



Hamm,



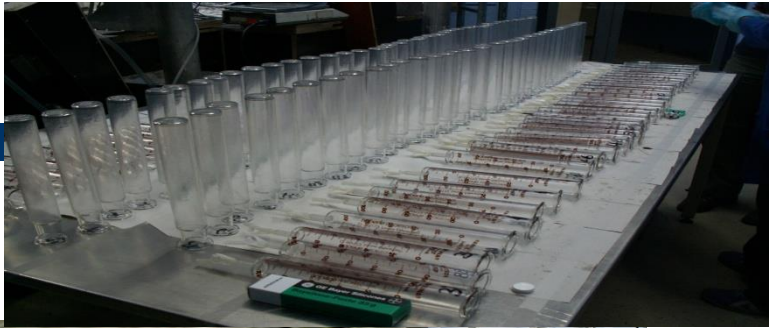
20. – 22. Juli 2015

Biogasproduktion – Stand der Technik und aktuelle Entwicklungen

*Dr. Hans Oechsner
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie,
Universität Hohenheim*



Hohenheim Biogas Yield Test “HBT”



✓ **High turnover equipment for methane potential determination in batch modus:**

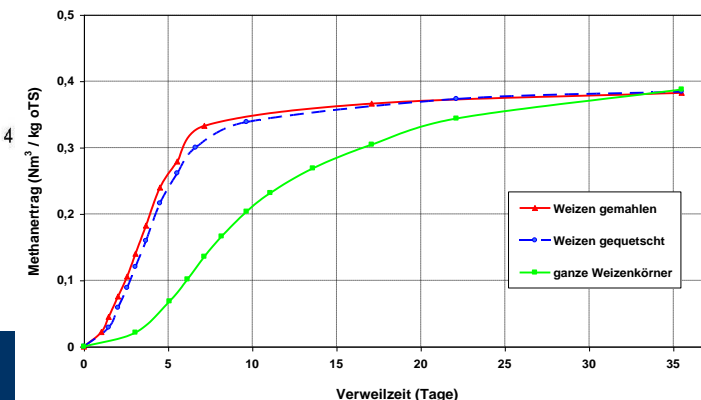
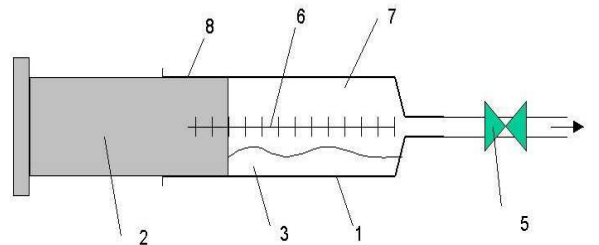
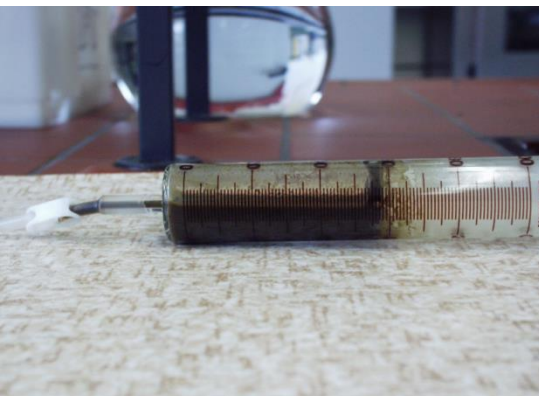
[more than 600 mini-digesters “100 ml”]

- 200 Variants
- Three repetitions
- Appropriate for plant-breeding programs



✓ **Excellent repeatability:**

- 2 Reference substrates
- The 0-Variant “Inoculum”



aktuelle Entwicklungen

Lab scale bio-reactors for batch and semi-continuous operations



Automatical
analysis of
gasvolume and -
quality

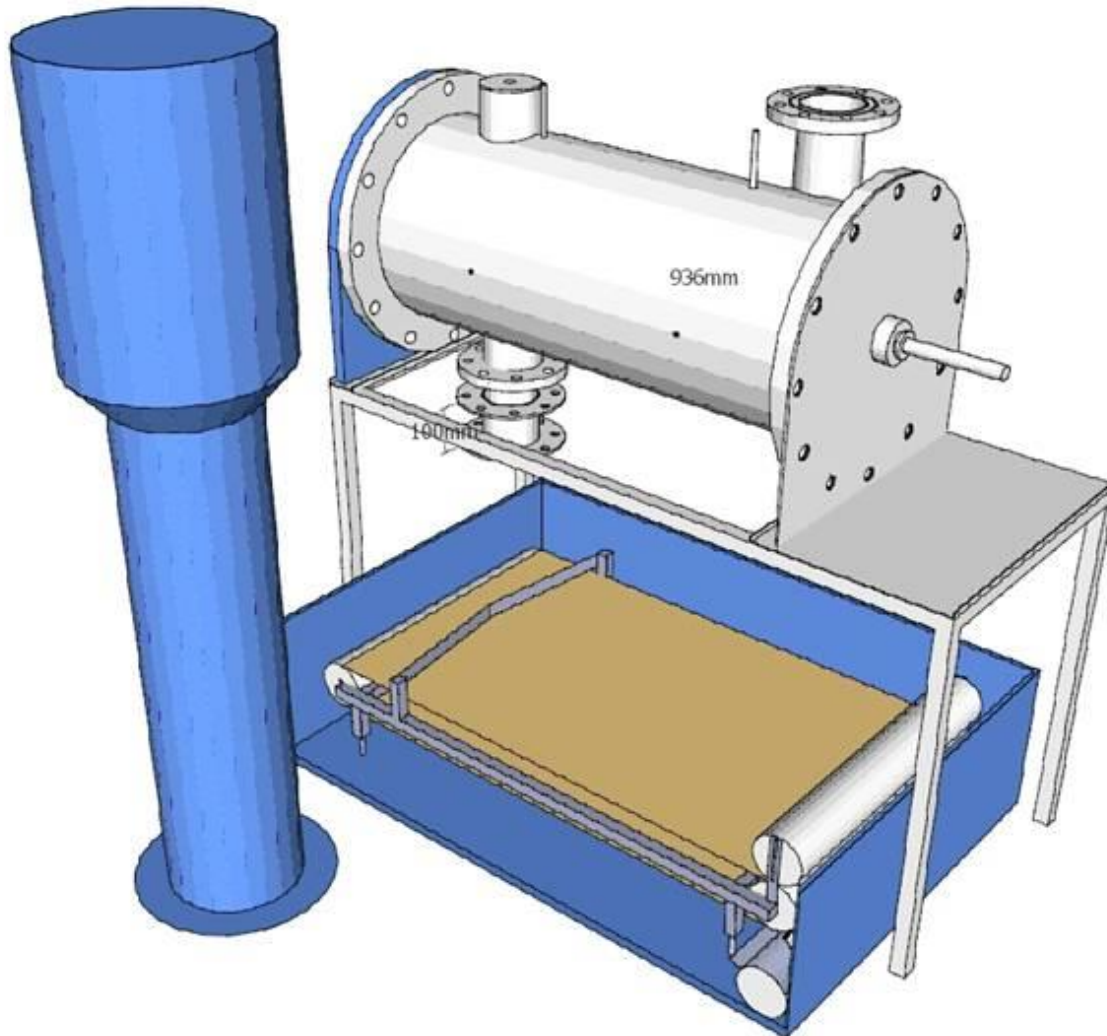


Overview:

Liquid feedstock storage
units (above left)

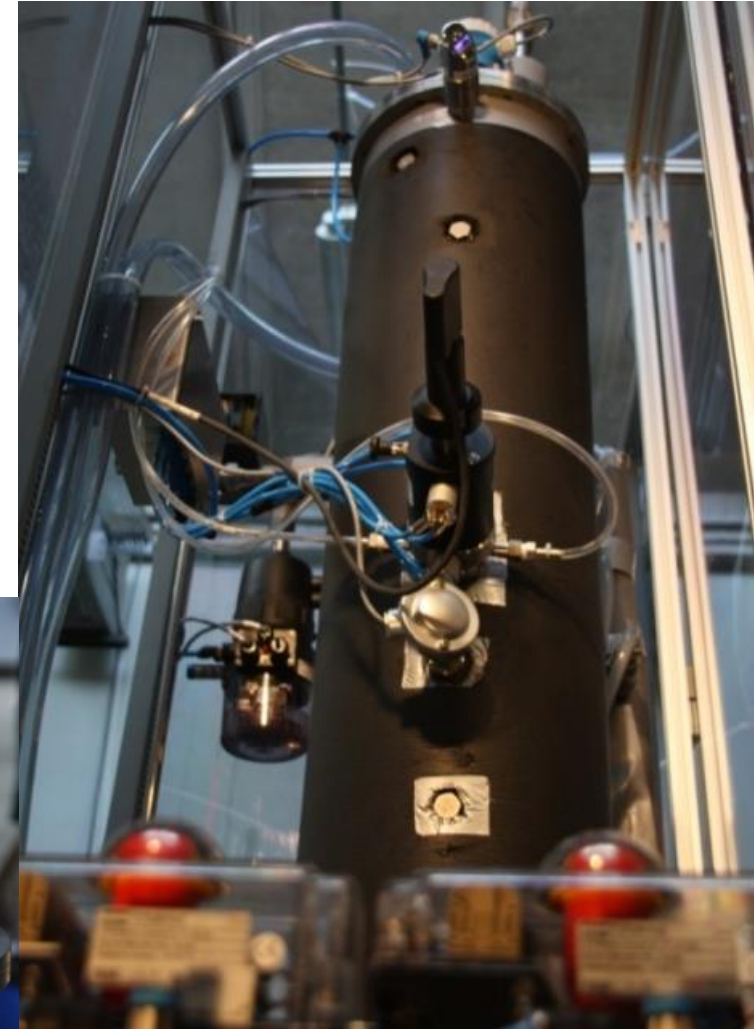
Vertical and horizontal
digesters (below left and
right)

Laboratory for 2-phase biogas-process

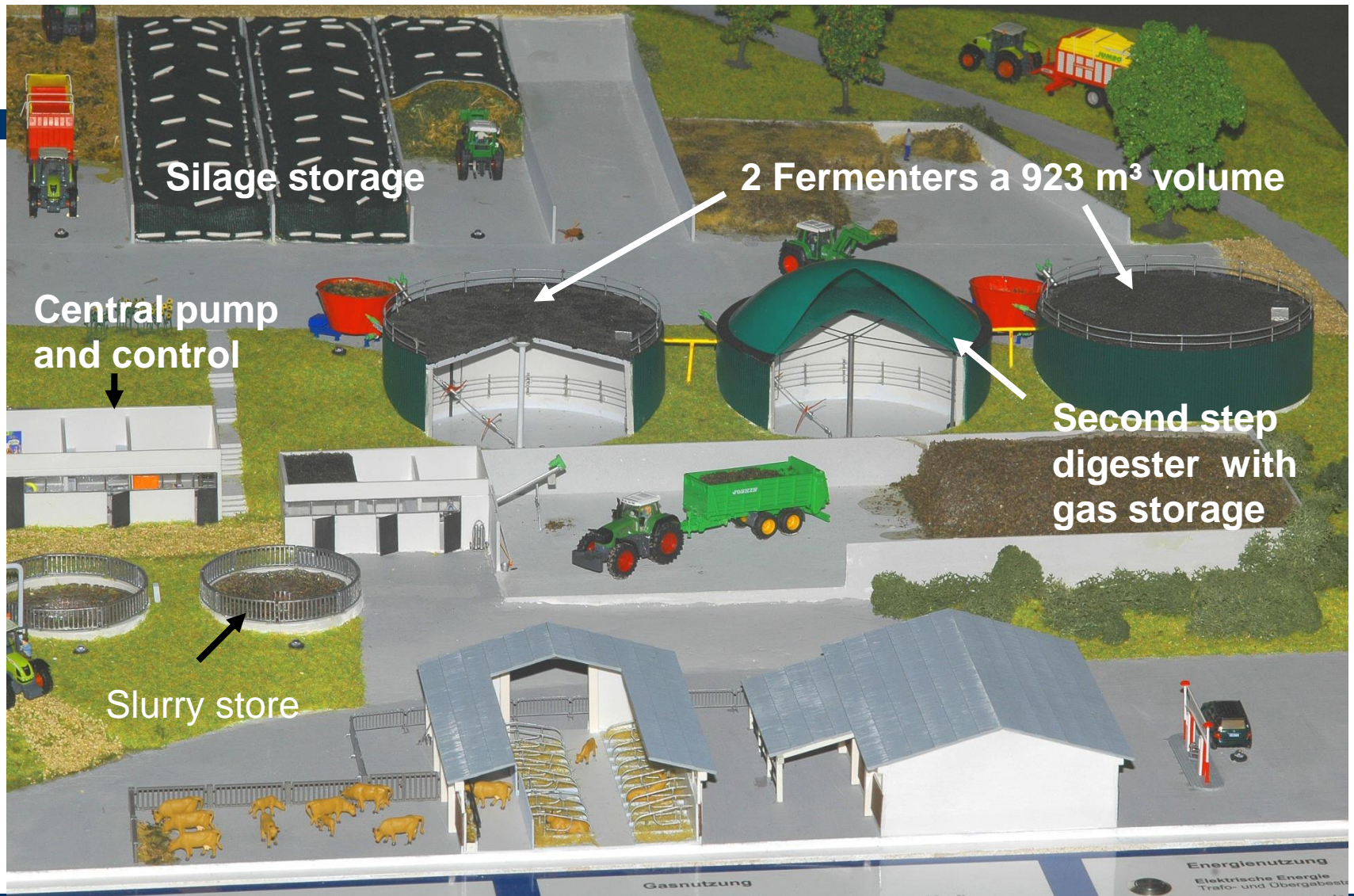


Pressure Digesters for 10 and 100 bar Methane Reactor: Upflow Fixed-bed (Anaerobic Filter)

- Approx. 20 Liter fixed-bed
- Carrier material: sintered glass cylinder
 - Diameter: 15 mm
 - Pore size: 60 – 300 μm
 - Porosity: up to 70%
 - Total effective surface area: 270 $\text{m}^2 \cdot \text{l}^{-1}$
 - Producer: Sera



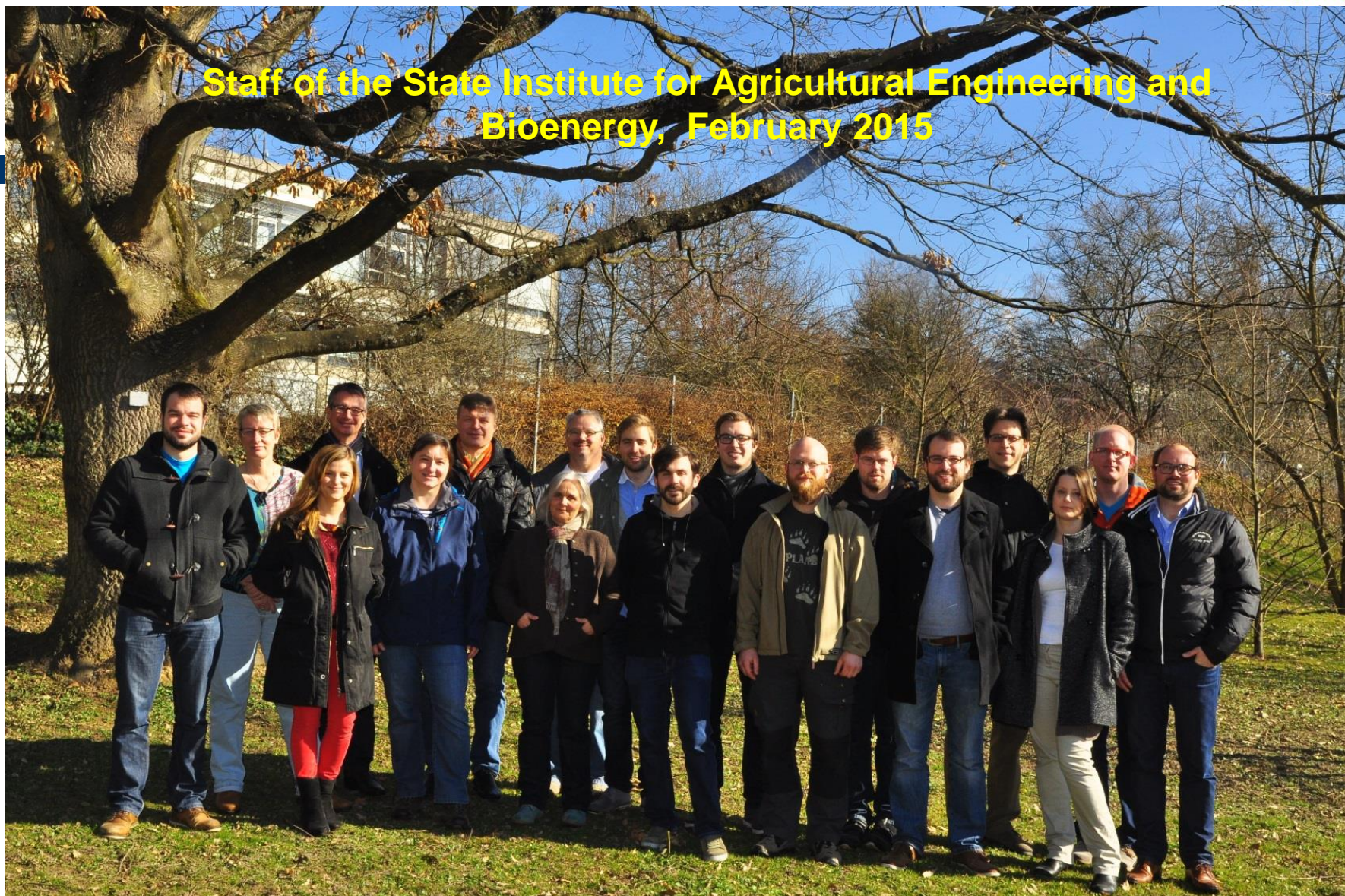
Full scale Biogas-research-plant „Unterer Lindenhof“



