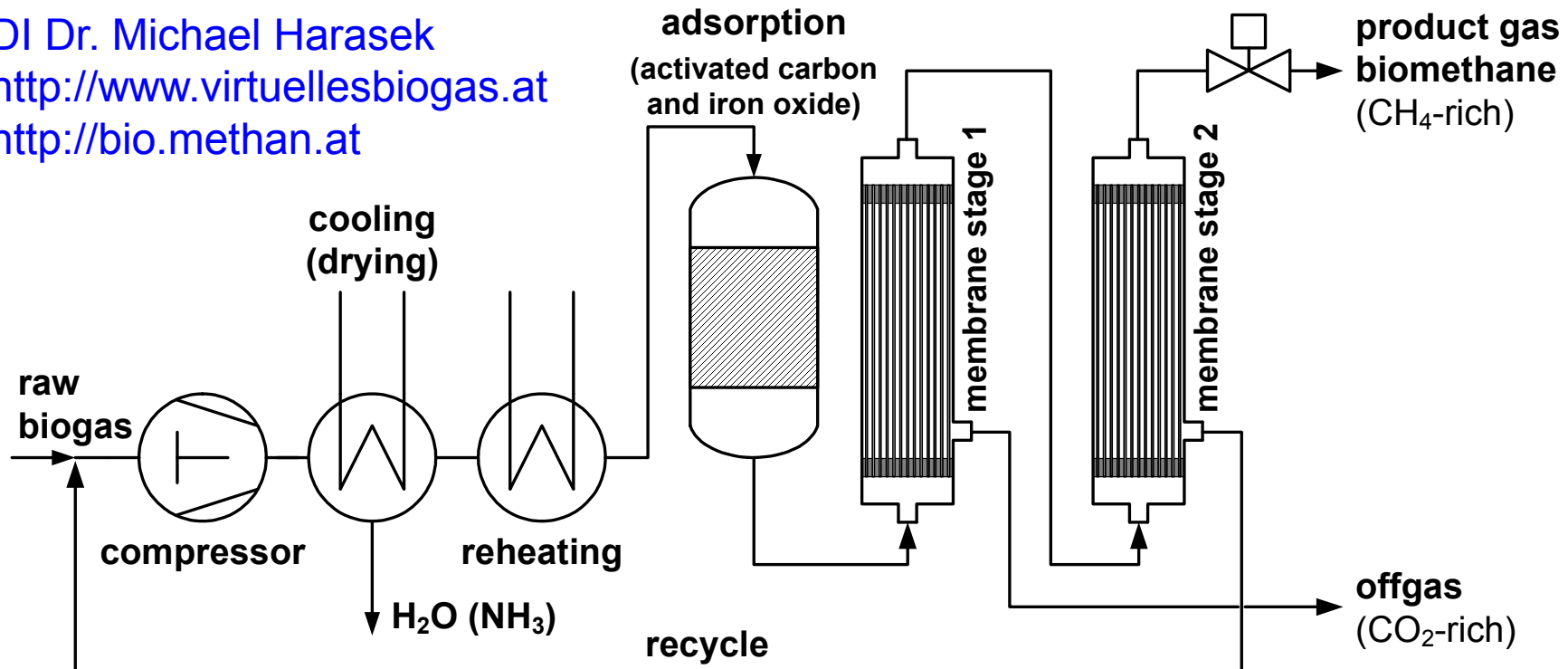
Applications

- Bioethanol process
- Fuel properties
- Chemoinformatics
- Tribology
- Art
- Archaeometry
- Cosmo chemistry





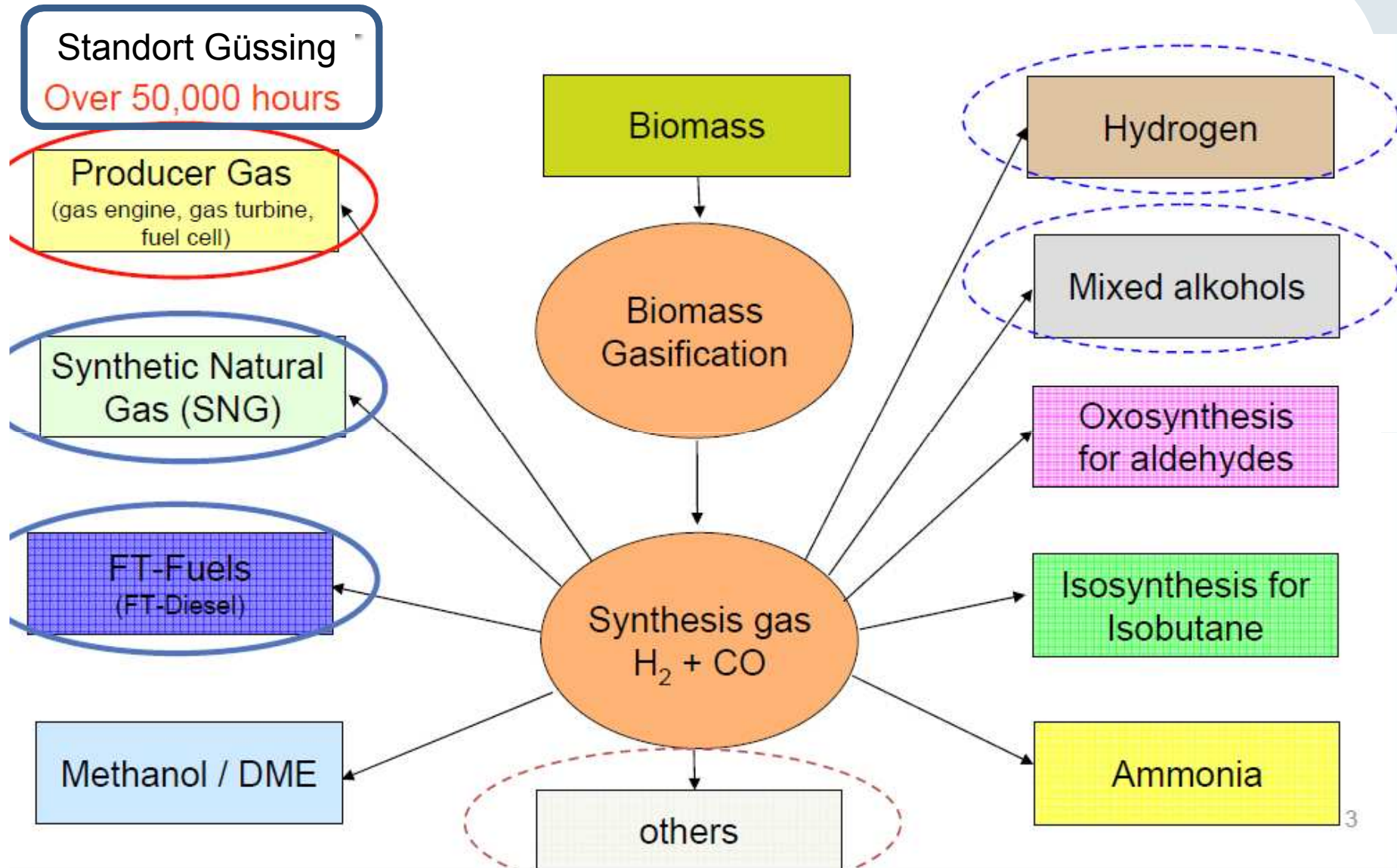
DI Dr. Michael Harasek
<http://www.virtuellesbiogas.at>
<http://bio.methan.at>



