

Abbauwege

aerob vs. anaerob

Methangas aus erneuerbaren Quellen

Stand heute und Zukunftsperspektiven

Werner Edelmann
arbi GmbH, CH-6340 Baar

Potenzial & Verfahren

Biogas vs.

Photovoltaik

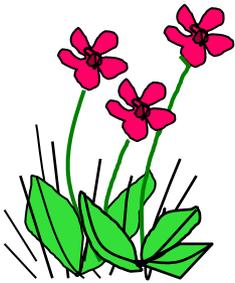
Zukunftsperspektiven



Leben ist Werden und Vergehen

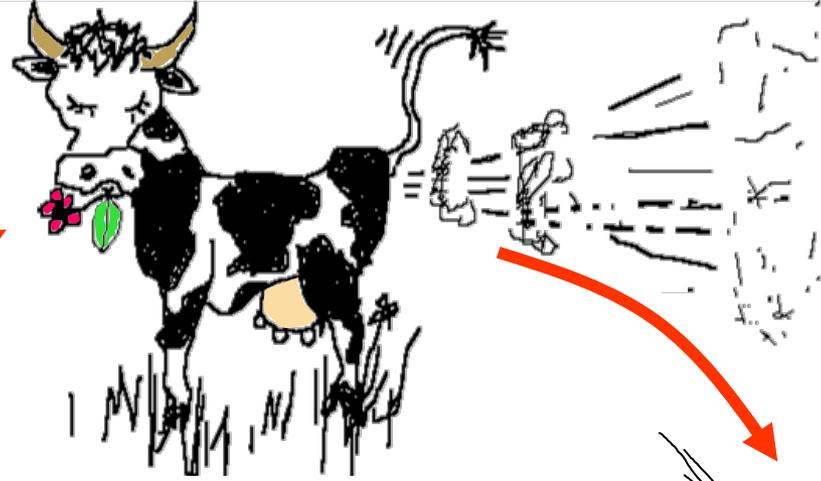


Energie



Produzenten
Aufbau

Konsumenten
Umbau



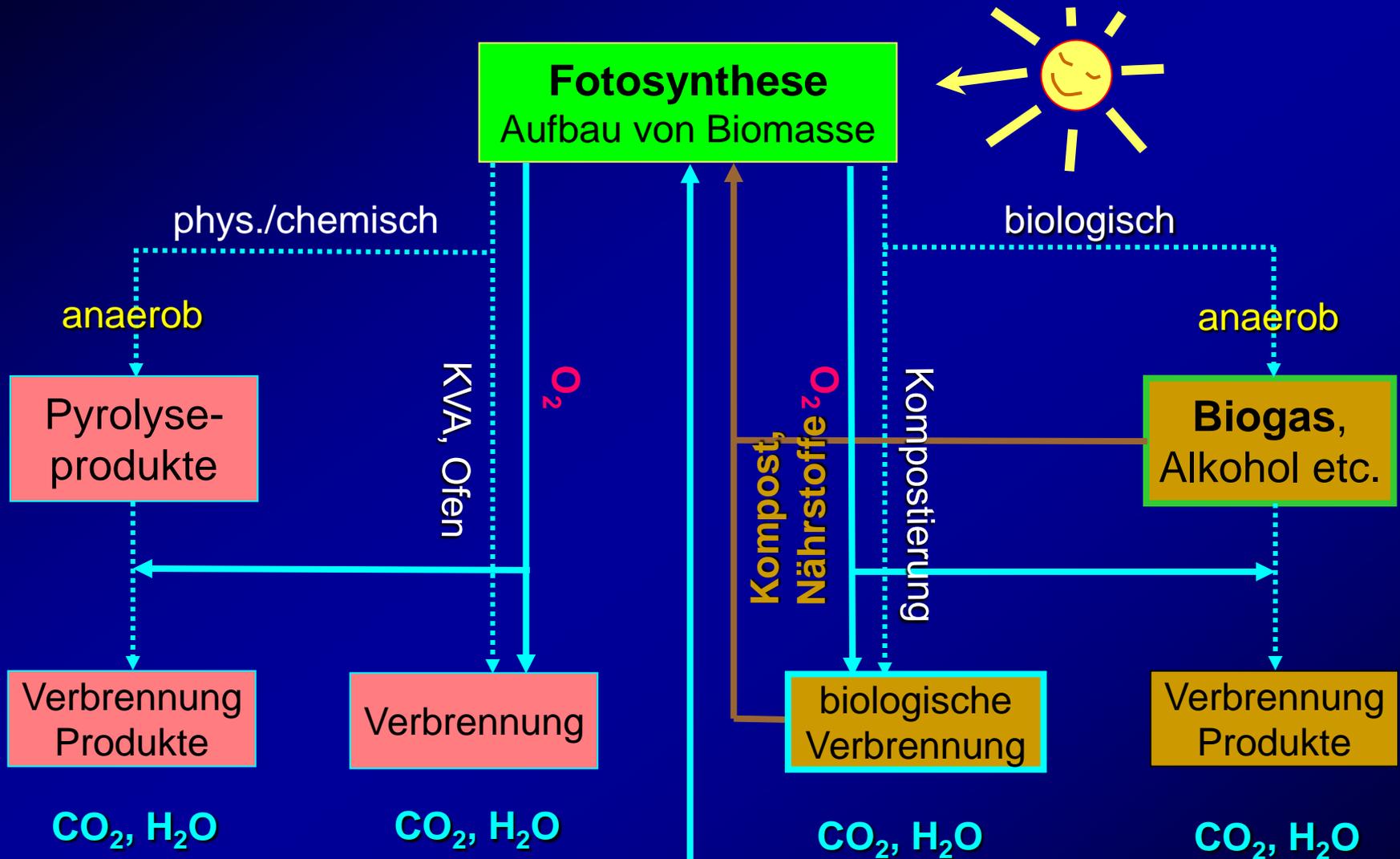
organische Verbindungen



Destruenten
Abbau

anorganische, d.h. mineralische
Verbindungen

Abbaumöglichkeiten von Biomasse



Nutzung von Biomasse ist treibhausneutral! (C-Kreislauf !)

Der aerobe Abbau



Traubenzucker + Sauerstoff → Kohlendioxid + Wasser

$$\Delta G_o = - 2875 \text{ kJ/Mol}$$

ΔG_o = freie Energie (o : bei Standardbedingungen)