Research equipment for biogas production in Hohenheim



Staff of the State Institute for Agricultural Engineering and Bioenergy, February 2015



Biogasproduktion – Stand der Technik und aktuelle Entwicklungen

Dr. Hans Oechsner

1. Hammer Bioenergietage, 20. – 22. Juli 2015, Hamm

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



- **Stand der Technik bei der Biogasproduktion**
- Optimierungsmöglichkeiten
 - Steigerung der Effizienz
 - Erweiterung des Substratspektrums
 - Flexible Produktion der Energie
- Herausforderungen
 - Entwicklung von neuen Technologien zur Gasreinigung am Beispiel der Drckmethanisierung
 - Biologische Wasserstoffmethanisierung zur Speicherung von Energie aus fluktuierenden Quellen

Konversion von Biomasse zu Biogas und nutzbarer Energie - Biogas als Allrounder

Usable substrates:



Biogas Process



Desulfurication

Gasboiler



heat



Electricity, heat

CHP-Unit

Gasupgrading
Compression

Pressure-
storing



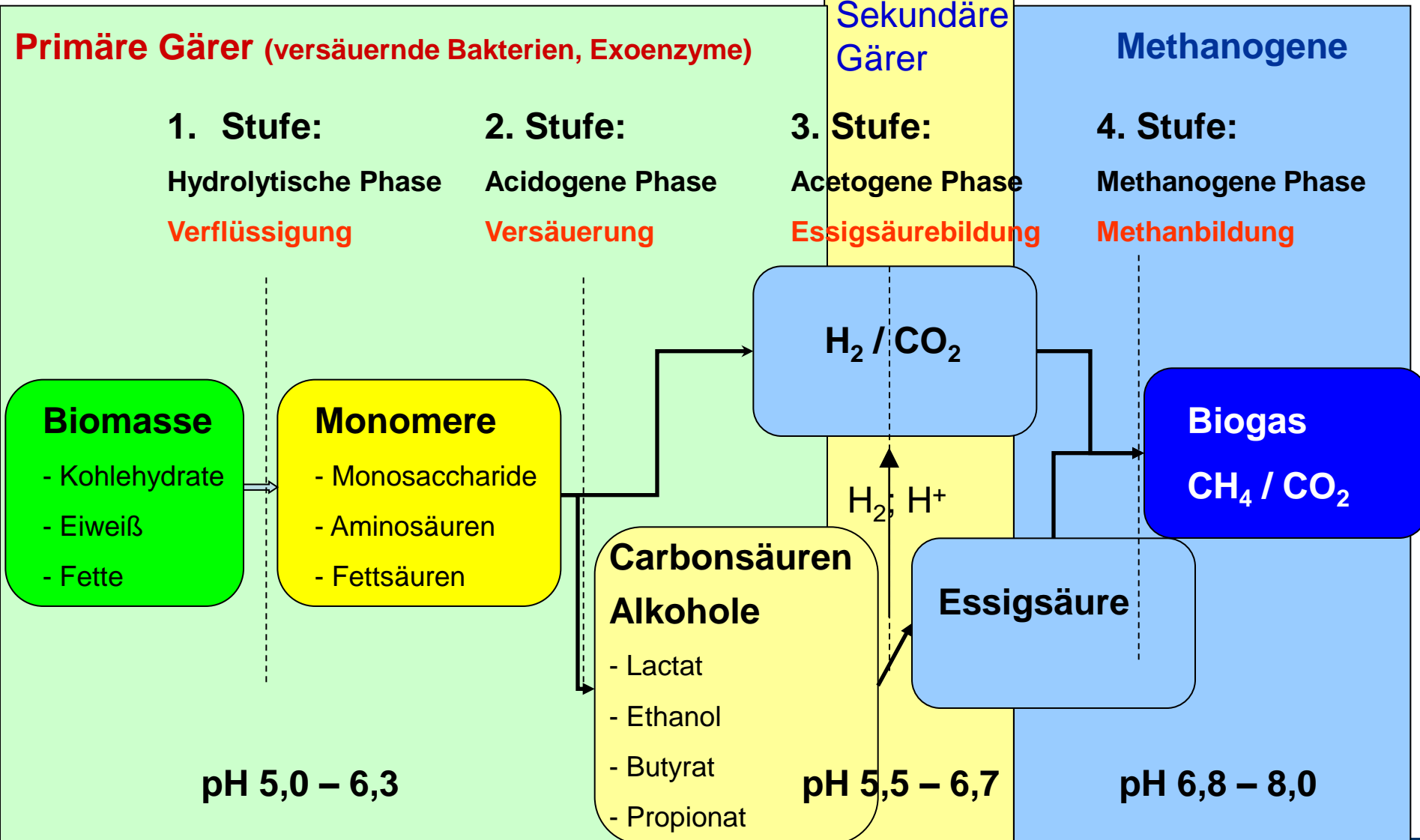
green gas, SNG

“Energie-Kreislauf” bei Biogas



- Nutzung von Sonnenenergie
- Kreislauf für CO₂
- Nährstoffe im Mist, Abfall, Pflanzenmasse kommen zurück aufs Feld

Schema der anaeroben Vergärung



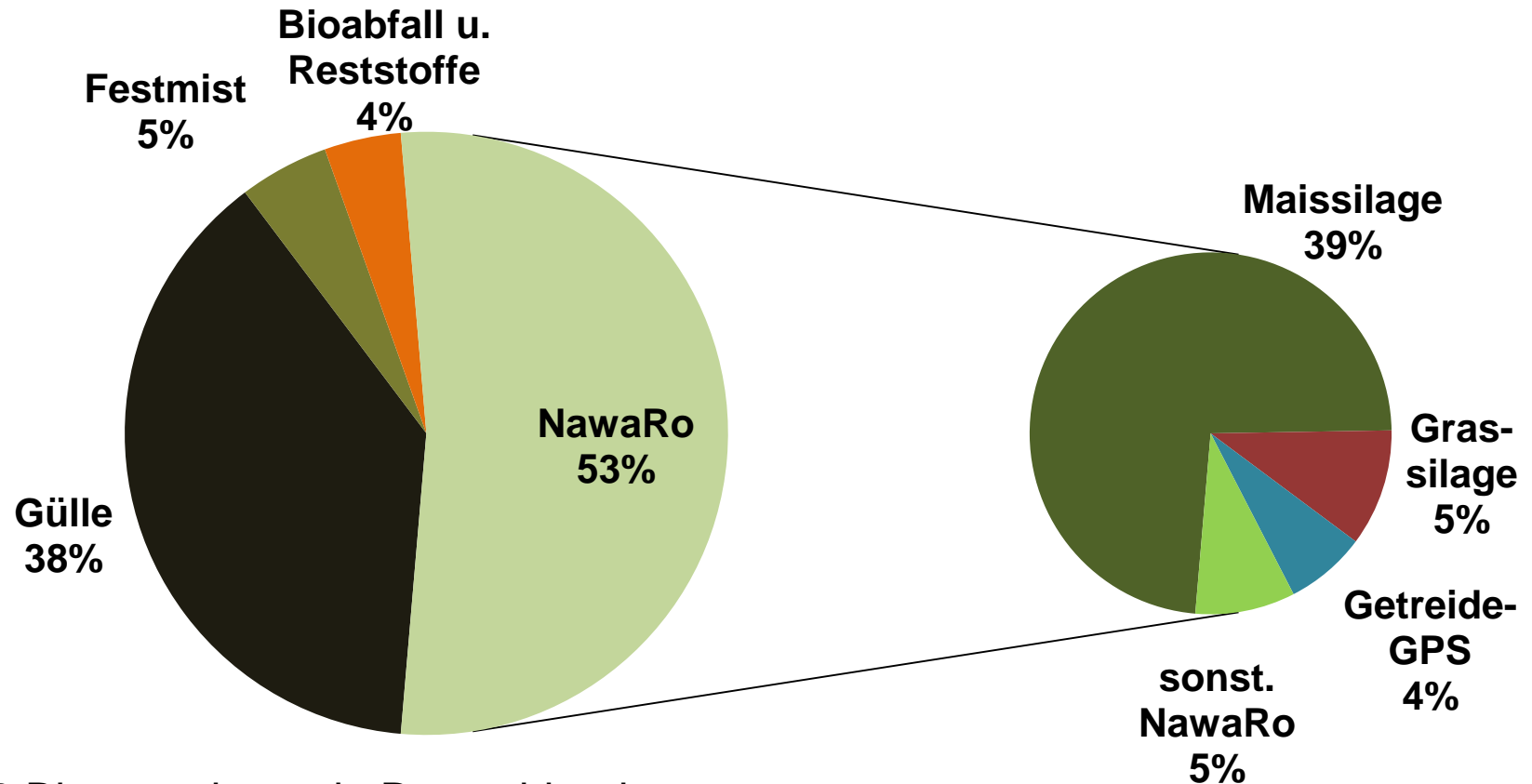
Number of biogas- and biomethane plants in different EU states

Country	Biomethane plants	Biomethane plants feeding the grid	Biogas plants (incl. LFG, sewage, agricult.)	Agricultural	Biowaste (incl. organic MSW)	Sewage	Landfill gas
Austria	10	7	503	approx. 300	55	134	14
Croatia	-	-	12	9	-	2	1
France	3	3	269	40	98	60	71
Germany	151	149	9.520	7.720	100	1.700	
Hungary	1	-	58	36	-	14	
Italy	-	2	1,3	app. 1.000	32	60	8
Netherlands	15	15	130				220
Poland	-	-	219	30	2	app. 200	
Slovakia	-	-	57	34	4	10	9
UK	4	4	360	60		100	> 200
Sweden	47	11	242	26	26	135	55
Switzerland	17	15	600	140		460	

www.greengasgrids.eu 2014, modified

Rohstoffeinsatz in Biogasanlagen

Aktueller Stand



- 7.720 Biogasanlagen in Deutschland
- Substrateinsatz ca. 115 Mio. t FM pro Jahr
- **Hohe Rohstoffkosten - Alternativen?**

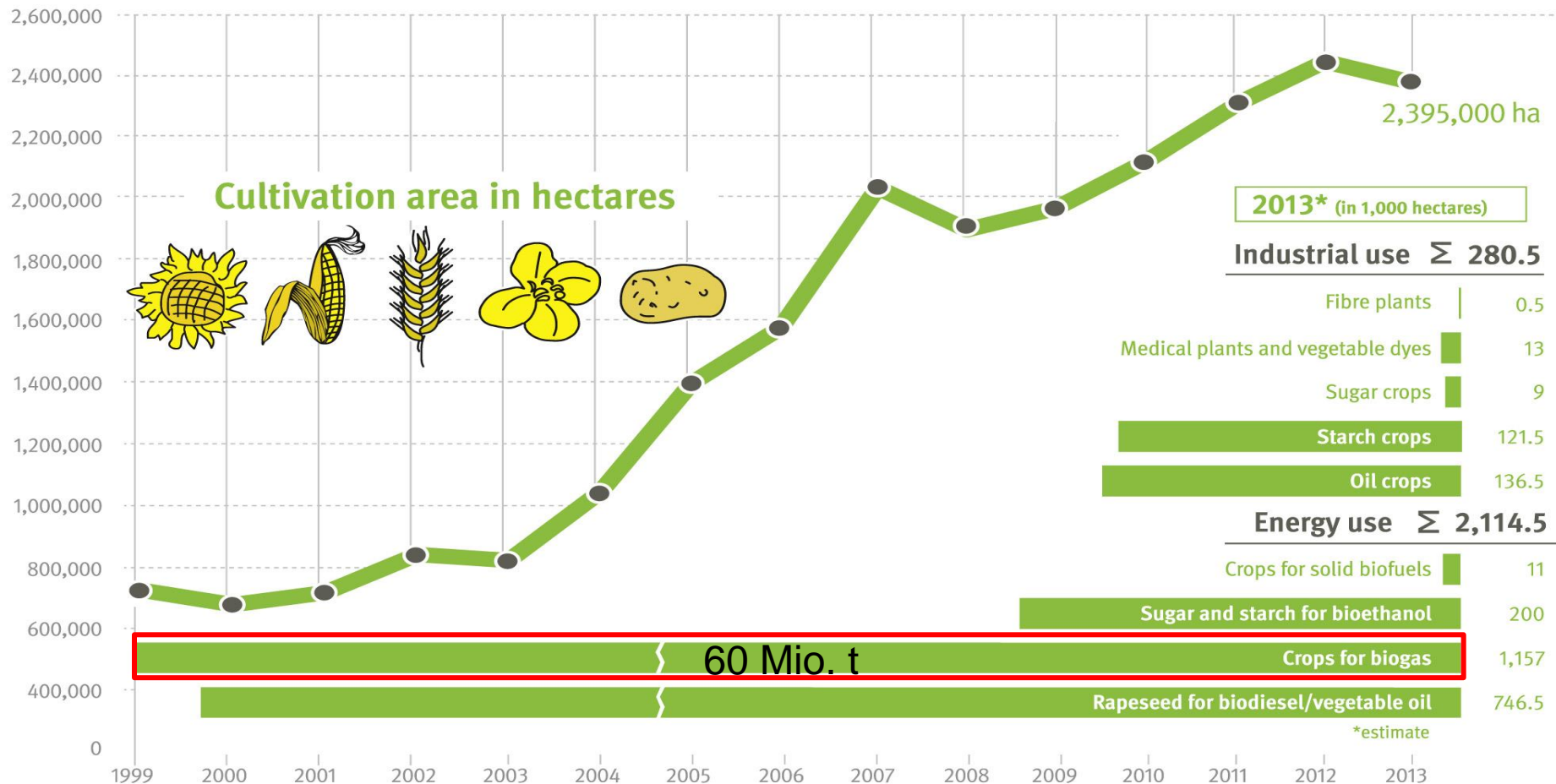
Literatur: Daniel-Gromke et. al, 2013;
Fachverband Biogas e.V., 2013; Gömann, 2013

Von ca. 12 Mio. ha Ackerland, werden 2.53 Mio. ha (21 %) für Energieproduktion und Industrie genutzt

ca. 10 % der Fläche werden für Biogaserzeugung eingesetzt

4.4 % des Stromverbrauchs über Biogas

CULTIVATION OF RENEWABLE RESOURCES IN GERMANY



Erneuerbare Energie in Deutschland

Technischer Stand der Biogaserzeugung

- Für die Erzeugung von Biogas gibt es unterschiedliche Verfahrenskonzepte und Betriebsweisen. Am Markt ist ein breites Spektrum an Technologien verfügbar
- Hauptsächlich beeinflusst durch die Regeln des EEG werden verschiedene Konzepte gewählt und das Design der Biogasanalgen ändert sich über die Zeit und passt sich diesen Vorgaben an

Fermenter-Design

Kontinuierliche Vergärung im Flüssigfermenter



vertikal, CSTR, Beton,
mehrere Stufen,
Gärrestlager gasdicht
abgedeckt



horizontal, Stahl, 2 Stufen komb.