Currently in operation:

- since 2004: several pilot plants (capacity up to 6 m³/h raw biogas, TU Wien)
- 2007: Bruck/Leitha (180 m³/h raw biogas, 100 m³/h biomethane)
- 2007: Margarethen/Moos (80 m³/h raw biogas, 35 m³/h Bio-CNG)
- 2010: Kisslegg / Germany (500 m³/h raw biogas)
- 2010: Wiener Neustadt / Austria (220 m³/h Biogas)





Ref.: H. Hofbauer, R. Rauch



Gasifier

BioSNG PDU

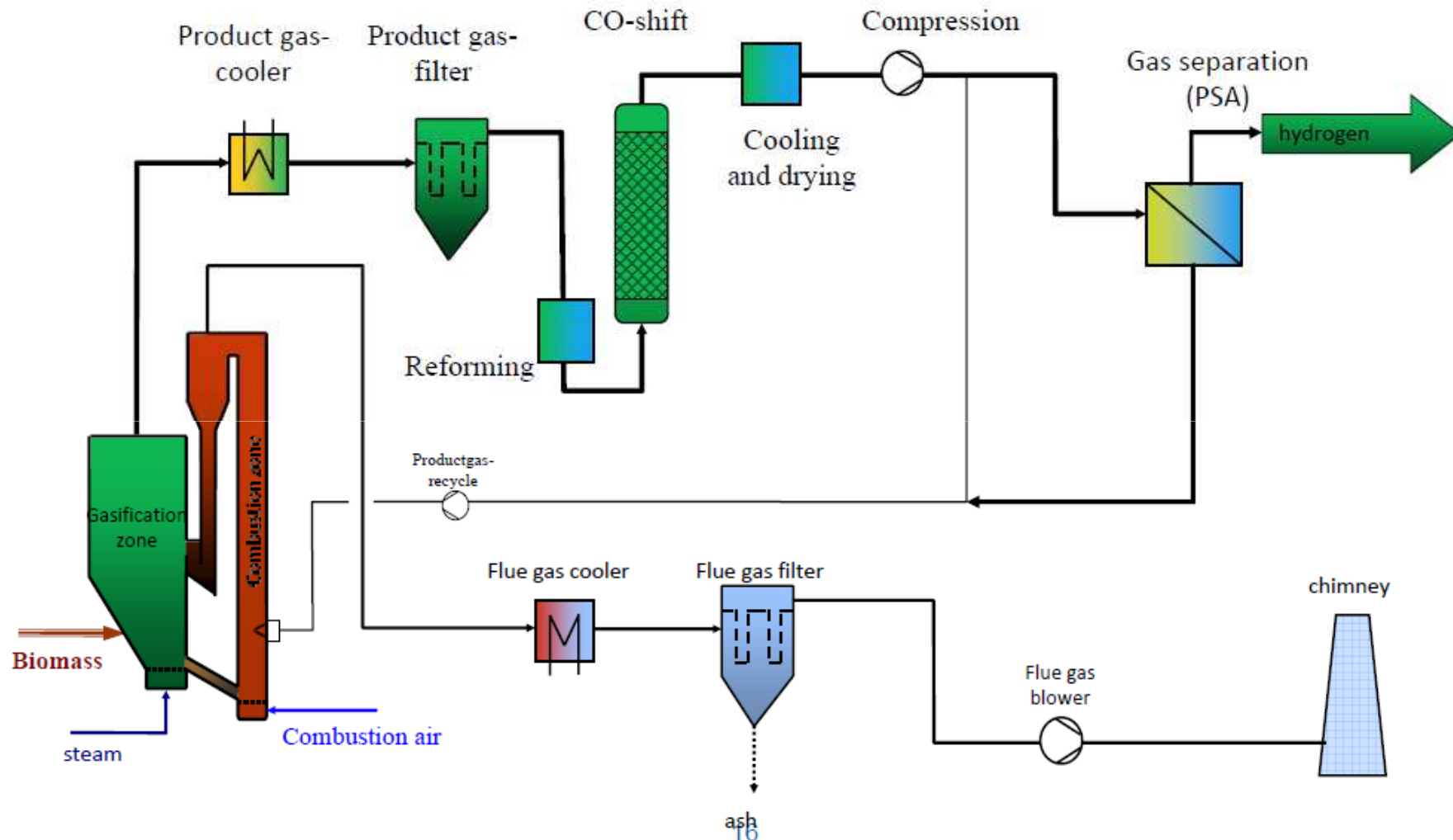
Technikum

Fuelling Station