$\Delta G > 0$: endergonisch, d.h. es muss Energie aufgewendet werden

$\Delta G < 0$: exergonisch, d.h. es wird **Energie frei**

Mol : $\sim 6 \cdot 10^{23}$ Teilchen; im Fall Zucker: 180 g



Der anaerobe Abbau



Traubenzucker → Kohlendioxid + Methan

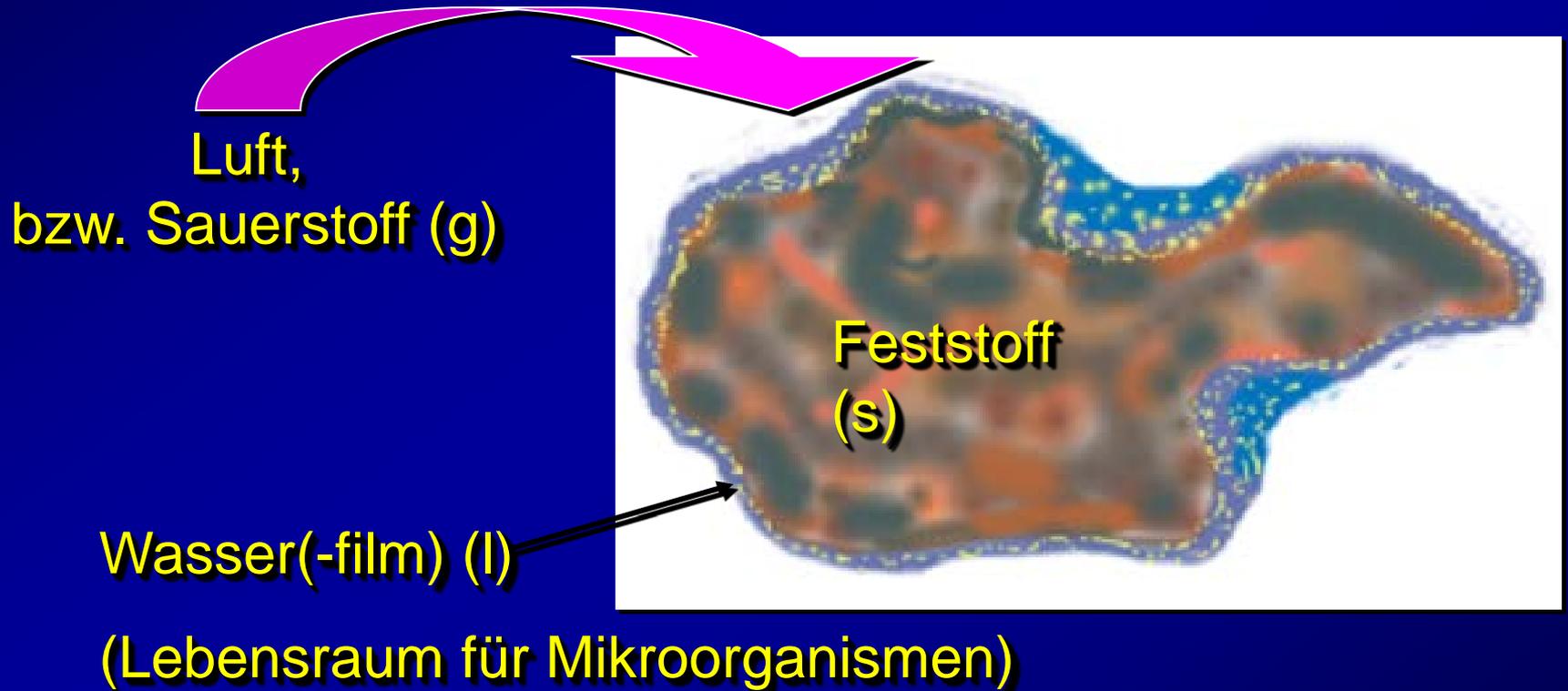
$$\Delta G_0 = - 132 \text{ kJ/Mol}$$

> 90% der Energie verbleibt im Methan !

> 90% des C im Biogas → wenig Biomasseaufbau !

Der aerobe Abbau

Der aerobe Abbau benötigt drei Phasen:



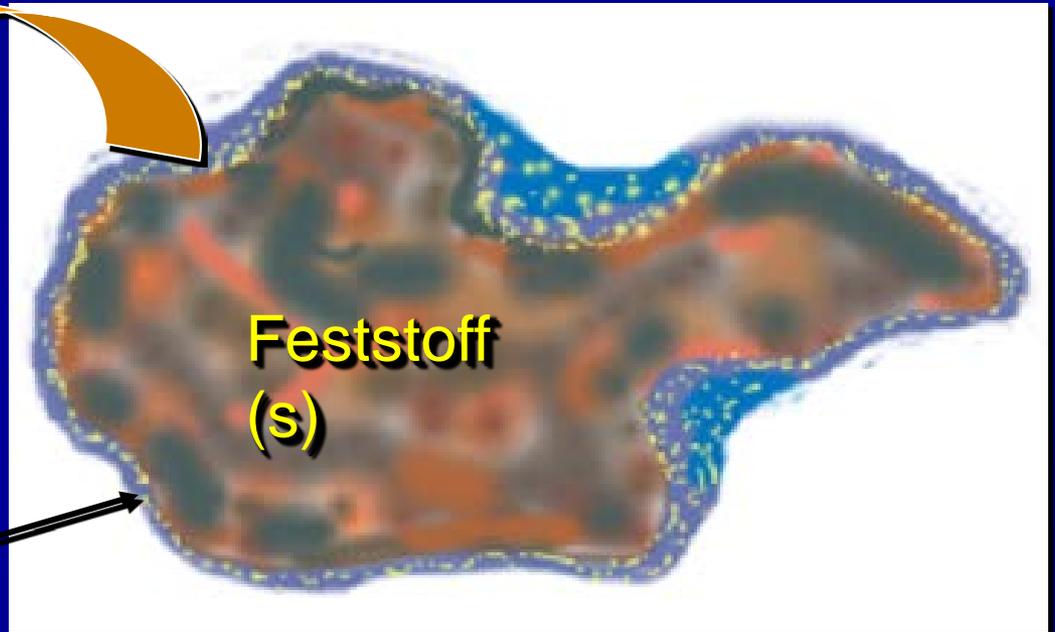
Der anaerobe Abbau

anaerob sind nur zwei Phasen nötig!

**Biogas (g) ist
(„Abfall“-)Produkt**

Wasser(-film) (l)

(Lebensraum für Mikroorganismen)



Vergleich aerob /anaerob

- 3-Phasenprozess schwer steuerbar
- 2-Phasen-Prozess ist unproblematischer
(i.d.R selbstregulierend)
- anaerob grosse Reaktionsoberfläche
zur Reaktionsbeschleunigung möglich
(Zerkleinerung!)



allgemein: Vergleich aerob/anaerob

aerob

energiearme Produkte
viel Energie zum Wachsen
schnelles Wachstum
(Ab-)Wärme wird frei
viel Biomasseaufbau
hoher Nährstoffbedarf
geeignet für tiefe Konz.
hoher Energieaufwand (O_2)
hohe Betriebskosten
schwer optimierbar