In den vergangenen Jahren sehr intensive gesellschaftliche Diskussion über Bioenergie, im Besonderen zu Biogas – Vor und Nachteile

- Konkurrenz der Landnutzung – Teller oder Tank
- Verringerte Biodiversität – vorwiegend Maissilage wird genutzt
- Positive CO₂ Bilanz wird angezweifelt (unkontrollierte Emissionen)
- Steigende Strompreise in Deutschland

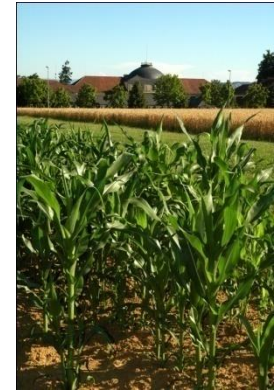
- Anpassung des EEG im Jahr 2014

- Der große Vorteil von Biogas liegt im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern vorwiegend
 - in seiner Flexibilität,
 - Nutzbarkeit für Grund- aber auch für Spitzenlast und
 - Speicherbarkeit
- **Diese Vorteile werden derzeit in keiner Weise angemessen im EEG 2014 berücksichtigt**

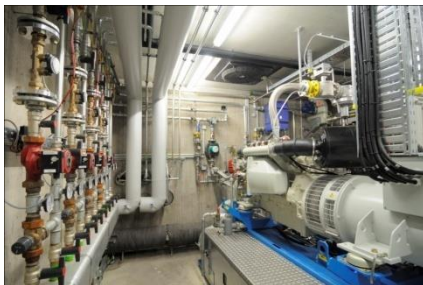
- Stand der Technik bei der Biogasproduktion
- Optimierungsmöglichkeiten
 - **Steigerung der Effizienz**
 - Erweiterung des Substratspektrums
 - Flexible Produktion der Energie
- Herausforderungen
 - Entwicklung von neuen Technologien zur Gasreinigung am Beispiel der Drckmethanisierung
 - Biologische Wasserstoffmethanisierung zur Speicherung von Energie aus fluktuierenden Quellen

Ansatzpunkte zur Steigerung der Effizienz der Biogastechnologie

- Steigerung der Flächenerträge und Energieeffizienz der Biomasseproduktion
Nutzung alternativer Substrate
- Verlustarme Lagerung bis zur Nutzung



- Hoher Wirkungsgrad bei der fermentativen Umwandlung der Biomasse zu Biogas

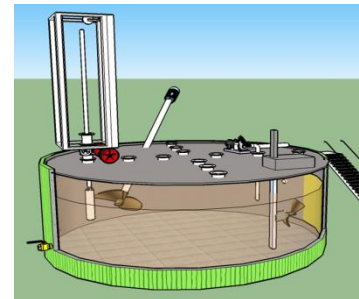
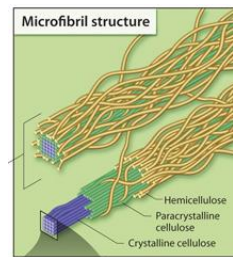
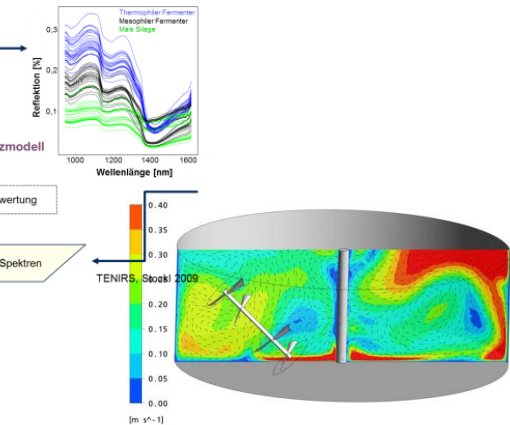
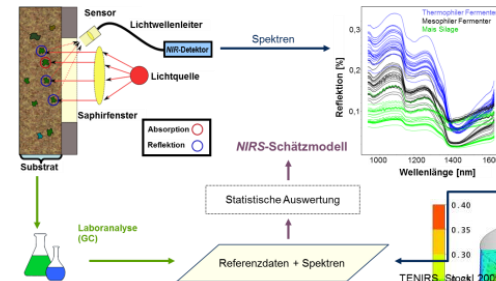


- Bestmögliche Nutzung der erzeugten Gase
 - BHKW
 - Gasreinigung

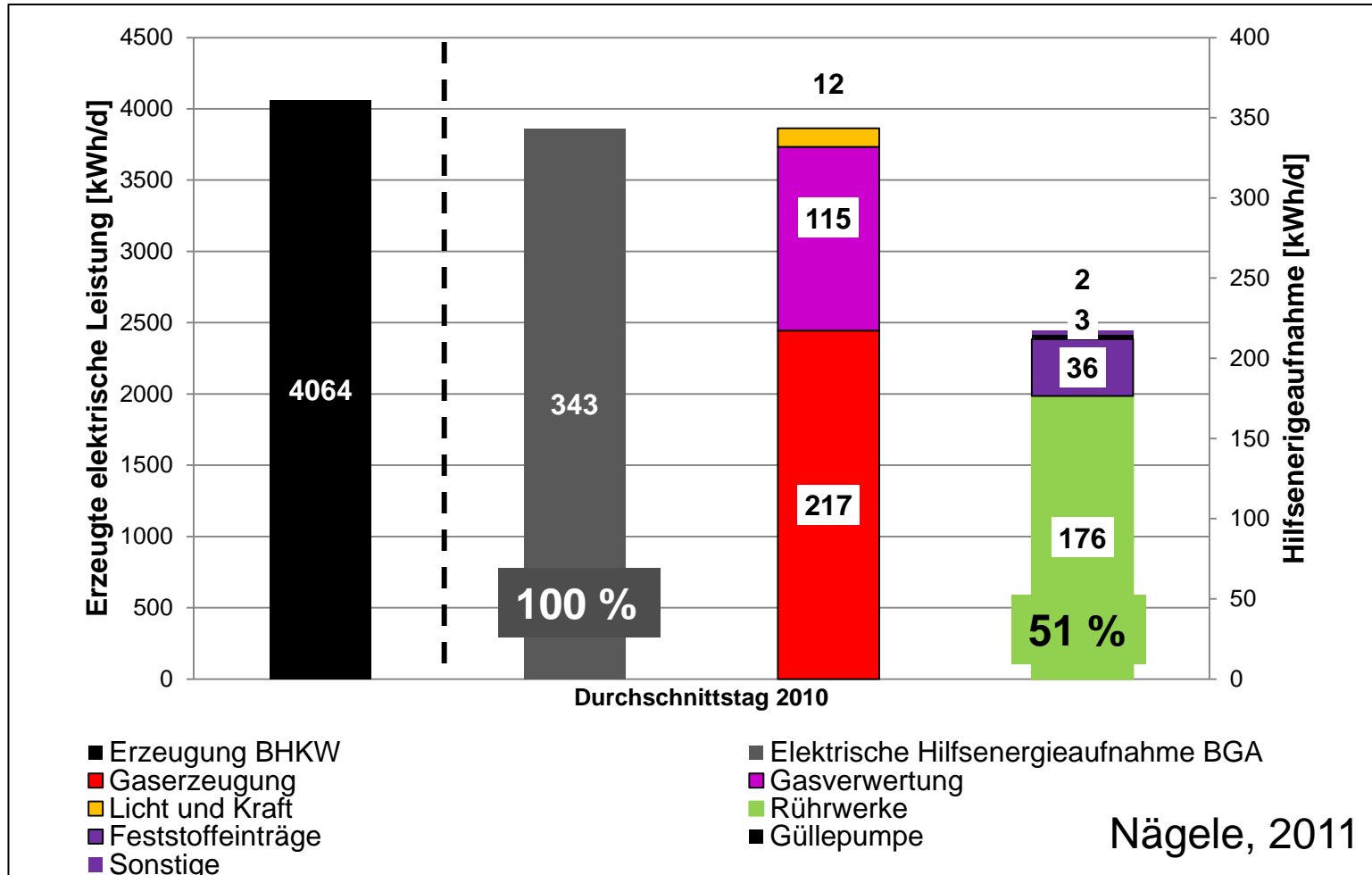
High efficiency in the fermentative, biological conversion of biomass to biogas

- Optimal feeding – trace elements
- Effect of enzymes
- Process control (new developments in progress)
- Energy efficient mixing activities
- Pretreatment of substrate

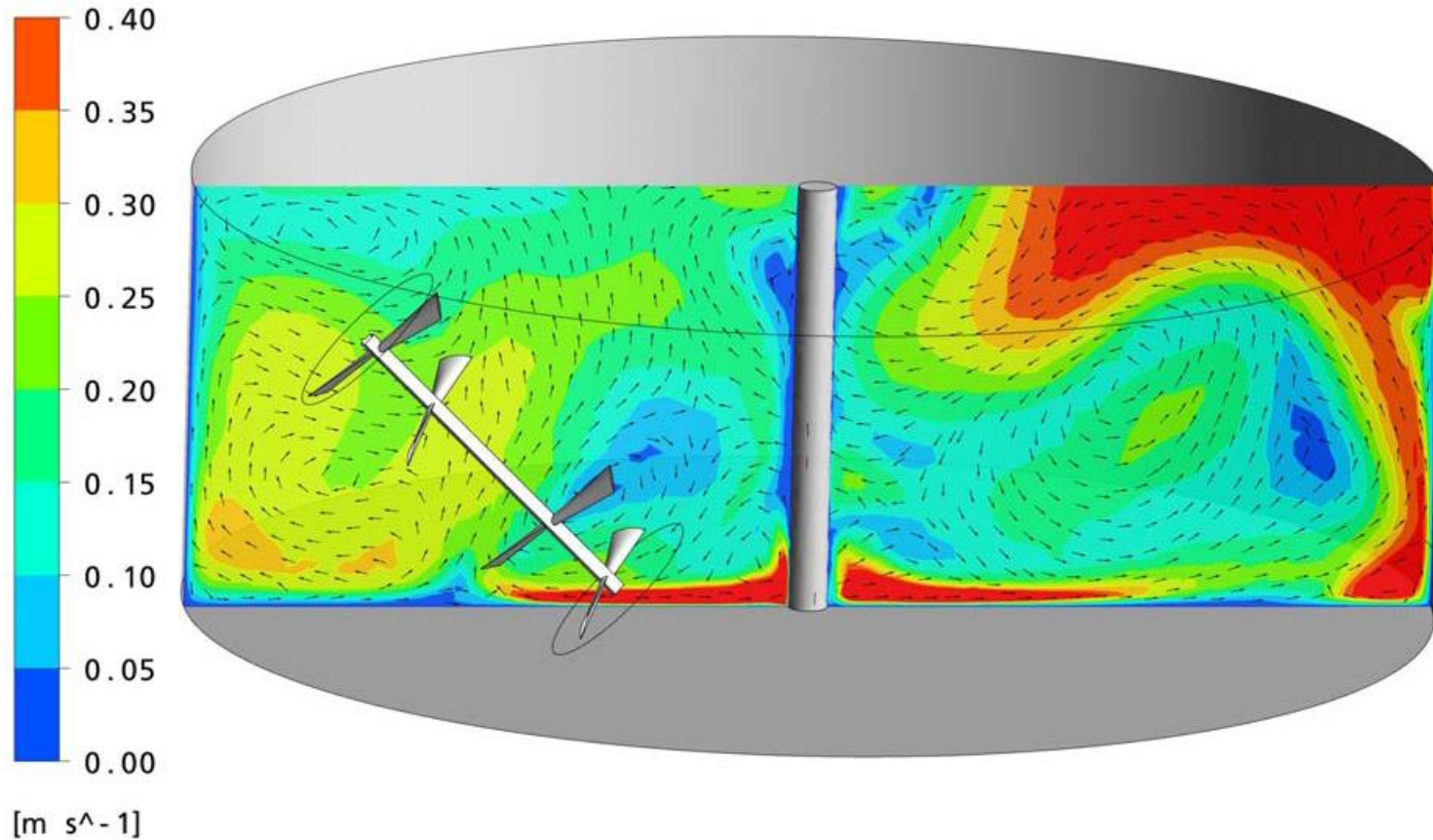
	Minimum:	Maximum:
	mg / kg DM	mg / kg DM
Nickel	3,0	16,0
Cobalt	0,4	5,0
Molybdenum	1,0	6,0
Selenium	0,2	2,0
Iron	1500	3000
Manganese	100	1500
Wolfram	0,1	30
Zinc	30	300



Elektrische Hilfsenergieaufnahme

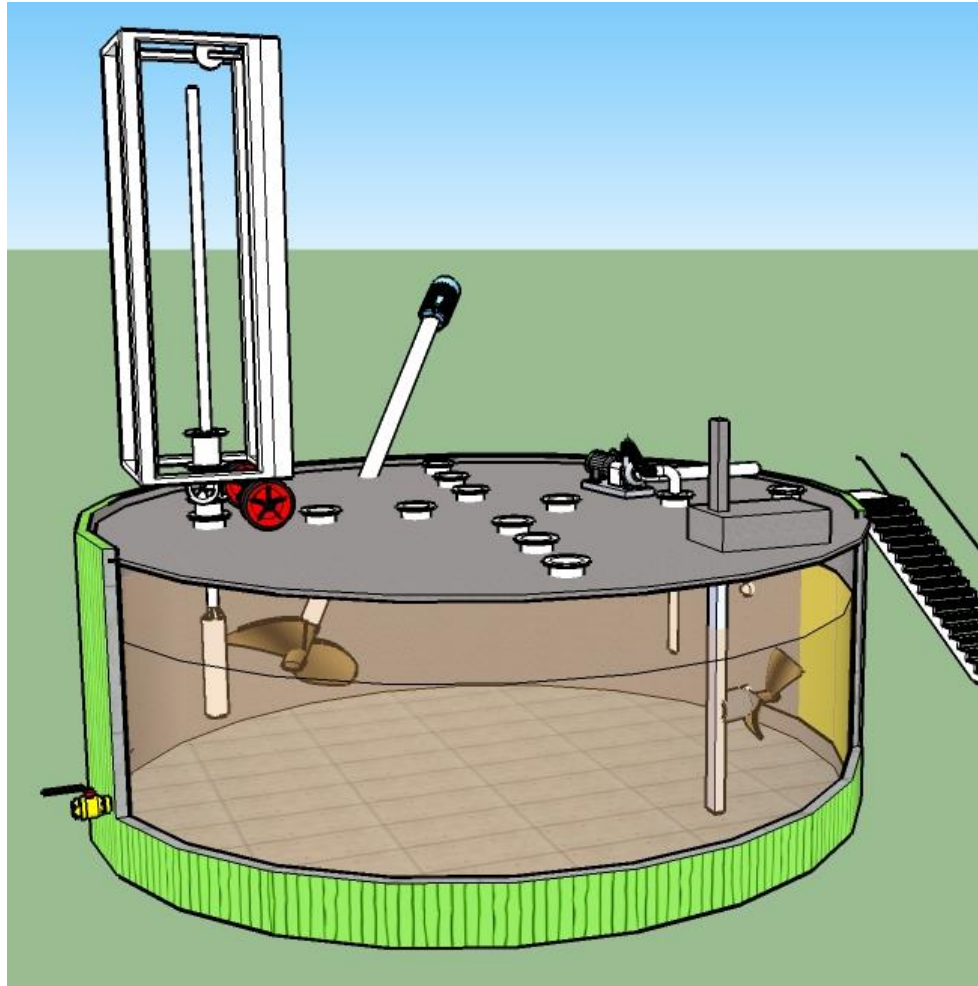


Entwicklung eines Systems zur Probenahme aus dem Fermenter – Bestimmung der Nährstoffverteilung



Strömungsgeschwindigkeit (Absolut) und Vektoren im Becken. Halbmond 4x2.3m, gekreuzt
Quelle: Casartelli, E., Waser, R., Frankhauser (2006) Strömungstechnische Optimierung eines Biomasse-Rührwerks, Bundesamt für Energie (Schweiz)