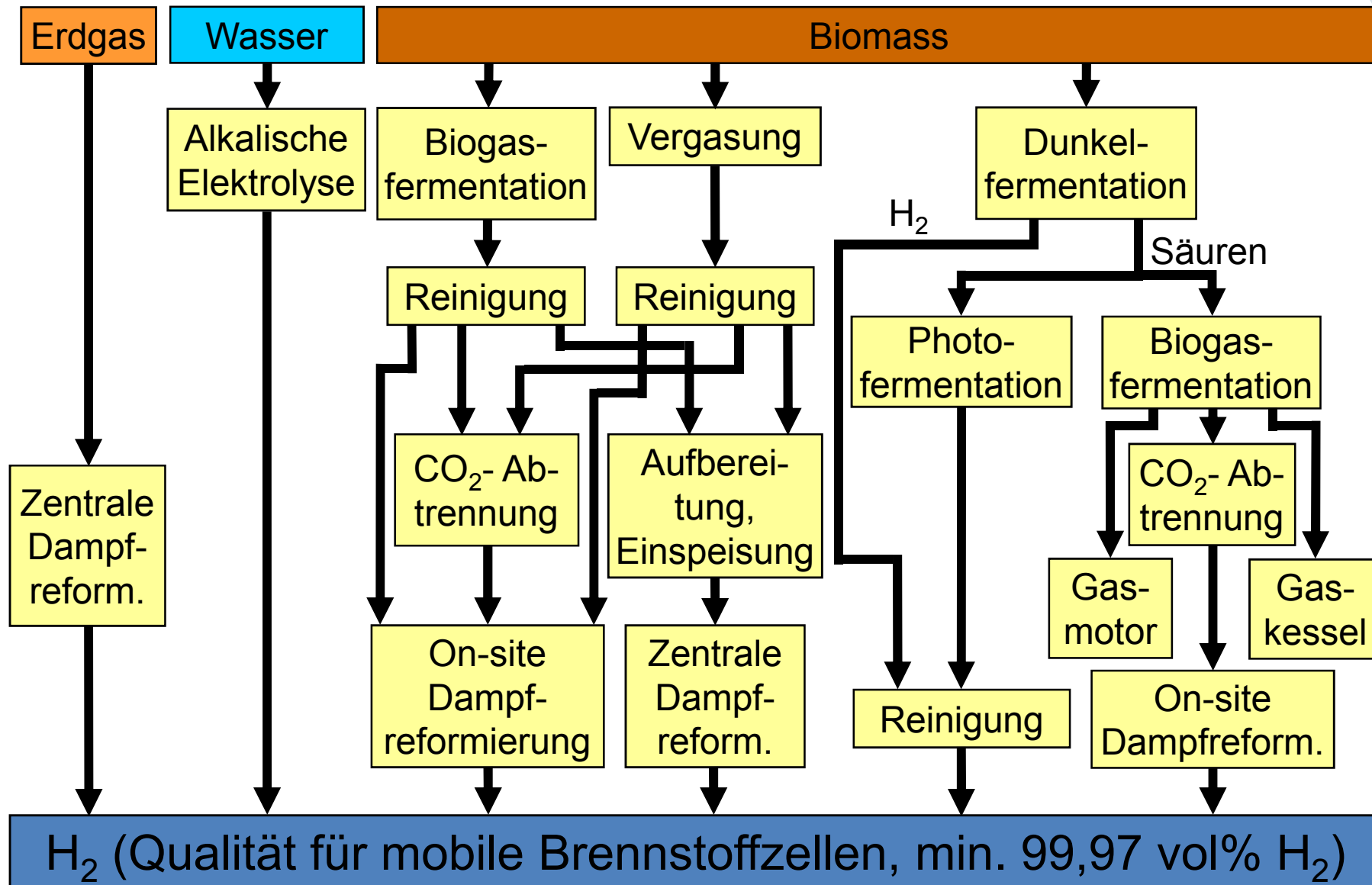
Ref.: H. Hofbauer, R. Rauch

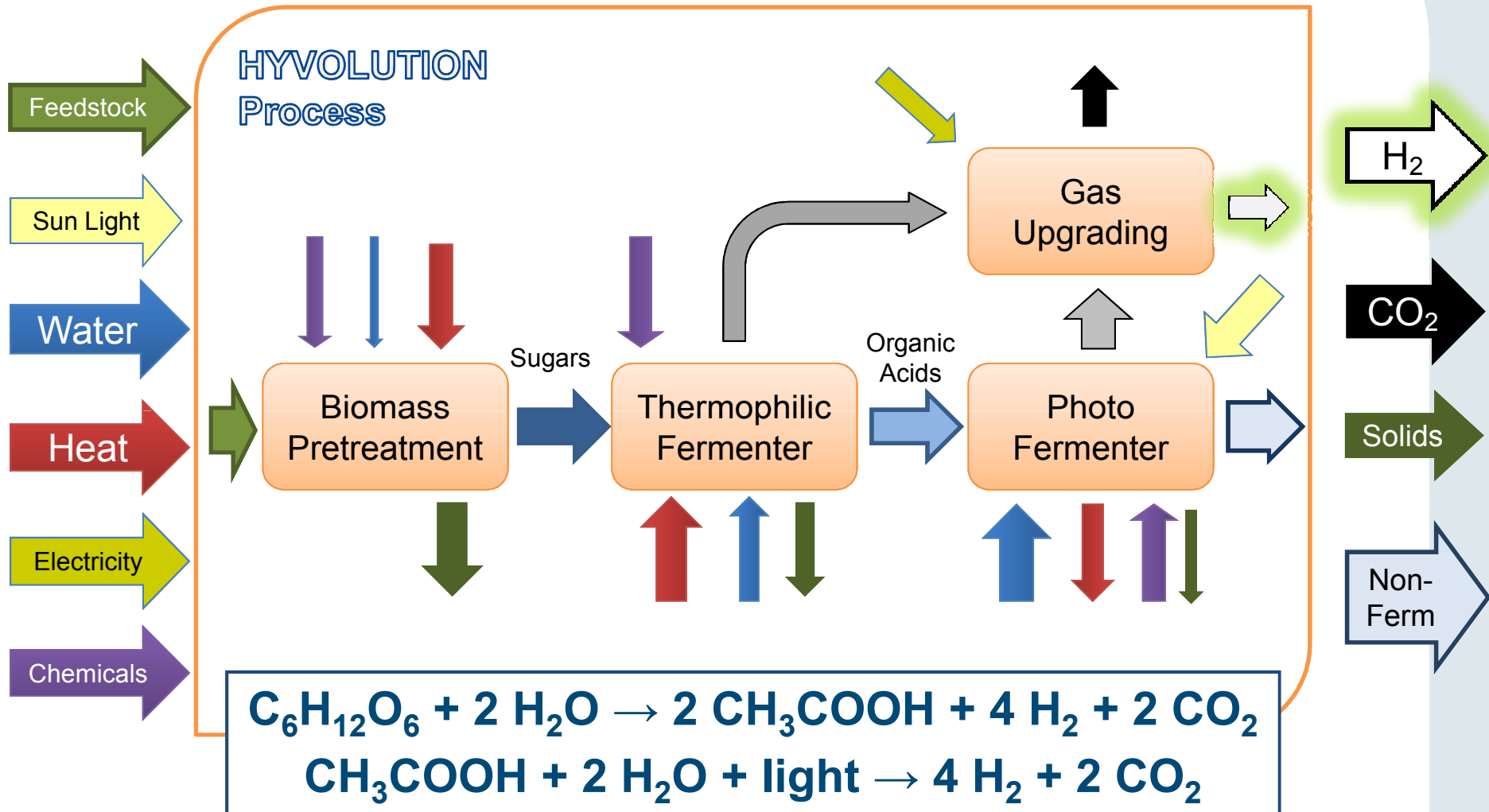
Location	Electricity production	Fuel / electr. MW, MWel	Start up	Status
Güssing, AT	Gas engine	8.0 / 2.0	2002	Operational
Oberwart, AT	Gas engine / ORC	8.5 / 2.8	2008	Operational
Villach, AT	Gas engine	15 / 3.7	2010	Commissioning
Klagenfurt, AT	Gas engine	25 / 5.5	2011	planing
Ulm, DE	Gas engine / ORC	14 / 5	2011	Under construction
Göteborg, Sweden	BioSNG	32/20 (BioSNG)	2012	planing