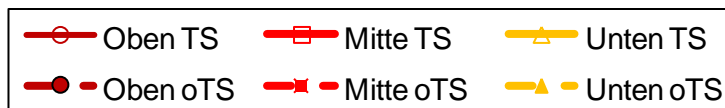
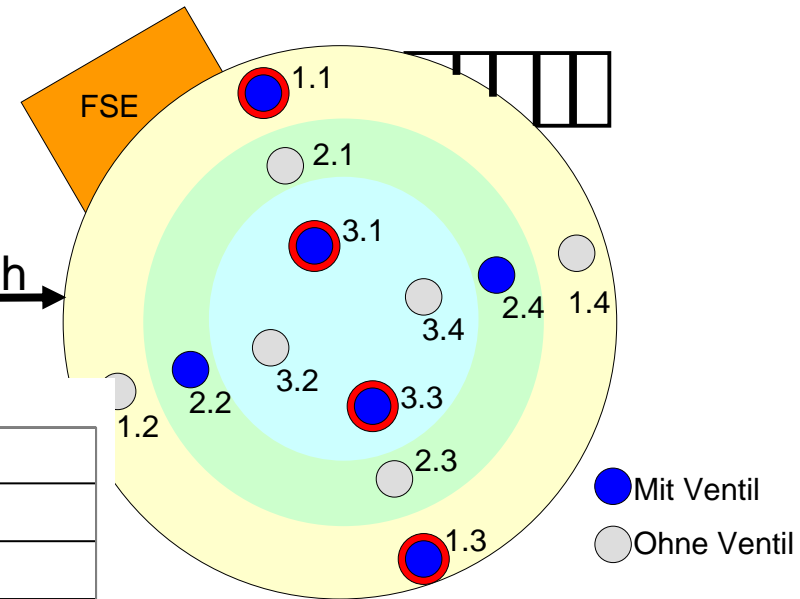
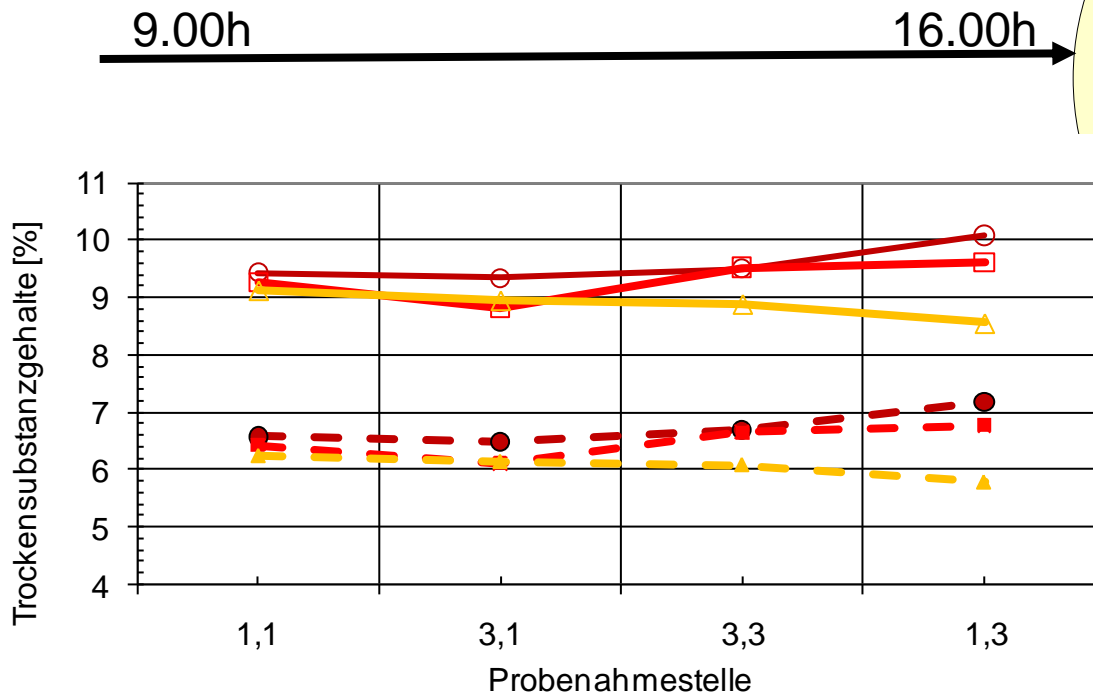
Entwicklung eines Systems zur Probenahme aus dem Fermenter – Bestimmung der Nährstoffverteilung



Nägele, 2011

Verteilung der Trockensubstanz

➤ Darstellung der homogenisierten Proben



Nägele, 2011

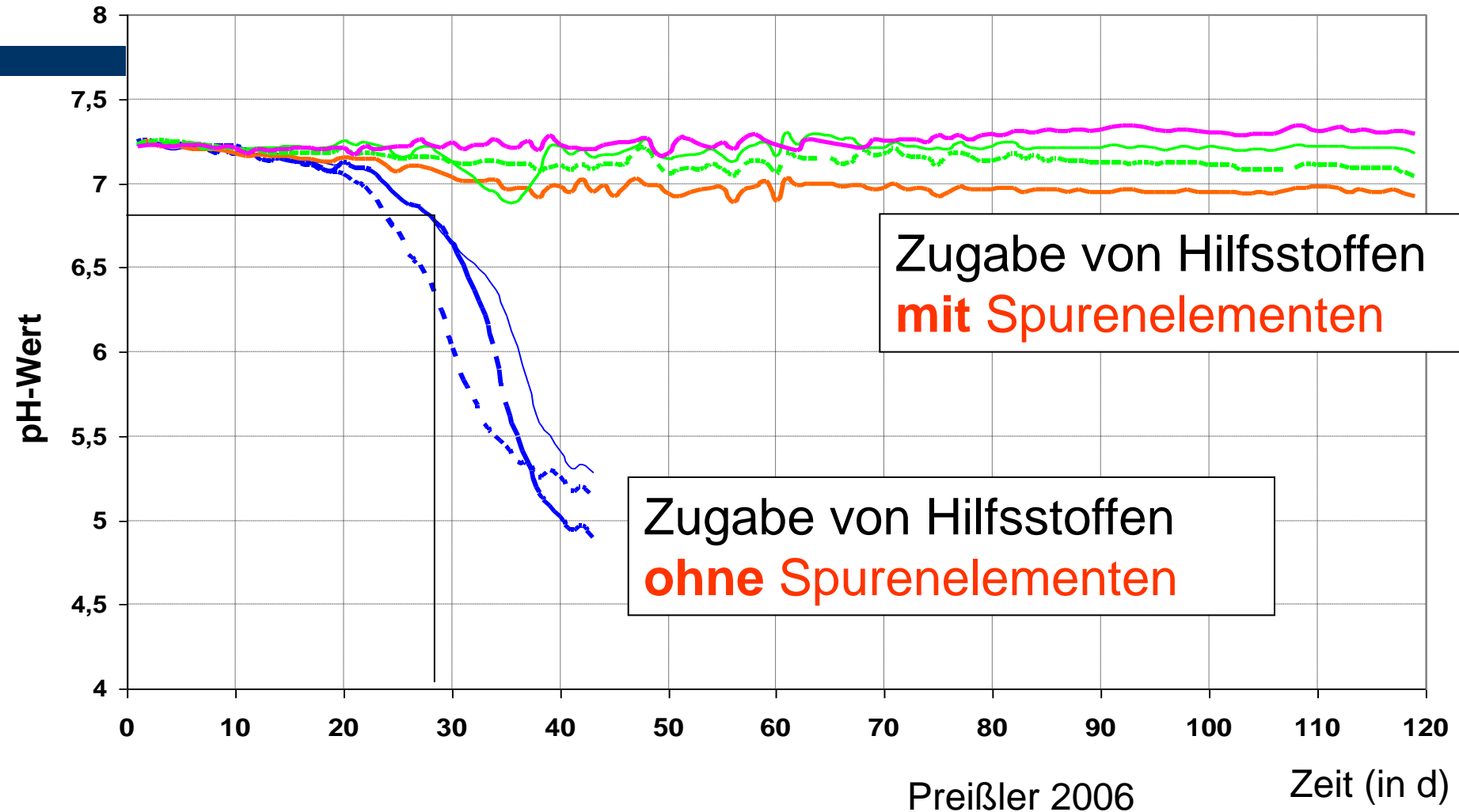
Was passiert, wenn eine biologische Prozessstörung erkannt wurde?

Erhebliche Erkenntnisgewinne in den vergangenen Jahren über die Prozessbiologie, z.B. Mineralstoffbedarf

- Methanogene Mikroorganismen haben einen speziellen Bedarf an Mikronährstoffen, insbesondere Ni, Co, Mo, Se, Fe
- Spurenelementmangel führt zu einer Destabilisierung des Gärprozesses
- Konzentrationen organischer Säuren im Fermenter steigt
- Biogasproduktion sinkt erheblich!

Vergärung reiner Maissilage **ohne** Güllezusatz

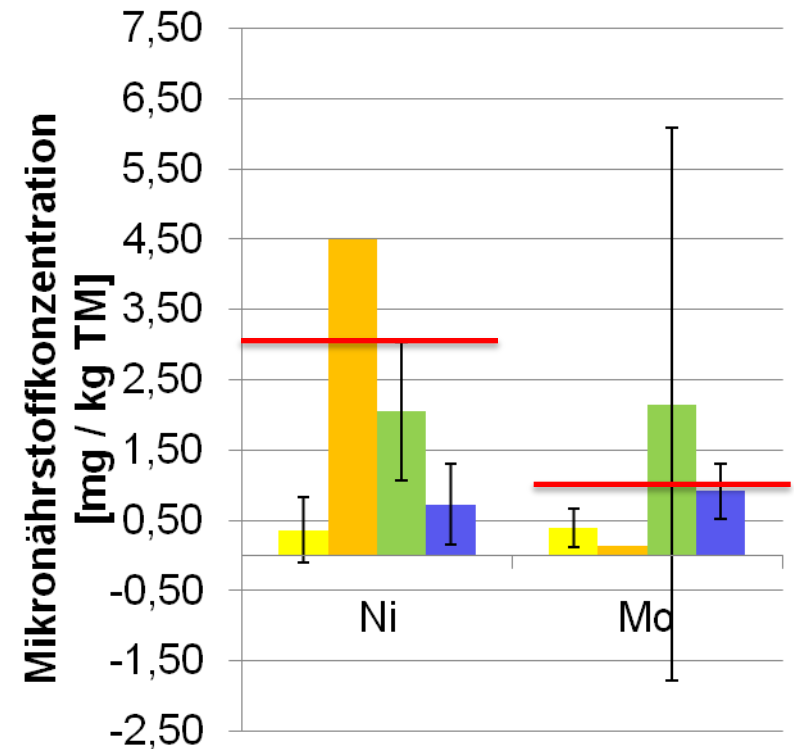
OLR 2,5 kg oTS/m³*d



Richtwerte der Optimalkonzentration verschiedener Spurenelemente:

	Minimum:	Maximum:
	mg / kg TM	mg / kg TM
Nickel	3,0	16,0
Kobalt	0,4	5,0
Molybdän	1,0	6,0
Selen	0,2	2,0
Eisen	1500	3000
Mangan	100	1500
Wolfram	0,1	30
Zink	30	300

Allgemeine Nährstoffverteilung in der Pflanze



■ Maissilage
 ■ Rübenmus
 ■ Grassilage
 ■ GPS

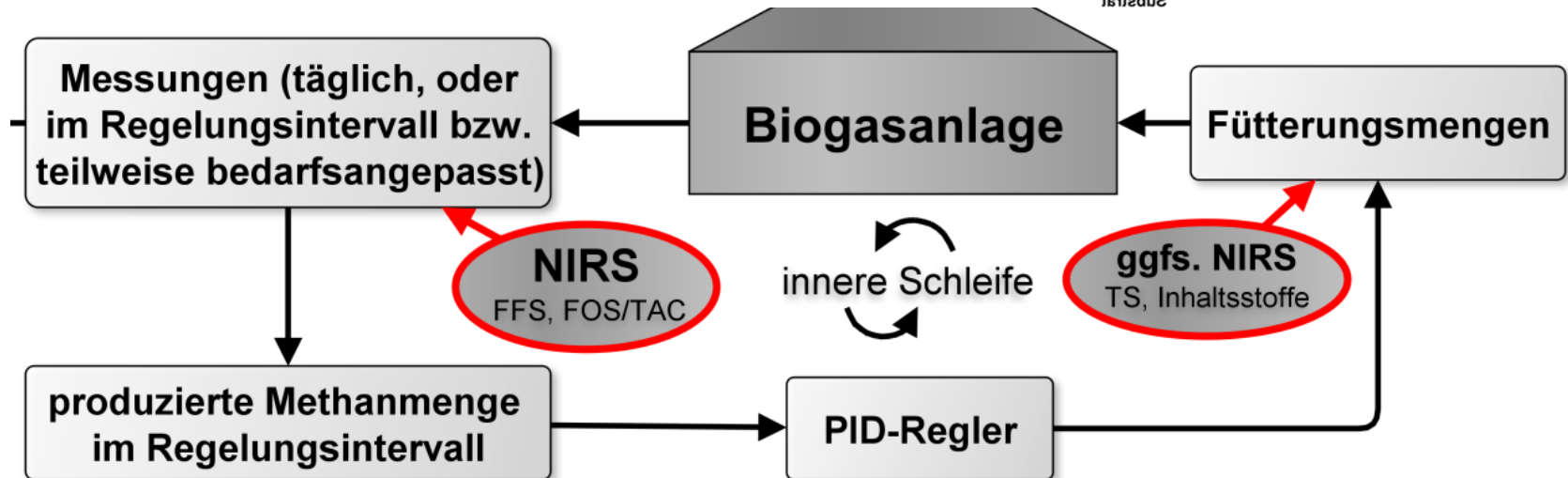
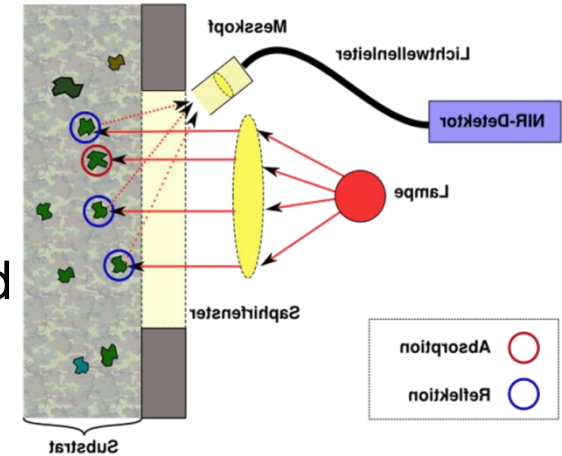
Maissilage: n = 23 ; Rübenmus: n = 1 ; Grassilage: n = 24 ; GPS: n = 6

Preißler, Lemmer, Oechsner, 2008

NIRS - Online-Messsystem - Regelung

Kombination der NIRS-Messung mit modellbasierter Steuerungs- und Regelungstechnik der Biogasanlage:

- ⇒ Anlage misst **Qualität des Inputs** und **Prozessauslastung** selbstständig
- ⇒ Substratinput wird geregelt
- ⇒ so dass **eine hohe Auslastung erreicht** wird und gleichzeitig **kein Biogas ungenutzt entweicht**



Schematische Darstellung des Regelungsprinzips

(Löffler et al., 2011, verändert)

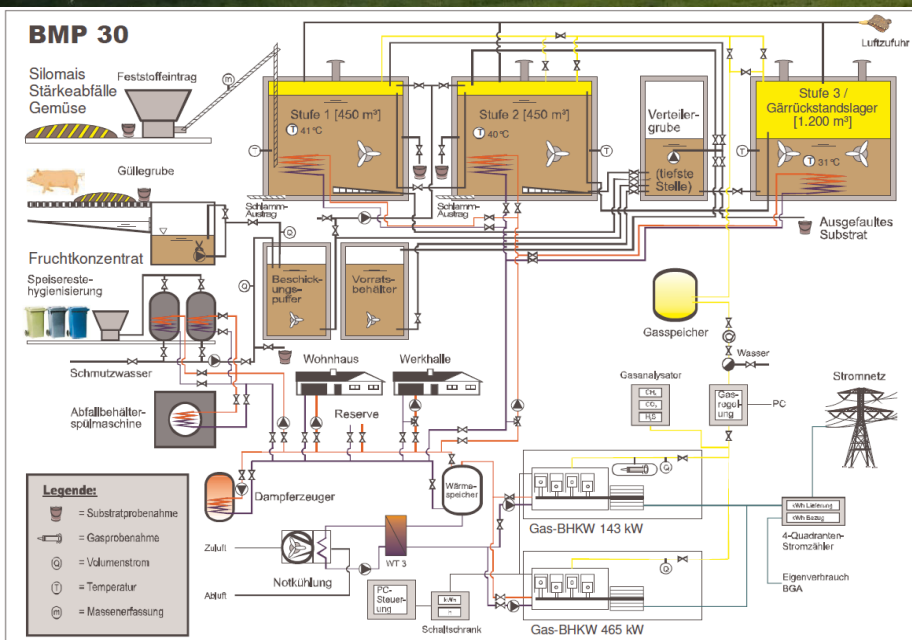
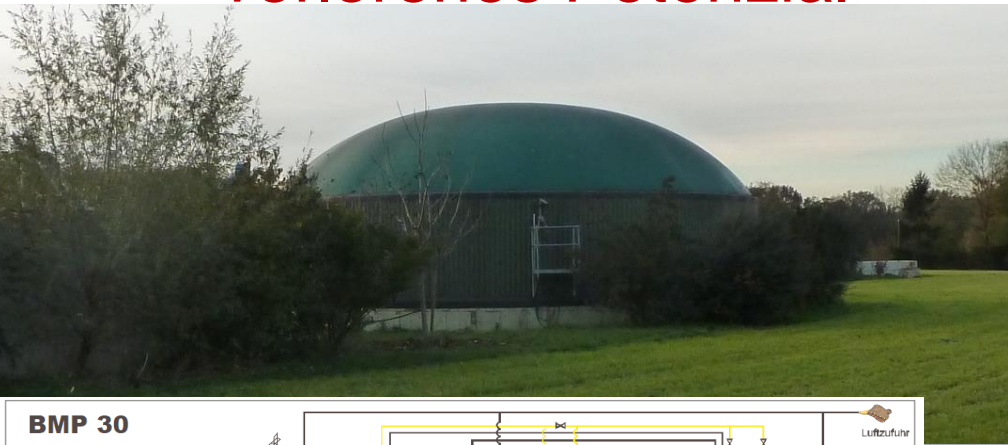
- Stand der Technik bei der Biogasproduktion
- Optimierungsmöglichkeiten
 - Steigerung der Effizienz
 - Erweiterung des Substratspektrums
 - Flexible Produktion der Energie
- Herausforderungen
 - Entwicklung von neuen Technologien zur Gasreinigung am Beispiel der Drckmethanisierung
 - Biologische Wasserstoffmethanisierung zur Speicherung von Energie aus fluktuierenden Quellen

Kofermentation von organischen Nebenprodukten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen (nur 38 Anlagen in Ba-Wü.) Dezentrale Vergärung

Optimal geschlossener Nährstoffkreislauf



Nur 100 kommunale Vergärungsanlagen für Bioabfall (2.6 Mio t Kapazität/ a mit 85 MW) aber etwa 1000 große Kompostierungsanlagen = verlorenes Potenzial



Verfügbare Reste sind meist nicht leicht vergärbar – häufig hoher Fasergehalt

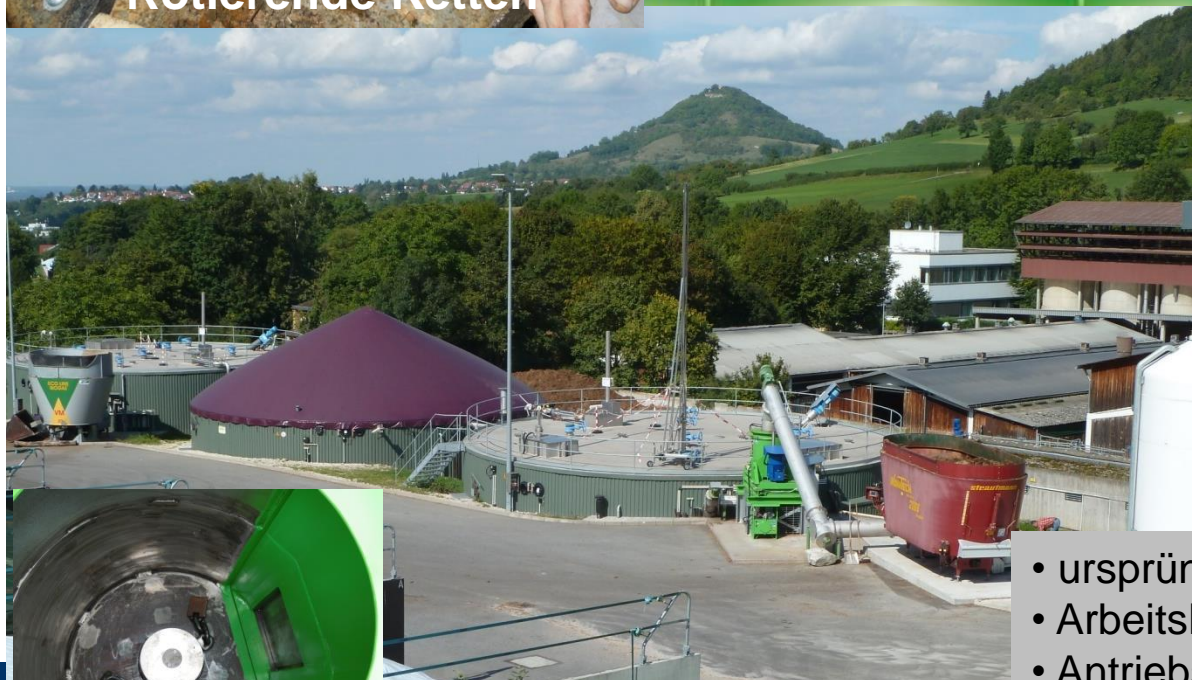
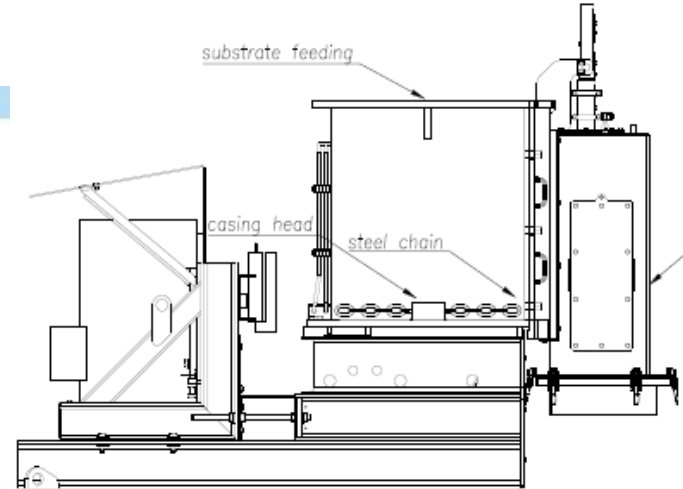
Beispiel Pferdemist

Ziele:

- Bestimmung der Vergärbarkeit dieses faserreichen Substrates
- Steigerung der Abbaubarkeit und Verfahrenseffizienz
- Optimierung der Handhabbarkeit im Fermenter
- Steigerung des Methanertrages
- Nutzung des Pferdemistes als Energiequelle



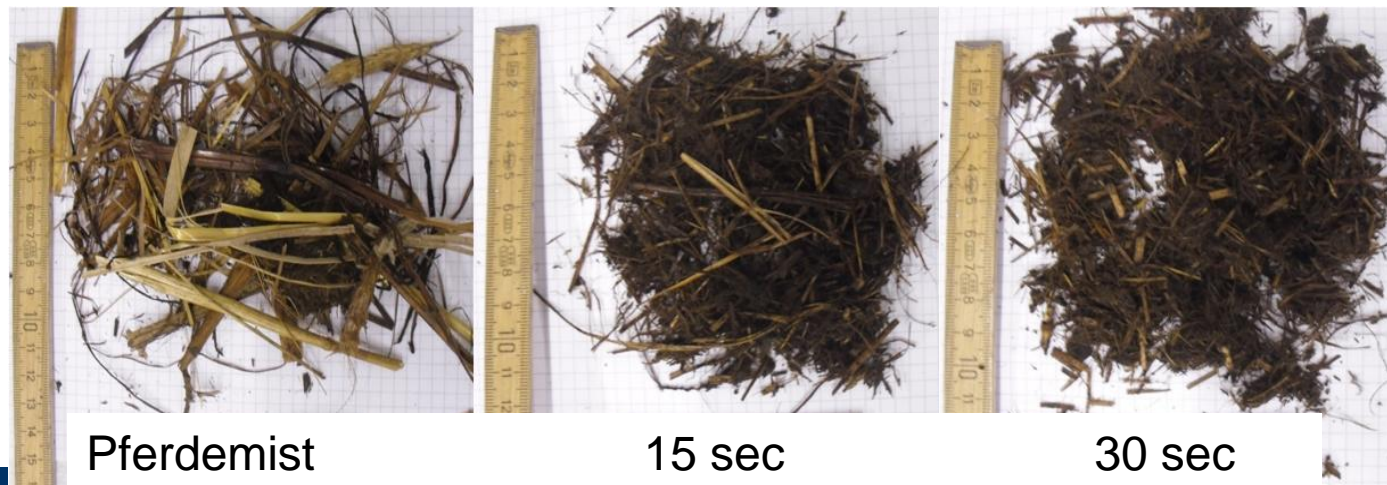
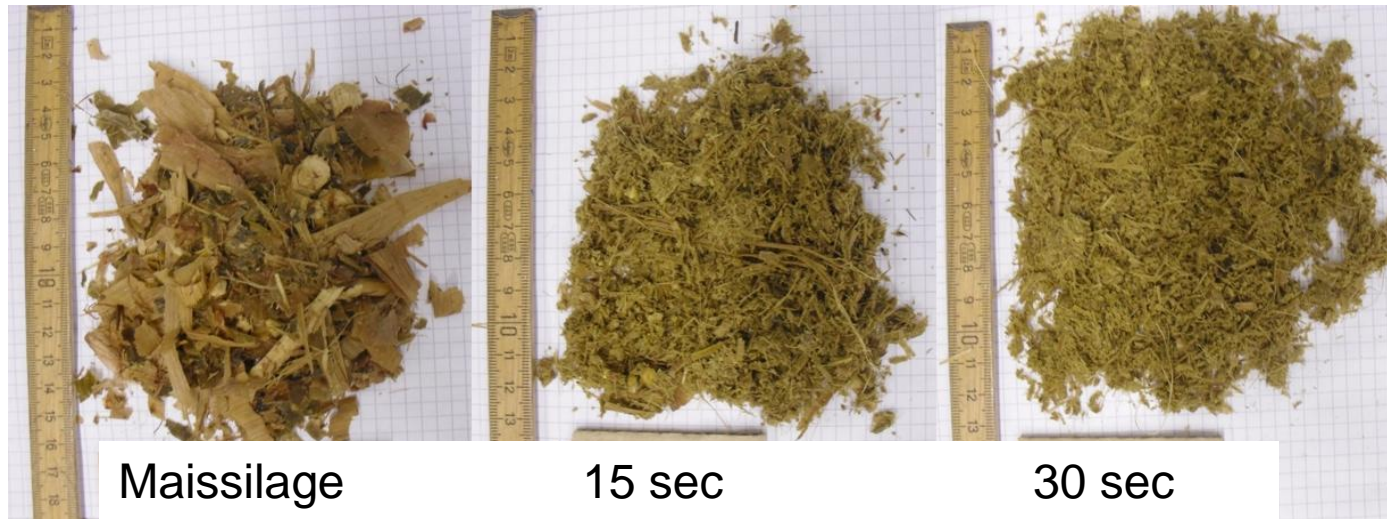
Mechanische Vorbehandlung als Lösungsansatz – Querstromzerspaner - Zerkleinerung



Technik und aktuelle Entwicklungen

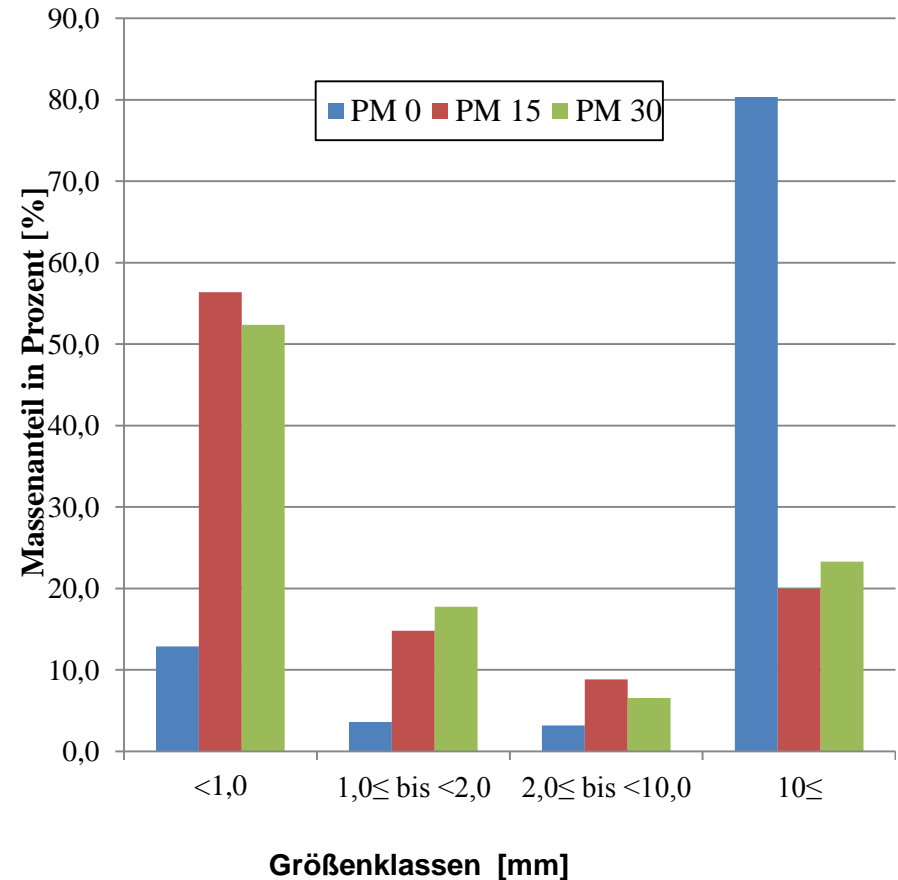
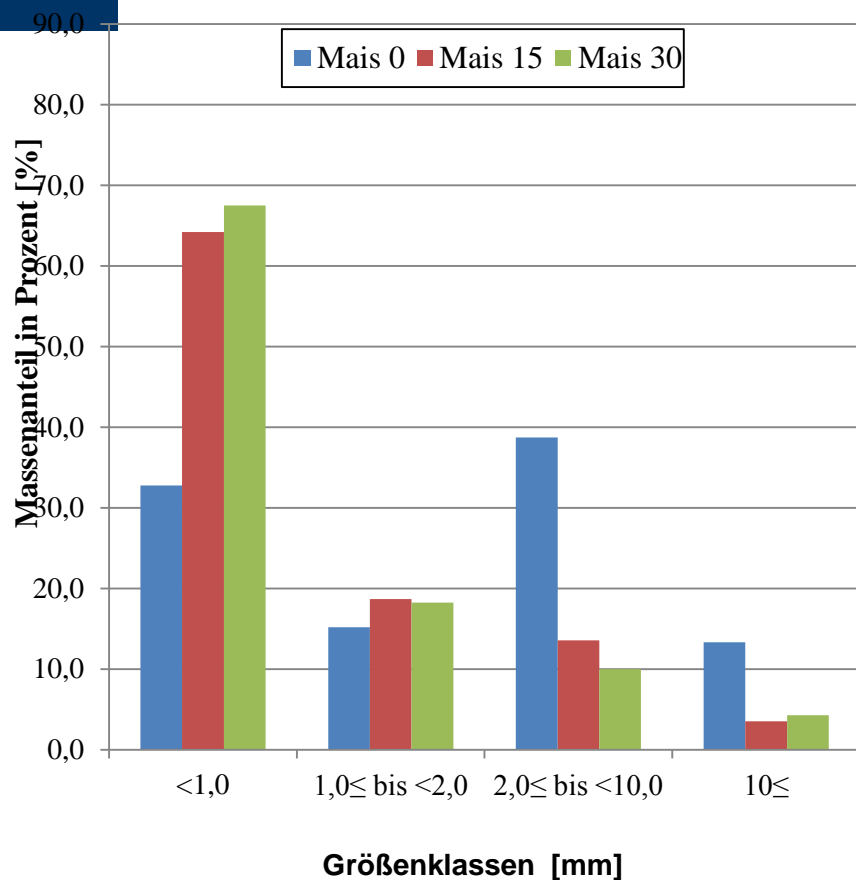
- ursprünglich aus Recycling Industrie
- Arbeitskammer Durchmesser: 0.9 to 2.5 m
- Antriebsleistung 55 bis 315 kW
- Drehzahl Kette: 1200 /min
- Batch- oder kontinuierlicher Betrieb