Ref.: H. Hofbauer, R. Rauch



Ref.: H. Hofbauer, R. Rauch





Ref.: Hyvolution Project EC, 6th Framework, 2006-2010

Vergleich thermophile und mesophile Mikroorganismen

Microorganism(s)	T °C	Substrate	Yield H ₂ /mol saccharide	H ₂ production rate mmol/L.h
<i>T. maritima</i>	80	Glucose (GY)	4.0	10
<i>T. elfii</i>	65	Glucose (GY)	3.3	2.7
<i>C. saccharolyticus</i>	70	Sucrose	3.3	8.4
Sludge compost	60	Waste water from sugar factory	2.5	8.3
<i>Clostridium</i> sp	36	Glucose, xylose	1.4 - 2.0	7- 31
<i>Enterobacter</i> sp	36 - 38	Glucose, sucrose (MGY)	0.6 – 3.4	20 - 58
<i>C. butyricum</i> + <i>E. aerogenes</i>	36	Starchy industrial residue	2.6	53
Sewage sludge	35	Glucose, sucrose	1.7	26 - 29
Fermented soybean meal	35	Glucose	1.4	8

Ref.: Hyvolution Project EC, 6th Framework, 2006-2010

Vergleich thermophile und mesophile Mikroorganismen

	Temp.	Y_{H_2}	Q_{H_2}	(By-)products	Substrate	Substrate consumption
	[°C]	[mol/mol C6]	[mmol/L.h]	[g/L]	[g/L]	[%]
Thermophiles	70	3.0	30	Acetate 7.9 Lactate 0.8	15	>90
Mesophiles	35	1.5	300	Acetate 2.6 Butyrate 2.7 Propionate 0.6 Ethanol 1.1	17.8	>90

- Dunkel Fermentation (DF):
 - THF: 30 L CFTB (Combined Fluidized and Trickle Bed) -Reactor
 - MEF: 1 L AGSB (Anaerobic Granular Sludge Bioreactor) [Chang, 2006]

Ref.: Hyvolution Project EC, 6th Framework, 2006-2010

Ref.: Foglia et al., PRES 2011, 8-11 May 2011, Florence

	H ₂ production efficiency (% of theoretical maximum)	Light energy conversion efficiency (%)	H ₂ production rate (mmol/g DW.h)	Critical H ₂ in gas phase (kPa)
<i>Caldicellulosiruptor saccharolyticus</i>	74 - 80	n.a.	29	20 - 56
<i>Rhodopseudomonas</i> sp; <i>Rhodobacter capsulatus</i> *	26 - 87	1- 2	0.8 - 1.6	≥90

n.a: not applicable; * light limitation

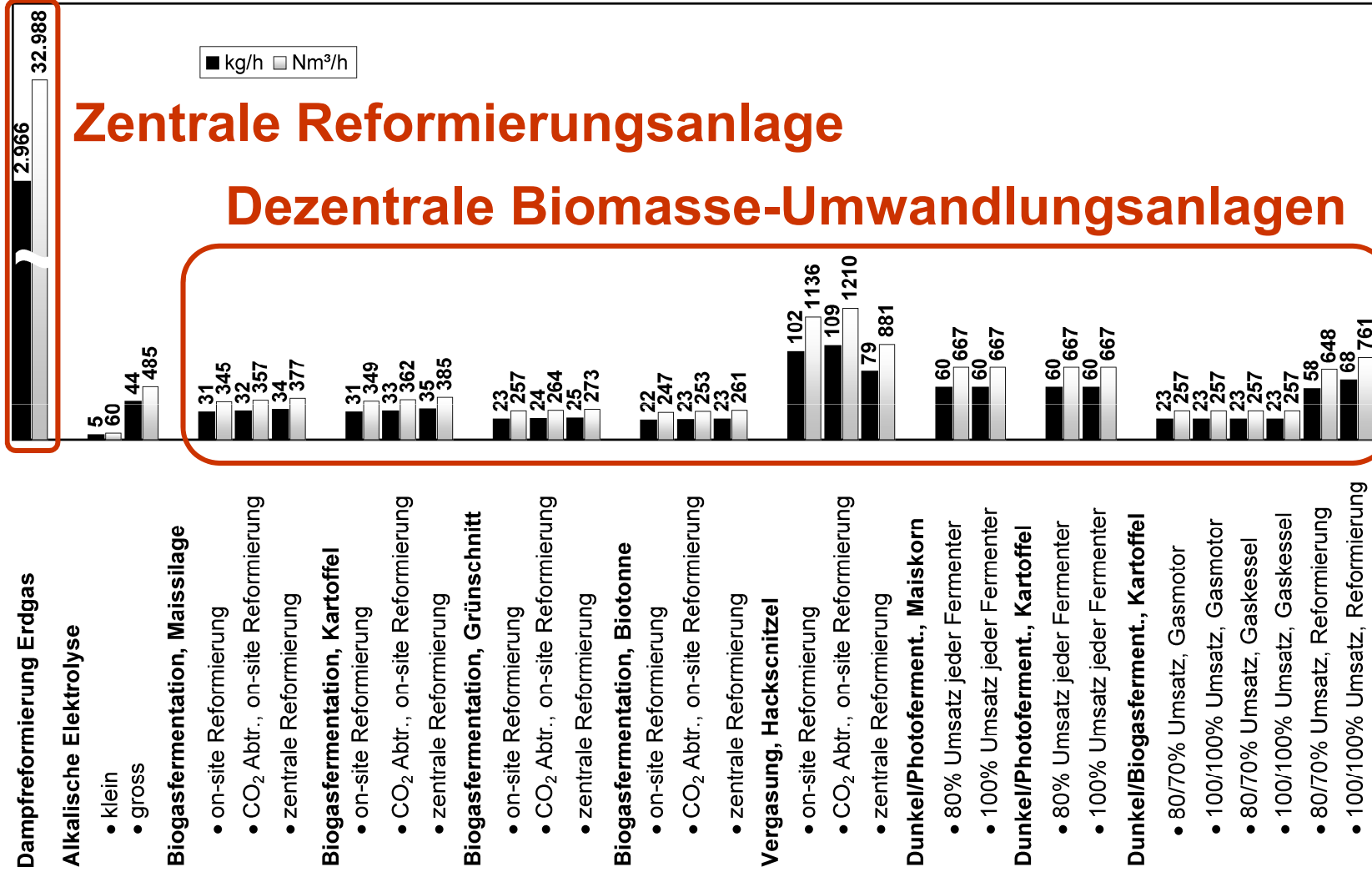


(WU-ATF-PE)

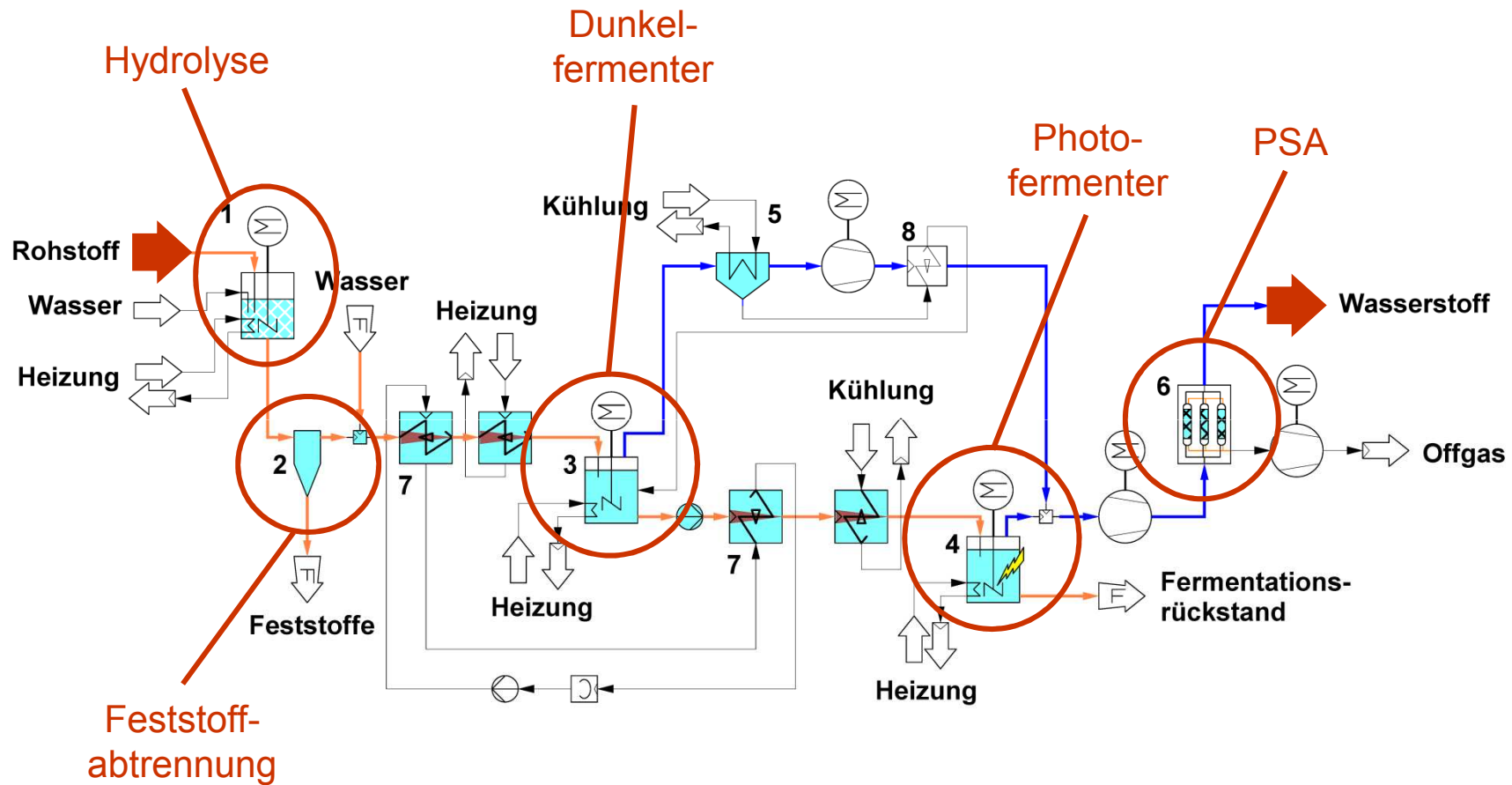


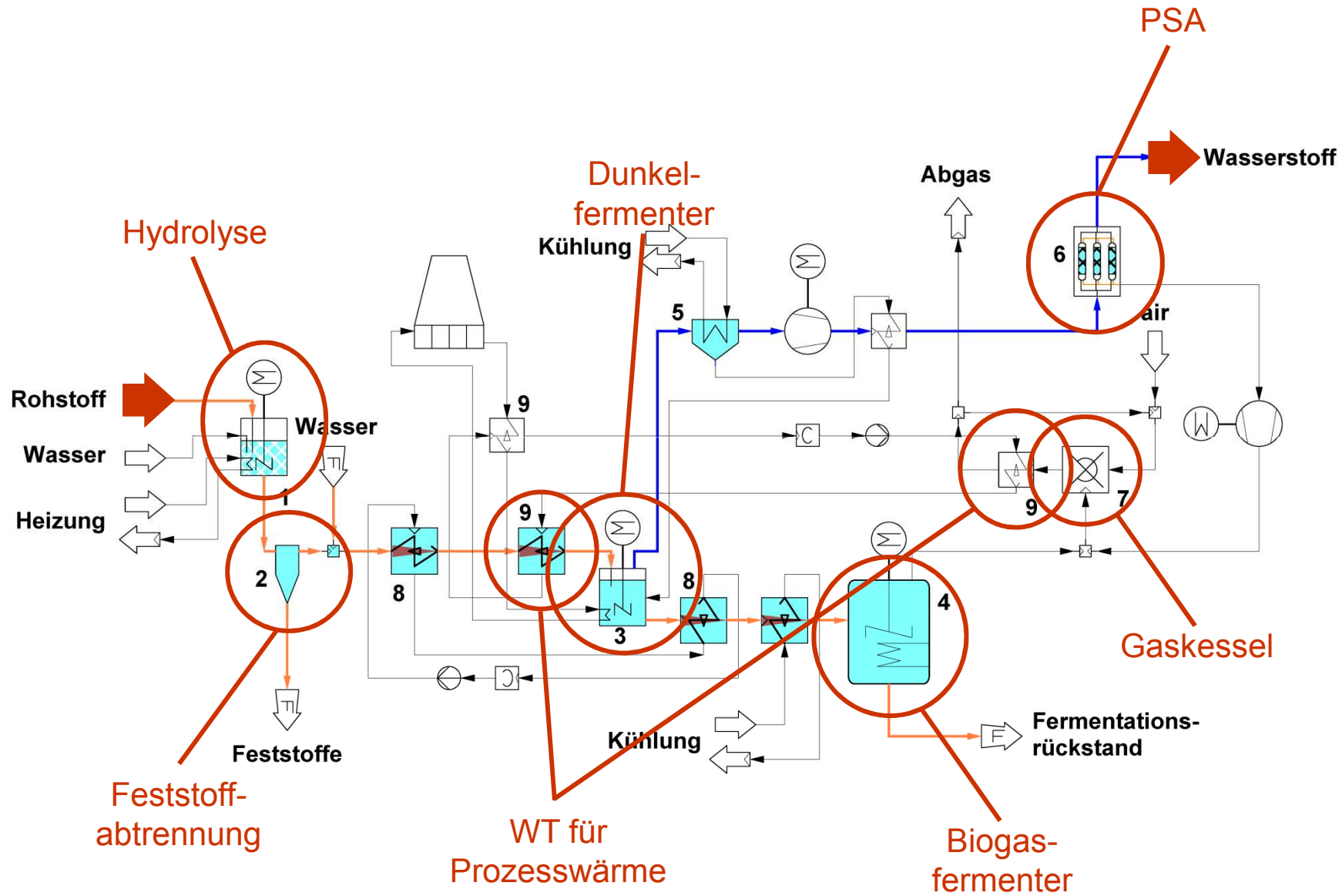
Ref.: Hyvolution Project EC, 6th Framework, 2006-2010