Mit QZ aufbereitete Substrate



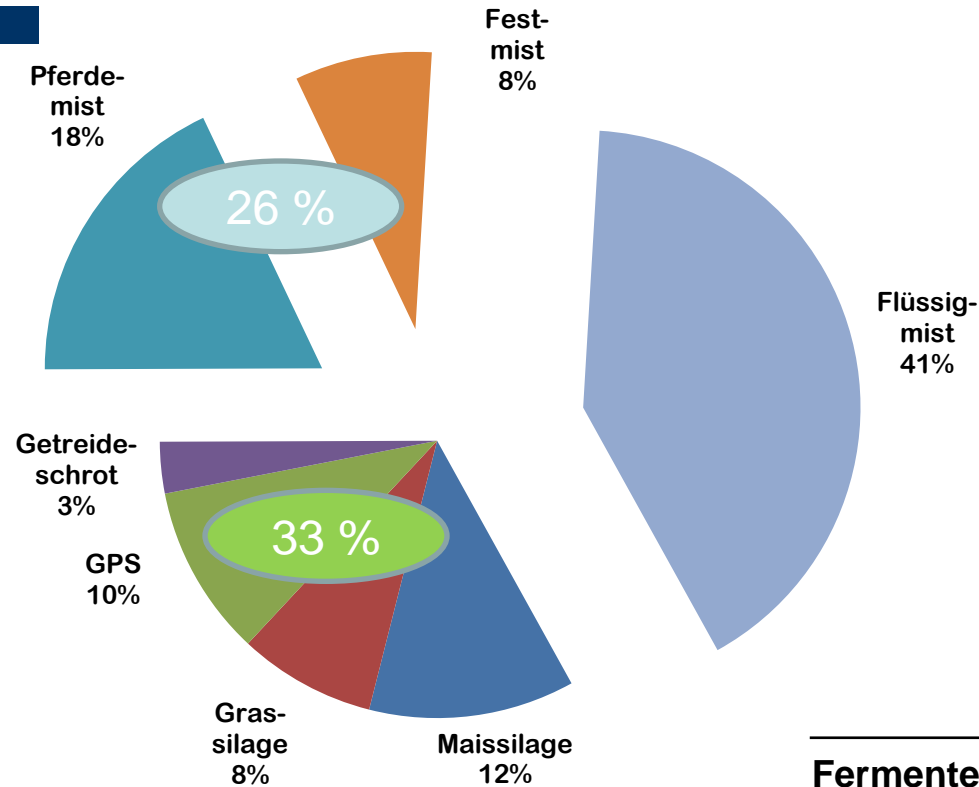
Siebkurve der untersuchten Varianten

Nasssiebung



Böhm, Mönch-Tegeder, 2012

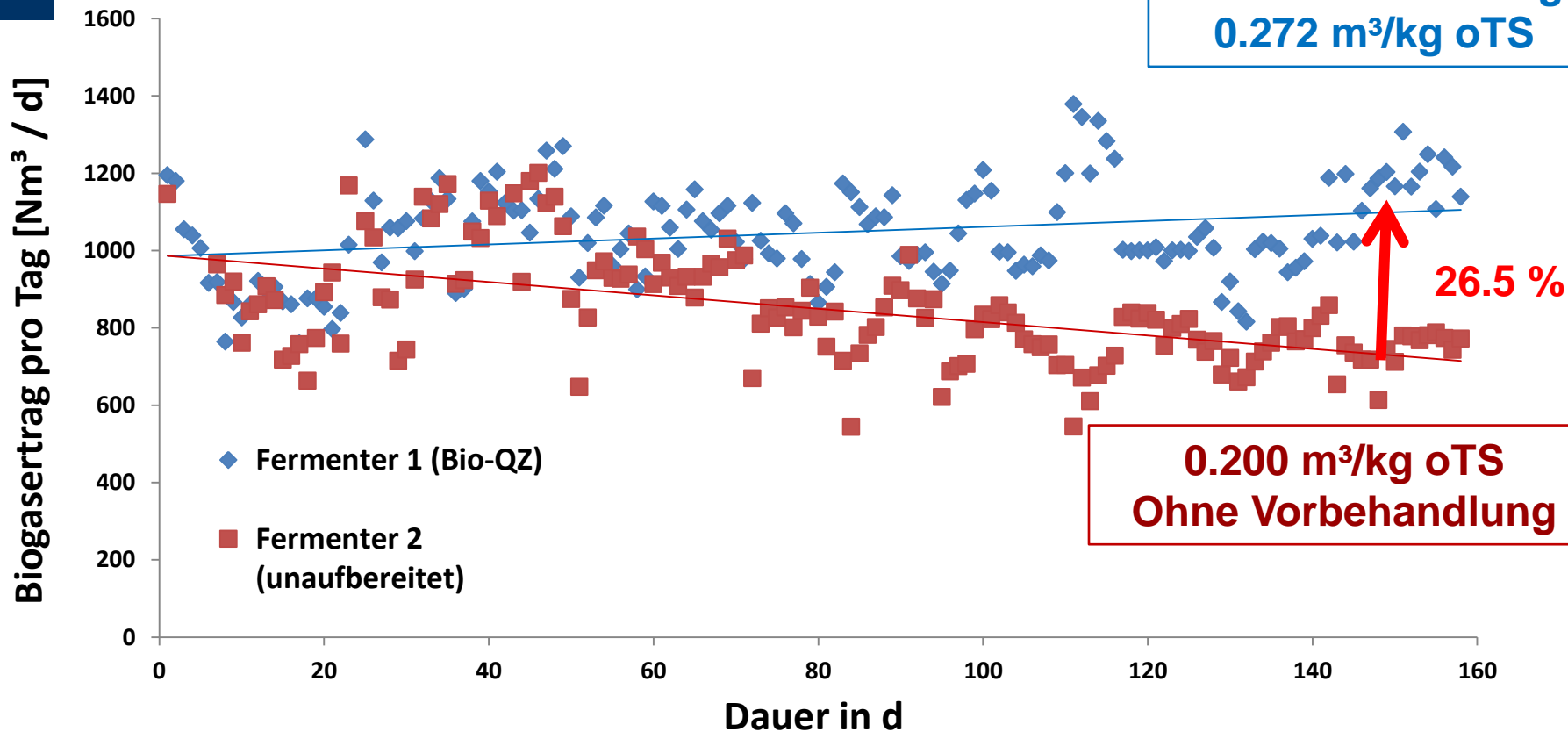
Nutzbarkeit von Pferdemist Futtermitteln



	Futtermenge [t/d]	HRT [d]	OLR [kg/m ³ d]
Fermenter 1 aufbereitet	10.5 ± 2.0	78.8 ± 14.1	2.9 ± 0.5
Fermenter 2 Kontrolle	10.4 ± 2.3	79.5 ± 15.6	2.8 ± 0.6

Pferdemist im Praxisbetrieb

Mit und ohne mechanischer Vorbehandlung



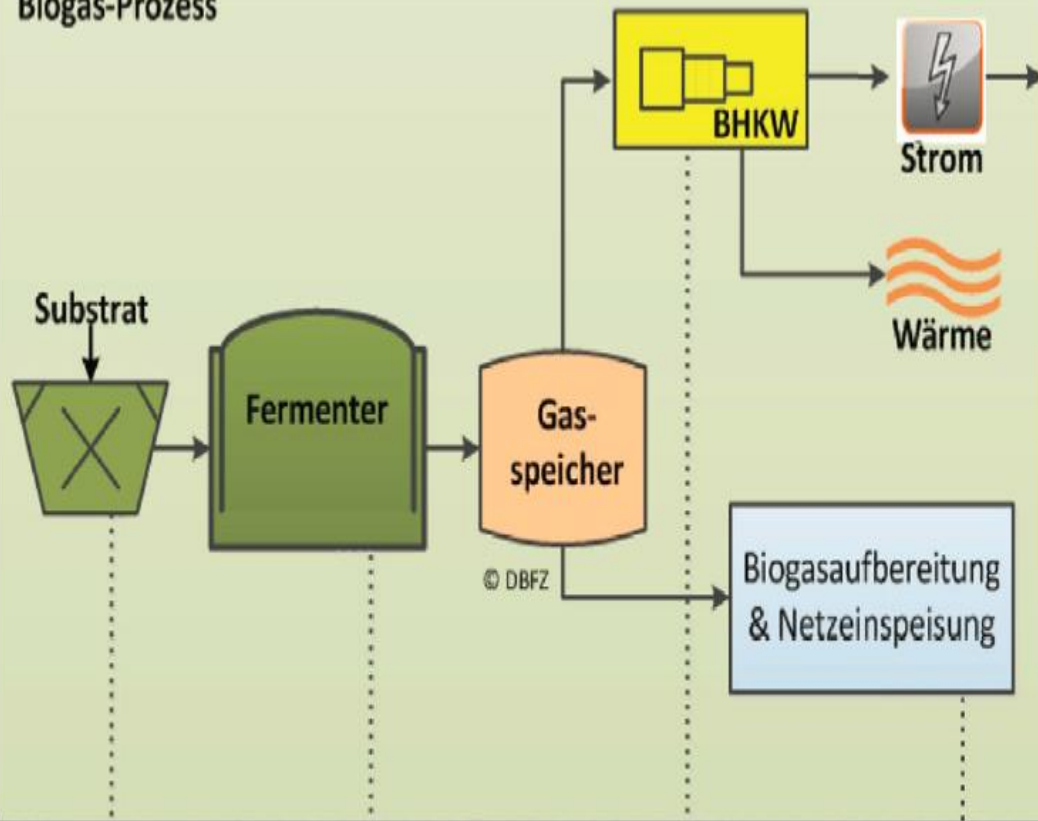
Mönch-Tegeder, 2013

- **Prozessbiologie**
 - Pferdemist mit Stroheinstreu kann sehr gut genutzt werden
 - Qualität und Alter des Mistes entscheidend
- **Mechanische Vorbehandlung**
 - Bei grünen Pflanzen wenig Effekt der Intensivaufbereitung auf Vergärbarkeit und Gasertrag
 - Bei faserreichen Substraten entscheidender Effekt auf Gasertrag und Abbaukinetik (bis zu 30 % Steigerung)
 - Energiebedarf Bio-QZ : $11,3 \pm 1,3 \text{ kWh}_{el} / \text{t FM}$, ermöglicht erst die Nutzung von Substraten mit Erträgen von $> 300 \text{ kWh}_{el}/\text{t FM}$
- **Verfahrenstechnik – Nutzbarkeit in Praxisanlagen**
 - Pferdemist nur mit Vorbehandlung nutzbar
 - Substitution von 7,8 Mio t Mais wäre in Dtl. möglich, wenn 50 % des anfallenden Pferdemistes genutzt würden
 - 156.000 ha, entspricht etwa 13 % der derzeitig genutzten Nawaro-Ackerfläche könnten ersetzt werden
 - Erweiterung des Substratspektrums – Übertragbarkeit, and. Substrate

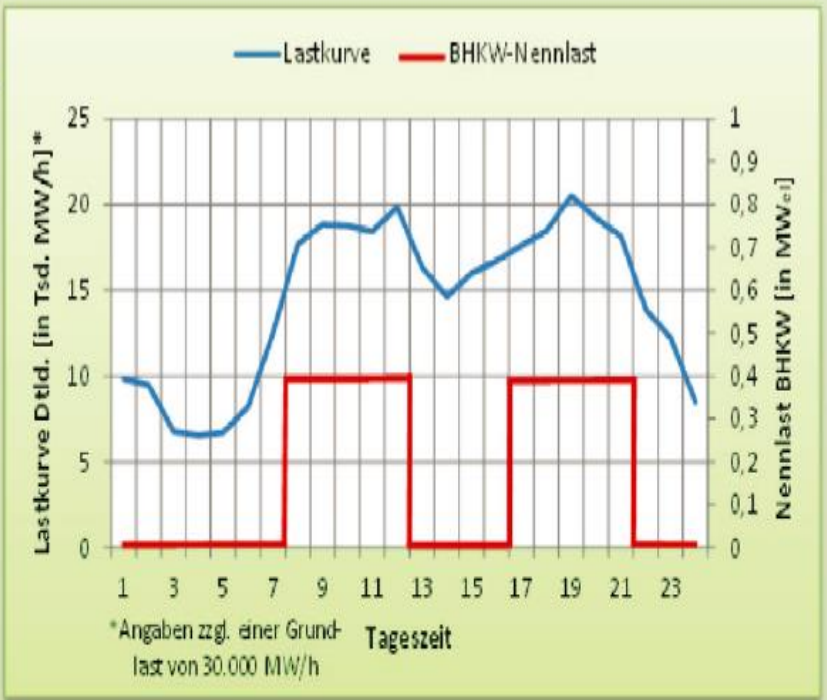
- Stand der Technik bei der Biogasproduktion
- Optimierungsmöglichkeiten
 - Steigerung der Effizienz
 - Erweiterung des Substratspektrums
 - **Flexible Produktion der Energie**
- Herausforderungen
 - Entwicklung von neuen Technologien zur Gasreinigung am Beispiel der Drckmethanisierung
 - Biologische Wasserstoffmethanisierung zur Speicherung von Energie aus fluktuierenden Quellen

Flexible production of bioenergy

Biogas-Prozess



Load curve nominal load CHP



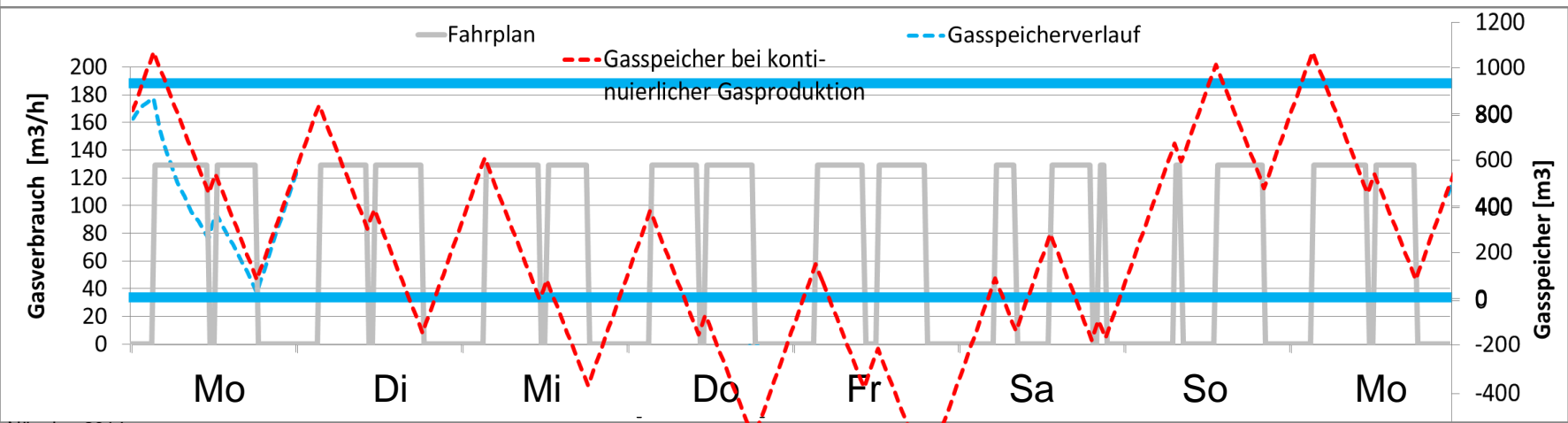
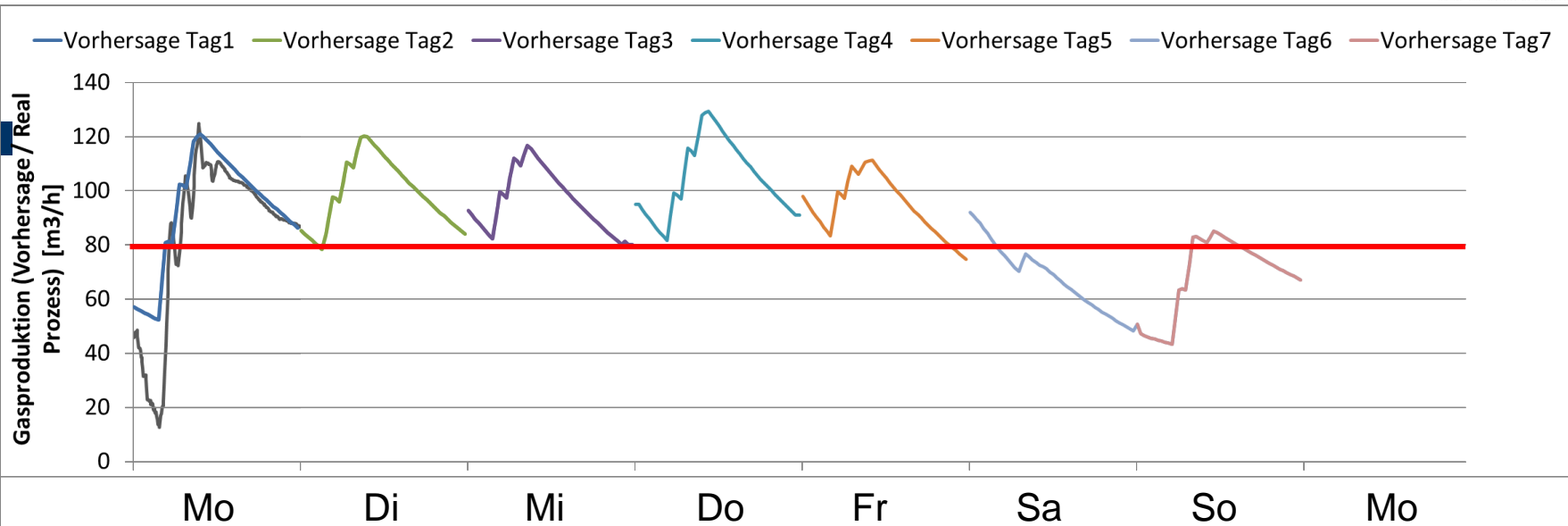
- 1 Fütterungsmanagement
- 2 Speicherung von Zwischenprodukten
- 3 zusätzl. Kapazität – Speicher, BHKW, IKT
- 4 Biomethan