Wasserstoffproduktion in kg/h bzw. Nm³/h



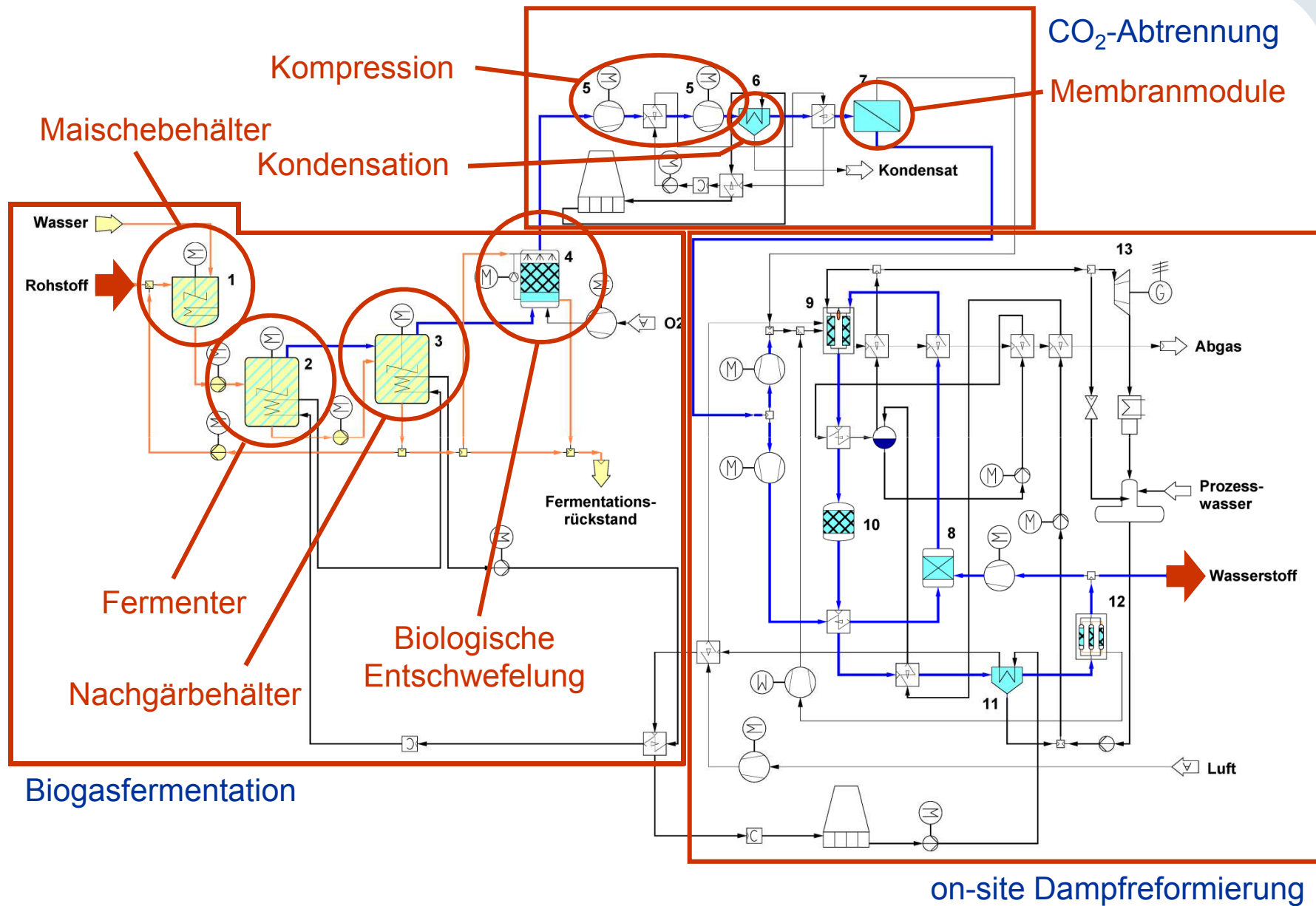
- **Prozesssimulation in IPSEpro[®]**
- **Gleichungsorientiertes Simulationsprogramm**
- **Entwicklung von ca. 30 neuen Unit-Modellen für die Abbildung der untersuchten Technologien**
- **Entwicklung der Flowsheets für alle untersuchten Technologien, Anlagenvarianten und Rohstoffvarianten**





- **Dunkel-/Biogasfermentation mit Biogasnutzung im Gasmotor:**
 - Erzeugung von Prozesswärme
 - Erzeugung von elektrischem Strom

- **Dunkel-/Biogasfermentation mit Biogasnutzung in on-site Reformierungsanlage nach CO₂-Abtrennung :**
 - CO₂-Abtrennung aus Biogas mit Membrananlage
 - On-site Reformierungsanlage wie bei Biogasfermentation und Biomassevergasung

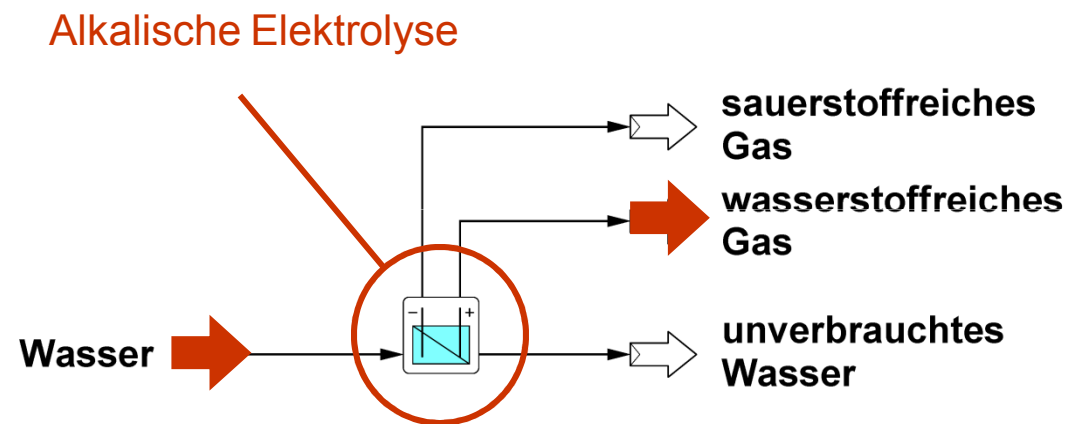


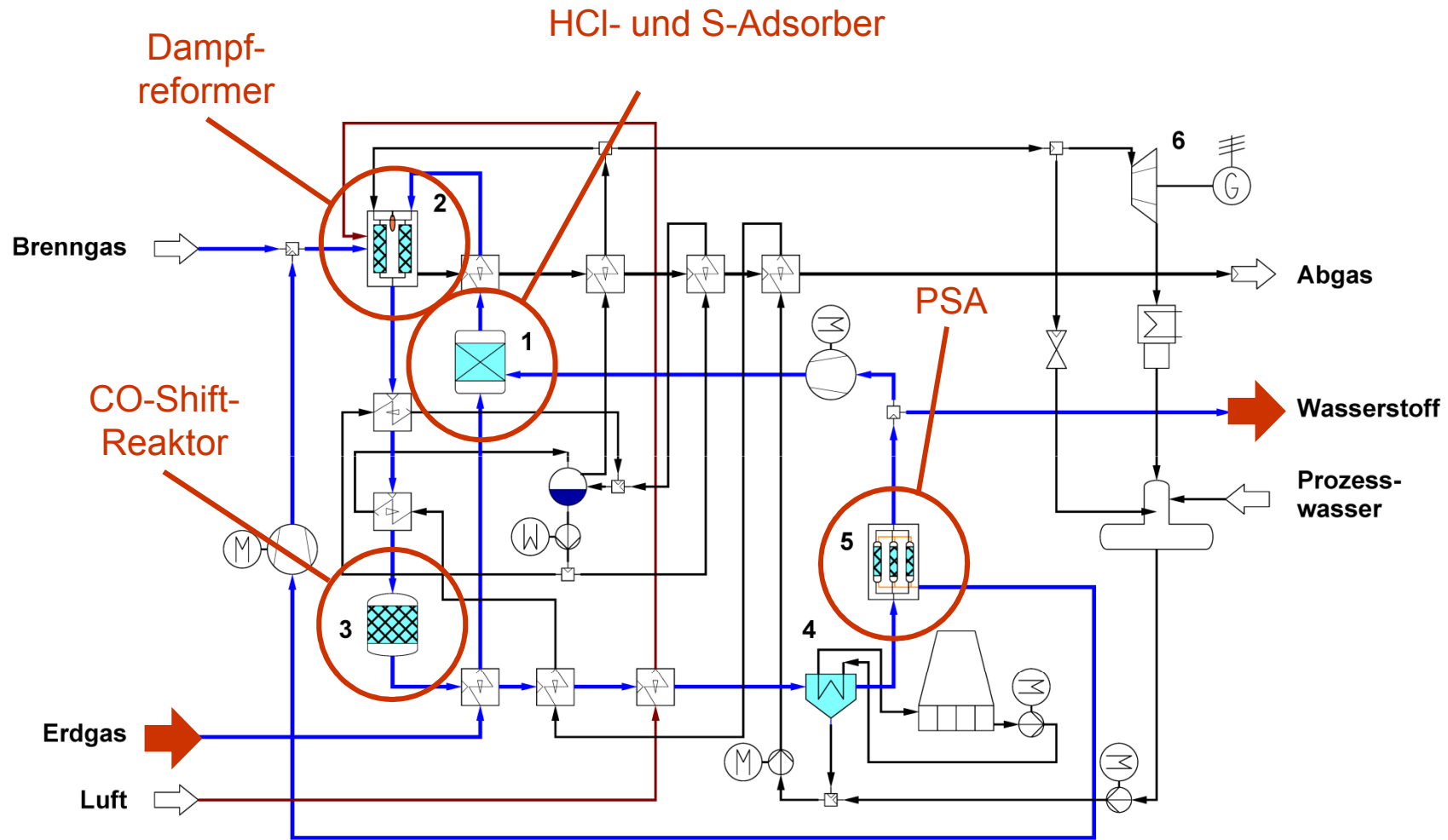
- **Biogasfermentationsanlage mit direkter on-site Reformierungsanlage:**
 - **Keine Gasaufbereitung zwischen Biogasanlage und on-site Reformierungsanlage**

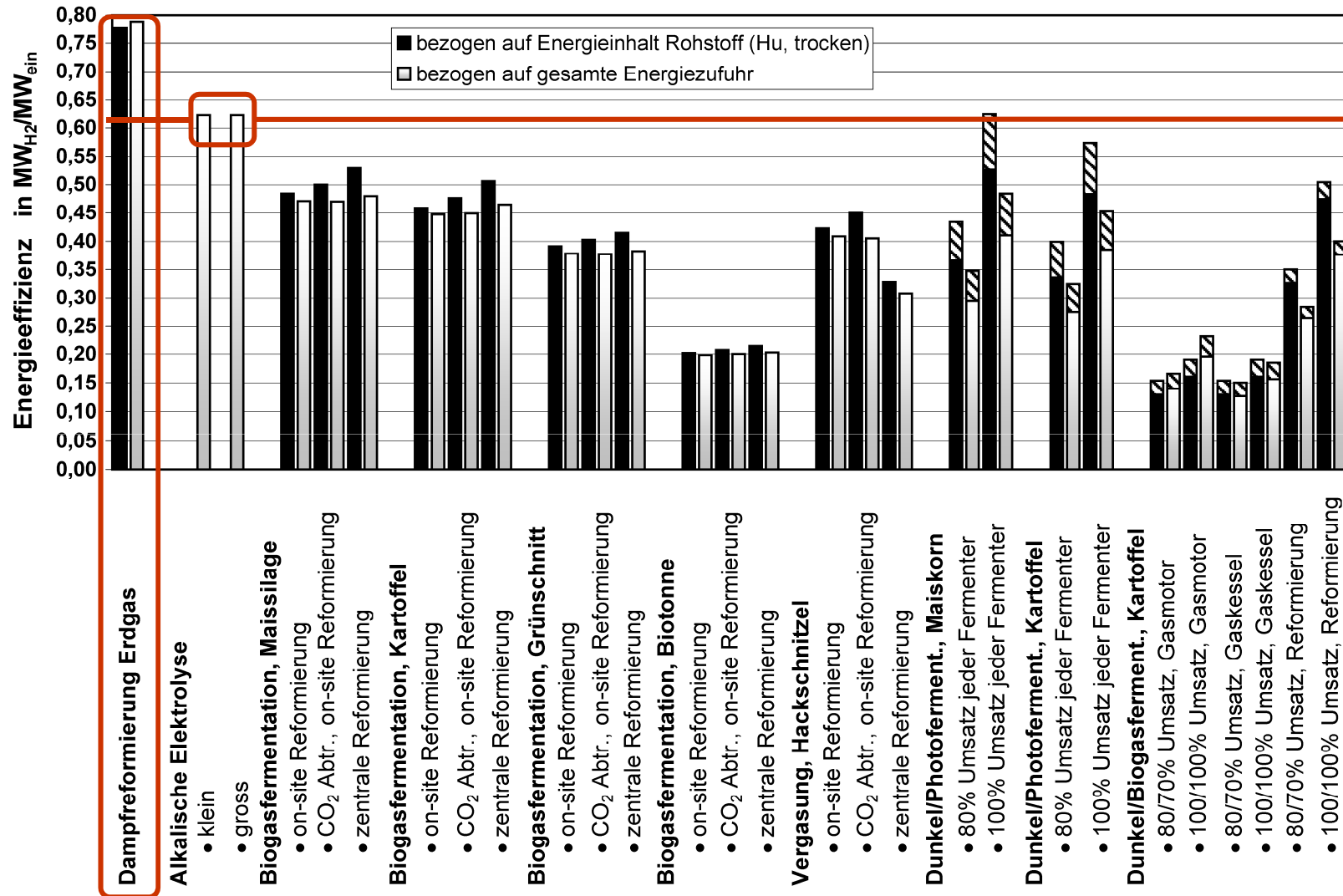
- **Biogasfermentationsanlage mit Netzeinspeisung und zentraler Reformierungsanlage:**
 - **Gasaufbereitung für Netzeinspeisung mit Membrananlage erweitert um S-Adsorber**
 - **Kompressor für Gaseinspeisung**
 - **Zentrale Reformierungsanlage für Gas aus mehreren (85-126) Biogasanlagen**