Ansätze der Flexibilisierung

Jacobi and Mauky, 2014



Wochenlastgang im Praxismaßstab

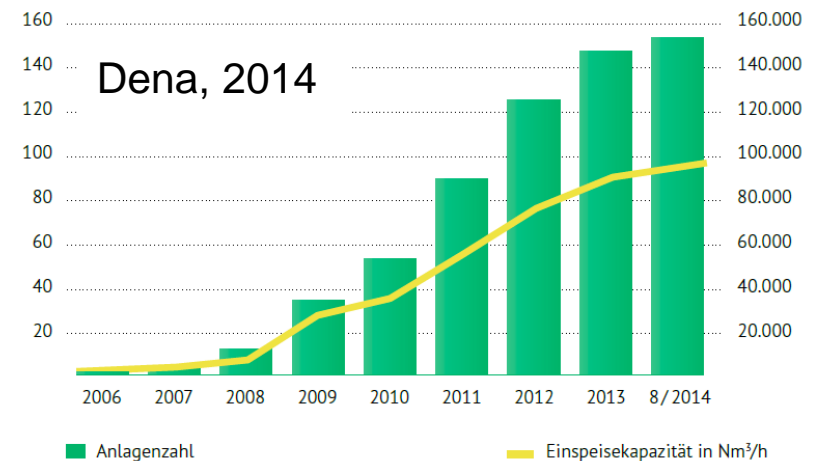
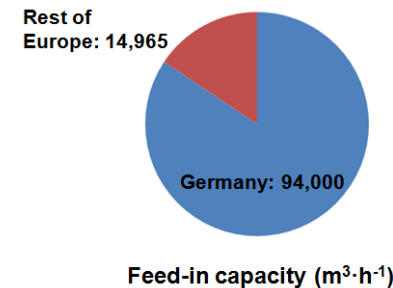


Mauky, Nägele, 2014

- **Aufbereitung von Biogas zu Biomethan – beste Speichertechnologie**
 - Zeitliche und räumliche Entkopplung von Gasproduktion und -Nutzung
 - Hohe Investitionskosten (1,2 bis 1,5 Mio. € / 1000 m³ / h Output)
 - Strombedarf (0,2 – 0,3 kWh/m³ BG (IWES,2012))
 - Nur für große Biogasanlagen > 1500 kW wirtschaftlich darstellbar
- **Zusätzliche Kapazität für Gaslagerung und BHKW-Größe**
 - Zusätzliche Gasspeicherkapazität von > 8 h notwendig
 - Leistung des BHKW mindestens doppelt so groß
 - EEG-Regeln für neue Anlagen (EEG 2014) – teuer – kein Anreiz
- **Zusätzliche Anpassung der Fütterung zur Steigerung der Flexibilität**
 - Fütterung leicht abbaubarer Substrate (z.B. Mais, Rüben, Getreidekorn)
 - Biogasprozess reagiert relativ flexibel (Jacobi, 2014)
 - Untersuchungen im Praxismaßstab am ULI bestätigte Laborergebnisse
 - Erforderlich, den Fermenter bei geringerer OLR zu betreiben
- **Erlaubt die Kompensation von unkontrollierter fluktuierender Energieproduktion**
- **Forschung notwendig aber auch Anreize schaffen**

- Stand der Technik bei der Biogasproduktion
- Optimierungsmöglichkeiten
 - Steigerung der Effizienz
 - Erweiterung des Substratspektrums
 - Flexible Produktion der Energie
- Herausforderungen
 - **Entwicklung von neuen Technologien zur Gasreinigung am Beispiel der Drckmethanisierung**
 - Biologische Wasserstoffmethanisierung zur Speicherung von Energie aus fluktuierenden Quellen

- **Biomethan – eine flexible, speicherbare Energieform**
- **Kann eine bedeutende Funktion im deutschen Energiemix bekommen**
 - Deutschlands Ziel: Aufbereitungskapazität: 6 Mrd. m³/a bis 2020
 - 10 Mrd. m³/a bis 2030
 - 151 Aufbereitungsanlagen in Betrieb
 - Zur Zeit ist eine Kapazität von nur 823 Mio. m³/a vorhanden
 - 14 % des Zielwertes (2020)
 - Kapazität: 0.9 % des jährlichen Gasverbrauchs
 - Aufbereitungsbonus im EEG 2014 wurde abgeschafft
 - 56 Aufbereitungsanlagen in Betrieb in Rest- Europa
- **Suche nach modernen, effektiven Technologien**
- **Wasserstoff im Erdgasnetz?**



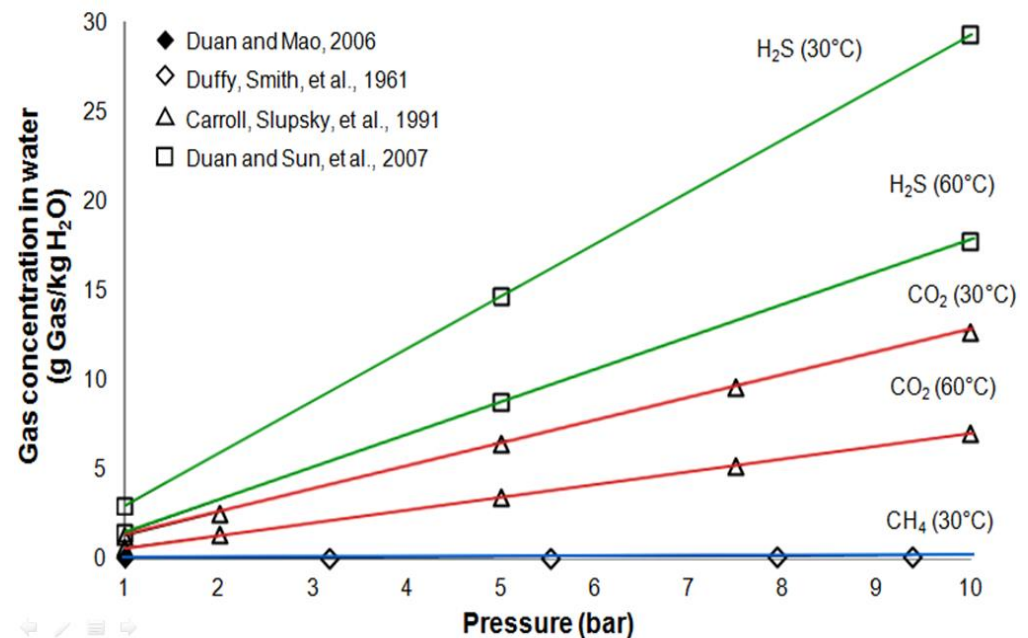
Zweiphasige Druckmethanisierung: Ein innovatives Verfahren für die Biogasproduktion

Forschungsziele:

- Entwicklung und Untersuchung einer neuen Technik: „Zweiphasige Druckmethanisierung“
- Unterschiedliche Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeit unter Druck

Grundsätzliches Ziel:

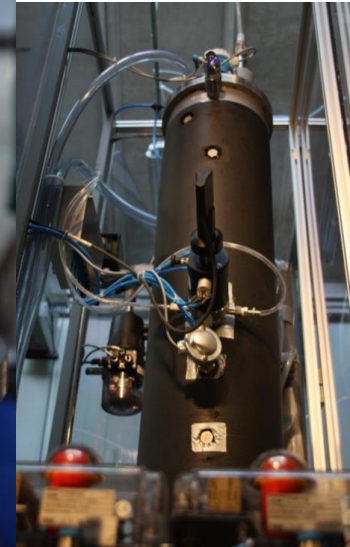
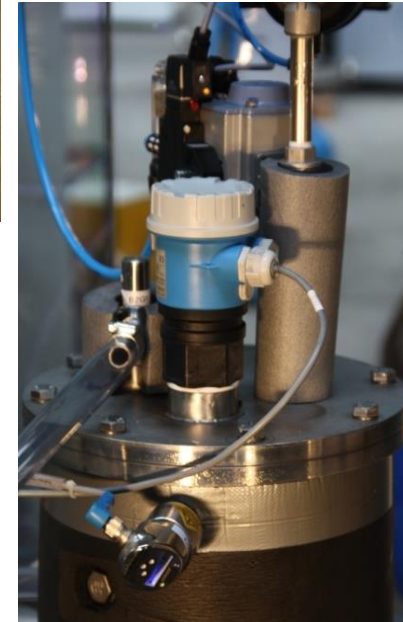
- Erzeugung eines weitgehend reinen Biomethans mit hohem Druck, um es direkt ins Gasnetz einzuspeisen



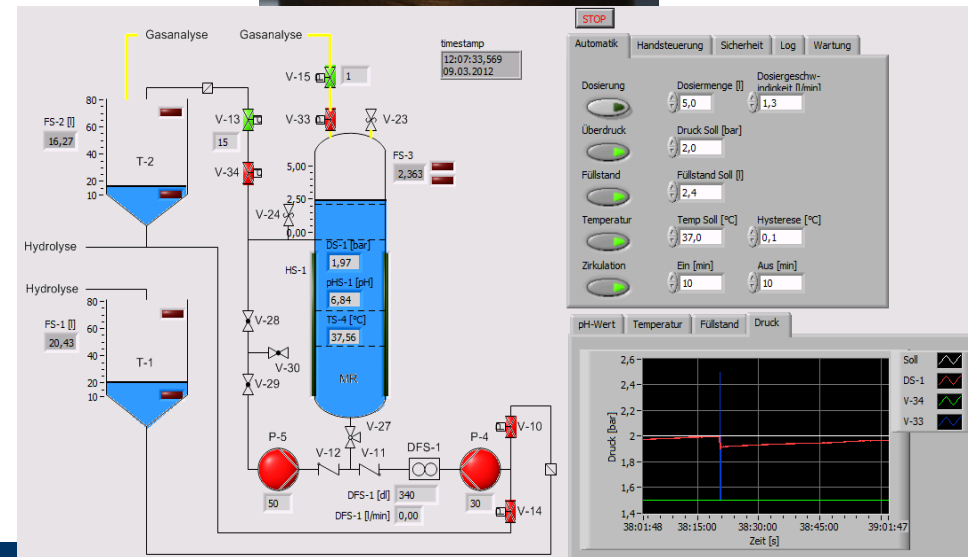
Laborfermenter



- Laborfermenter unter Druck bisp to 9 bar, mesophil, 37° C
- 20 l Festbett-Upflow-Fermenter
- Trägermaterial Sinterglas zylindrisch mit 270 m² Oberfläche / l
- Semikontinuierlicher Betrieb
- Methanogenie Mikroorganismen produzieren den Druck
- PC-basierte Regelung
- Automatischer Betrieb
- Projekt zusammen mit DVGW

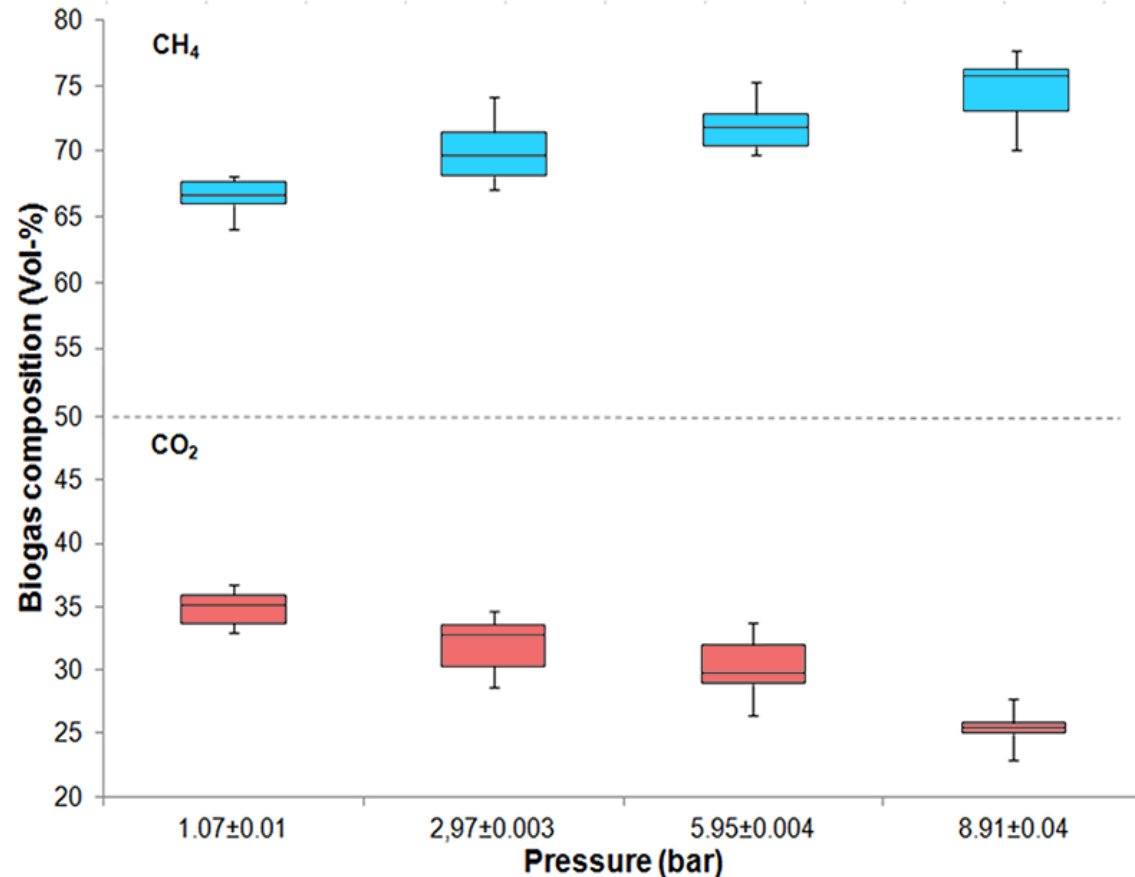


Chen, et al, 2014



Ergebnisse - Biogasqualität

- Mit steigendem Druck steigt der Methangehalt im Biogas
- Kohlendioxidgehalt sinkt
- Der Druckfermenter läuft bei einem guten und stabilen Zustand
- SMY_{COD} von 0,313 bis 0,333 m^3/kg COD



Chen, et al, 2014

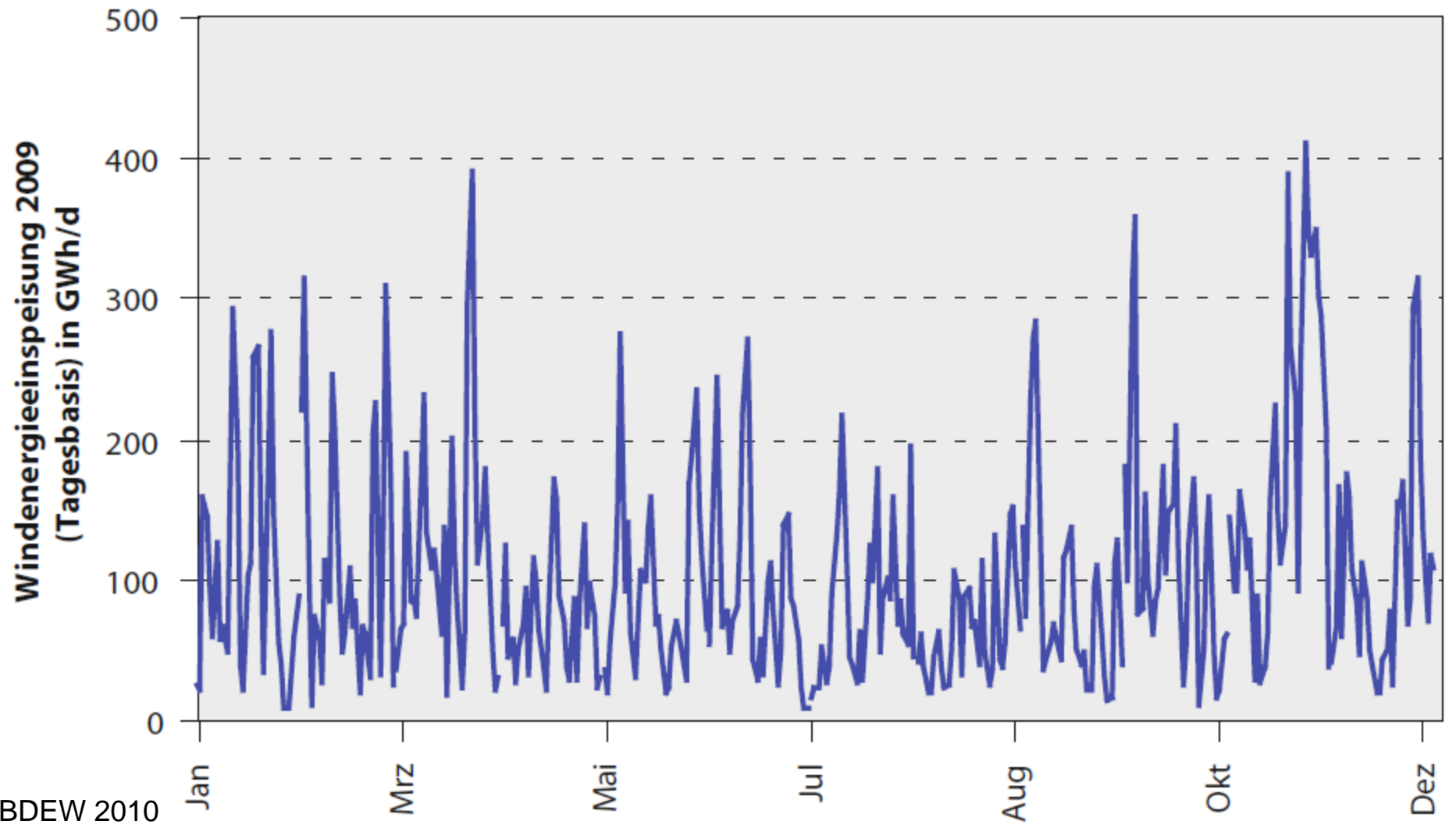
- Stand der Technik bei der Biogasproduktion
- Optimierungsmöglichkeiten
 - Steigerung der Effizienz
 - Erweiterung des Substratspektrums
 - Flexible Produktion der Energie
- Herausforderungen
 - Entwicklung von neuen Technologien zur Gasreinigung am Beispiel der Drckmethanisierung
 - **Biologische Wasserstoffmethanisierung zur Speicherung von Energie aus fluktuierenden Quellen**