- **Biomassevergasung mit CO₂-Abtrennung und on-site Reformierungsanlage:**
 - CO₂-Abtrennung aus Vergasergas mit MEA-Absorber

- **Biomassevergasung mit Netzeinspeisung und zentraler Reformierungsanlage:**
 - Gasaufbereitung für Netzeinspeisung mit Adsorber (S- und Cl-Substanzen), Methanierung und Membrananlage
 - Kompressor für Gaseinspeisung
 - Zentrale Reformierungsanlage für Gas aus mehreren (38) Biomassevergasungsanlagen

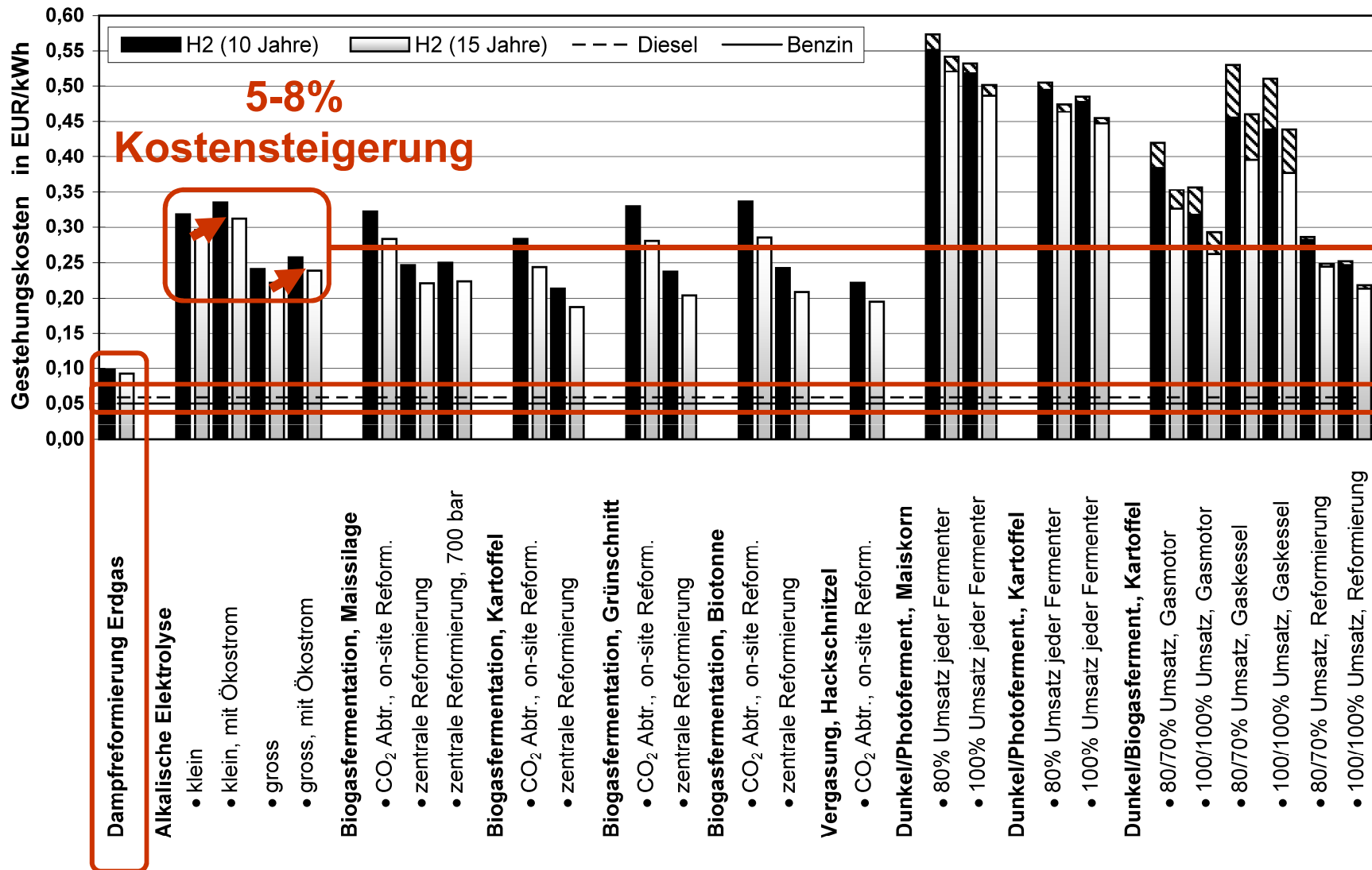






Volle Balken: 80% H₂-Recovery in PSA-Anlage, Schraffierte Balken: 95% H₂-Recovery in PSA-Anlage

- **Ökonomische Berechnungen durchgeführt mit IPSEpro-PSEconomy[®]**
- **Evaluierung der Wasserstoff-Gestehungskosten, die zu einer dynamischen Amortisationszeit von 10 bzw. 15 Jahren führen**



Volle Balken: 95% H₂-Recovery in PSA-Anlage, Schraffierte Balken: 80% H₂-Recovery in PSA-Anlage

- **Auswahl von Wasserstoff-Technologien anhand einer Literaturstudie und Forschungsergebnissen**
- **Entwicklung und Verifizierung von Prozesssimulationsmodellen**
- **Entwicklung und Simulation der Flowsheets für alle Anlagen- und Rohstoffvarianten**
- **Berechnung der Wirtschaftlichkeit für unterschiedliche Gesamtprozessketten**
- **Es gibt nicht EINE beste erneuerbare Technologie für Wasserstoff – jede hat Vor- und Nachteile**
- **Effizienz und Kosten auch stark rohstoffabhängig**

- **Höchste Produktionseffizienz:**
 - Reformierung von Vergasergas mit CO₂-Abtrennung und on-site Reformierung
- **Höchste Energieeffizienz:**
 - innerhalb erneuerbarer Technologien: **Alkalische Elektrolyse (Strom aus erneuerbaren Quelle!!!!)**
 - innerhalb biomassebasierter Technologien: **Biogasreformierung aus Maissilage mit zentraler Reformierung**
 - **Entwicklungspotential für Dunkel und Photofermentation**
- **Niedrigste Kosten:**
 - innerhalb erneuerbarer Technologien: **Biogasreformierung aus Kartoffelschalen mit zentraler Reformierung**

- **Angela Miltner / Walter Wukovits / Domenico Foglia / Michael Harasek**
- **Tobias Pröll / Hermann Hofbauer**



EC 6th Framework Program Hyvolution, No 019825