Verfahrenstechnische Untersuchungen zur biologischen Methanisierung von Wasserstoff im Biogasprozess

Biologische „Power to Gas“ Variante

- Politisches Ziel, den Anteil an erneuerbarer Energie am Energiemix zu steigern (bis 2020, 35% der Gesamtenergie bzw. 18% der Stromproduktion)
- Starker Ausbau der Energiequellen wie Wind- und Solarenergie mit natürlicher Fluktuation
- Langsamer Ausbau des Stromnetzes
 - Risiko von elektrischer Überlastung steigt
- Fehlen einer einfach lagerfähigen, erneuerbaren Energieform bzw. der Speichertechnologie

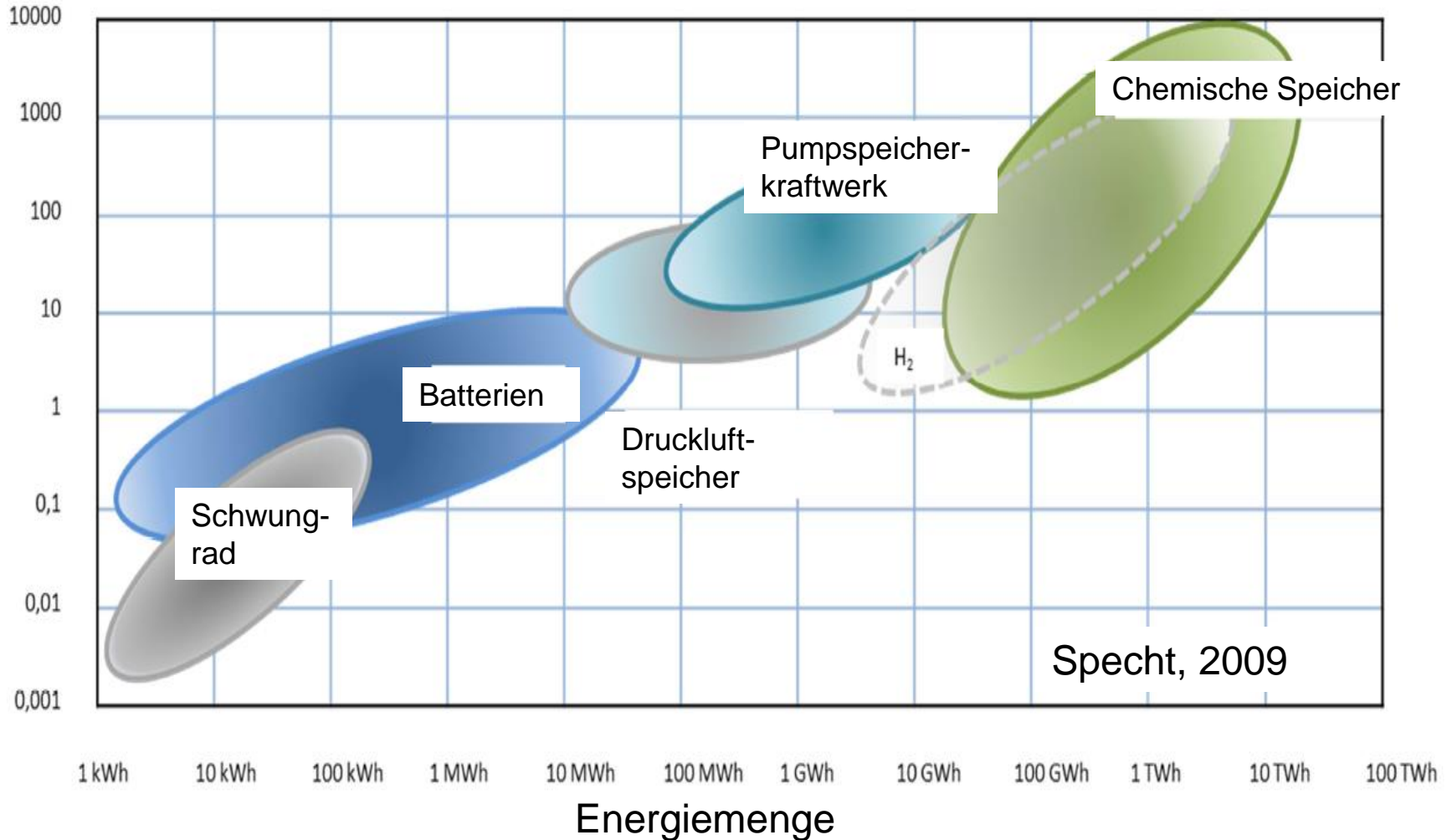
Zeitlicher Verlauf des Anfalls an Windenergie im Jahr 2009 – geglättet auf Tagesbasis



BDEW 2010

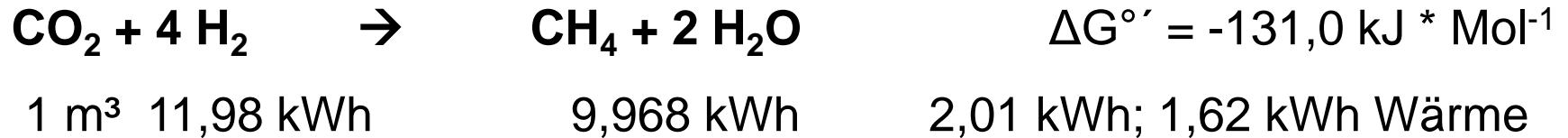
Speicherung von Energie (Menge und Dauer)

Entladungsdauer h



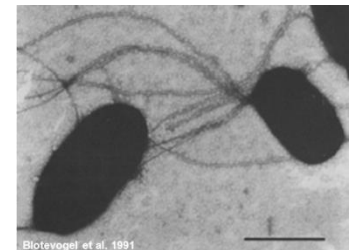
Biochemische Umsetzung von Wasserstoff und Kohlendioxid zu Methan

Hydrogenotrophe Methanogenese

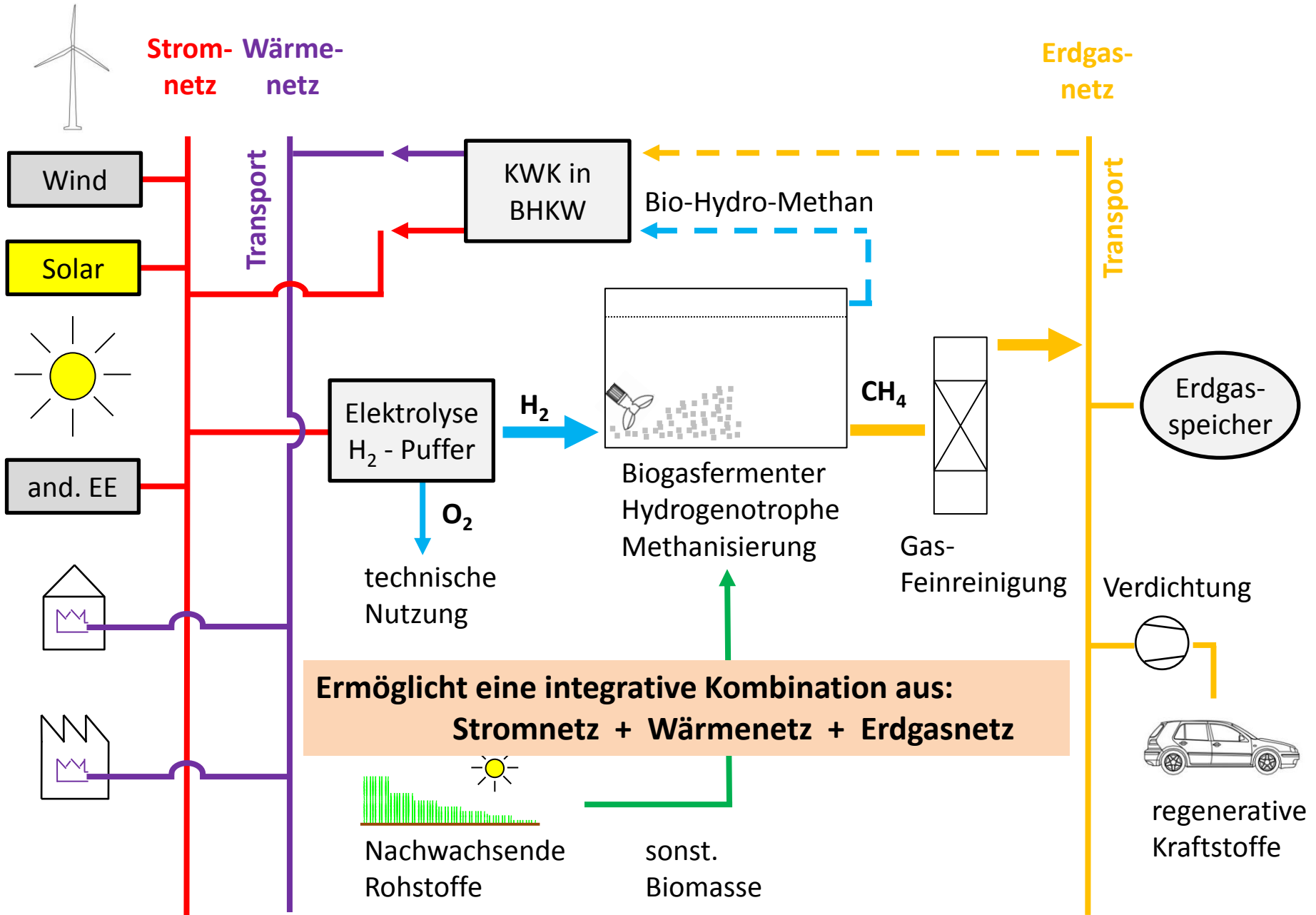


Beteiligte Organismen:

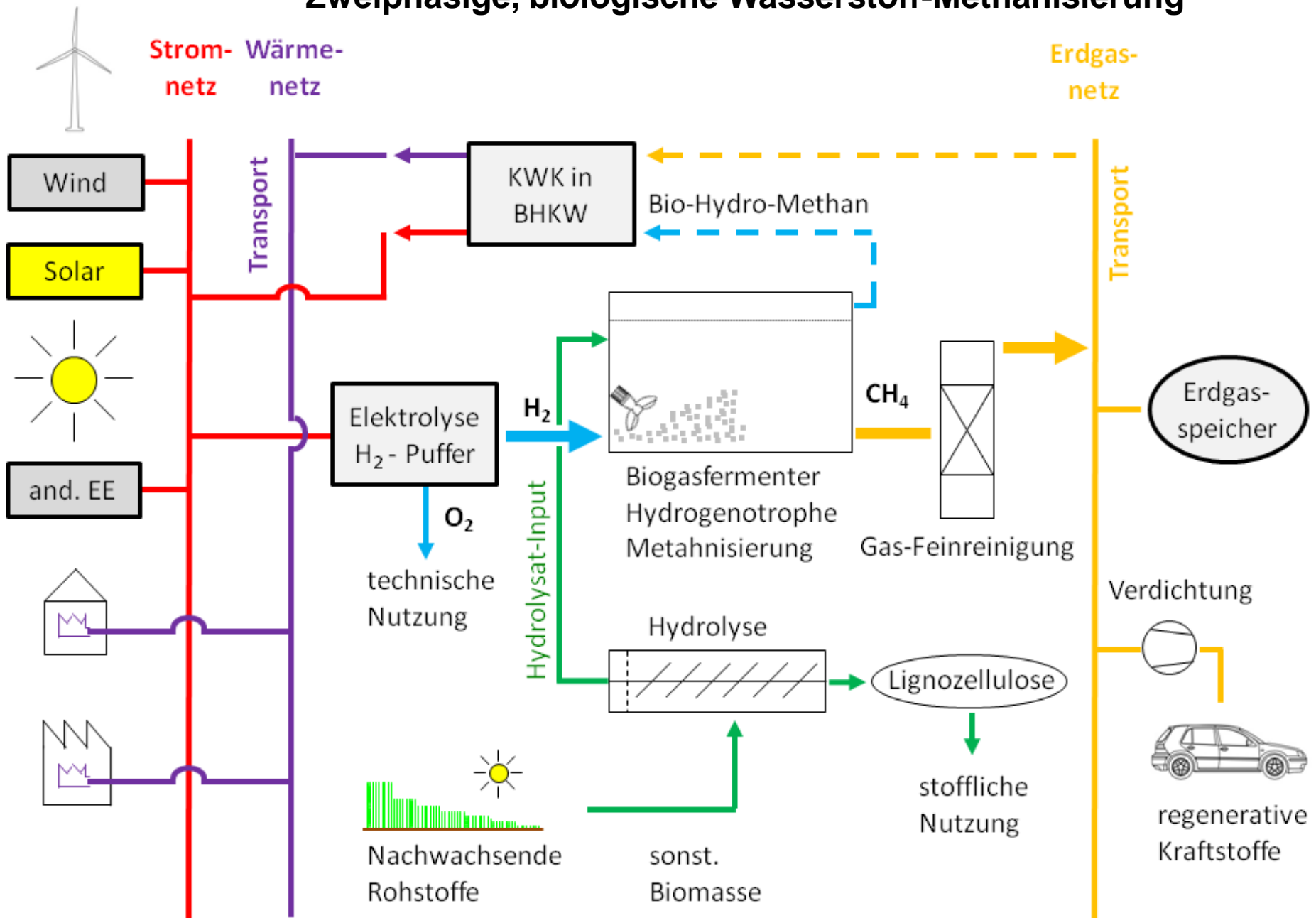
- Methanogene Archaea
insb. Vertreter der Ordnungen
Methanobacteriales, Methanomicrobiales &
Methanosarcinales



Bio-Hydro-Methan-Erzeugung



Zweiphasige, biologische Wasserstoff-Methanisierung



- Zwei Forschungskonzepte mit Wasserstoffeintrag direkt in den Fermenter werden untersucht (dezentraler Ansatz)
- **CSTR Fermenter für Wasserstoffmethanisierung:**
 - Entwicklung eines effizienten Eintragsystems für Wasserstoff
 - Anwendung an existierenden Biogasfermentern ist denkbar
 - Dezentralisiertes System passt zur Struktur Ba.-Wü.'s
- **Druckfermenter für Wasserstoffmethanisierung**
 - Wasserstoffeintrag in die Flüssigkeit muss verbessert werden
 - Methan verlässt den Fermenter bereits unter Druck
- Ziel: Produktion eines hochwertigen Biogases mit einem Methangehalt von mehr als 90 %
- **Partnerprojekt (DVGW-EBI): Integration der biologischen Methanisierung in die Biomethan-Prozesskette**

- Es existieren viele Biogasverfahren am Markt
- Herausforderung: die Effizienz der Energienutzung optimieren
- Flexibilität verursacht hohe Kosten
- Gasreinigung sollte ausgedehnt werden (Anreize erforderlich)
- Neue Technologien müssen optimiert werden (Anreize)
- Die biol. Wasserstoffmethanisierung ist ein interessanter Ansatz
 - Auf dem Weg zur Energierevolution
 - Für die effiziente Nutzung von fluktuierender Energie
 - Zur Umformung von Biogas zu Biomethan
 - Zur Lagerung von EE in chemischer Form
 - Zum Transport von Energie im Gasnetz
 - Zur verbesserten Kohlenstoffnutzung
 - Zur Steigerung des Methanertrages per ha Energiepflanzenanbau
- Effizienz des Systems ist eine Herausforderung
- Wert der Speicherung muss honoriert werden durch Preis (Gesetze)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:
Dr. Hans Oechsner
oechsner@uni-hohenheim.de
Tel. ++49 - 711 459 22683