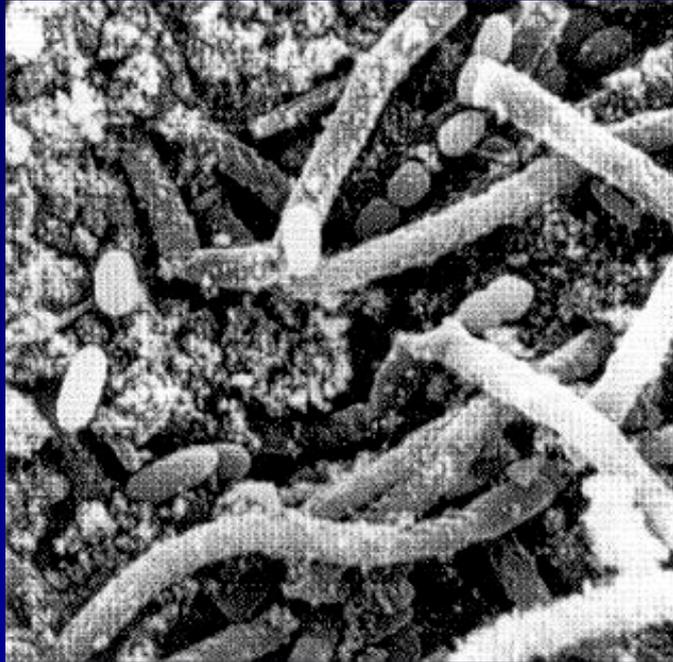
anaerob

energiereiches Produkt
wenig Energie zum Wachsen
langsames Wachstum
keine „Biowärme“
wenig Biomasseaufbau
tiefer Nährstoffbedarf
geeignet für hohe Konz.
grosser Energieüberschuss
niedrige Betriebskosten
i.d.R. selbstregulierend

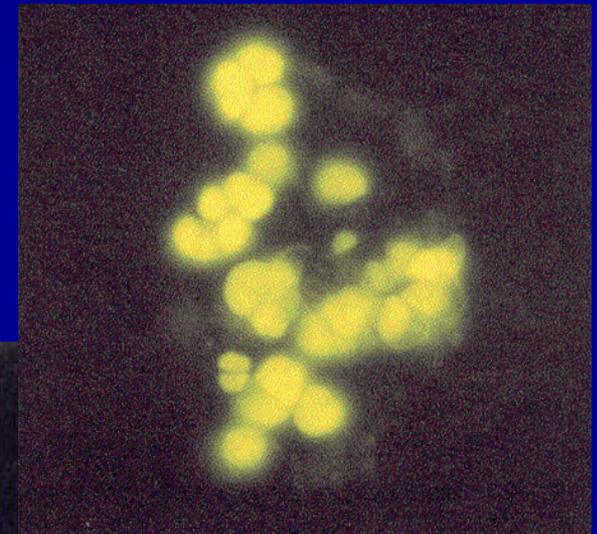
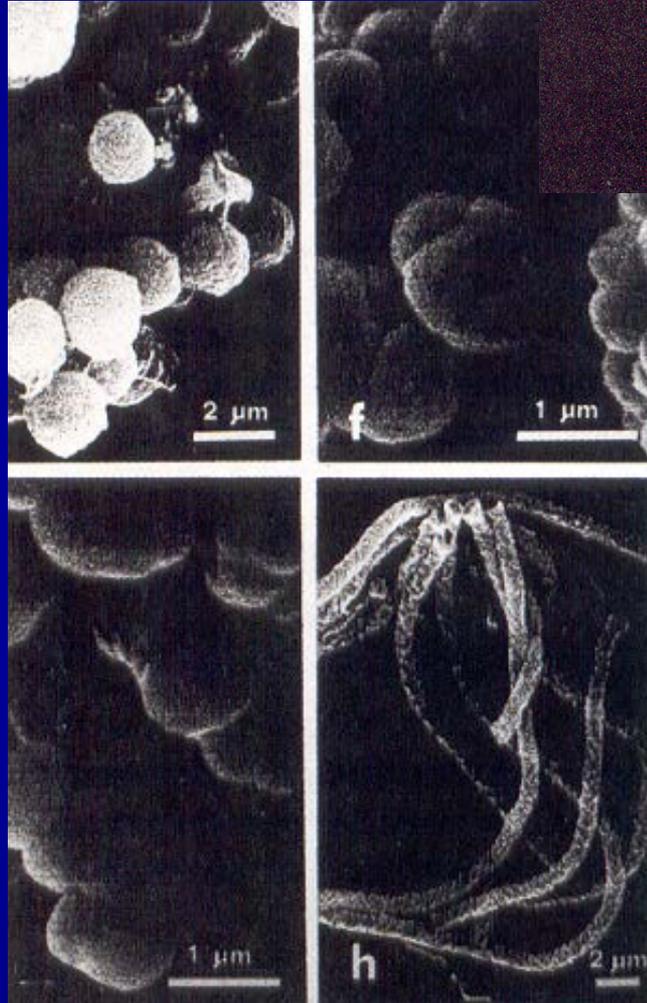
Biochemie des anaeroben Abbaus

- nur durch Bakterien
- erdgeschichtlich uralt („Archebakterien“)
 - Kaskade von Abbauschritten
- benötigt mehrere Bakteriengruppen
(aerob: gesamter Abbau durch einzelne Mikroorganismen durchführbar)

Anaerobe Biozönosen



Raster-Elektronenmikroskop



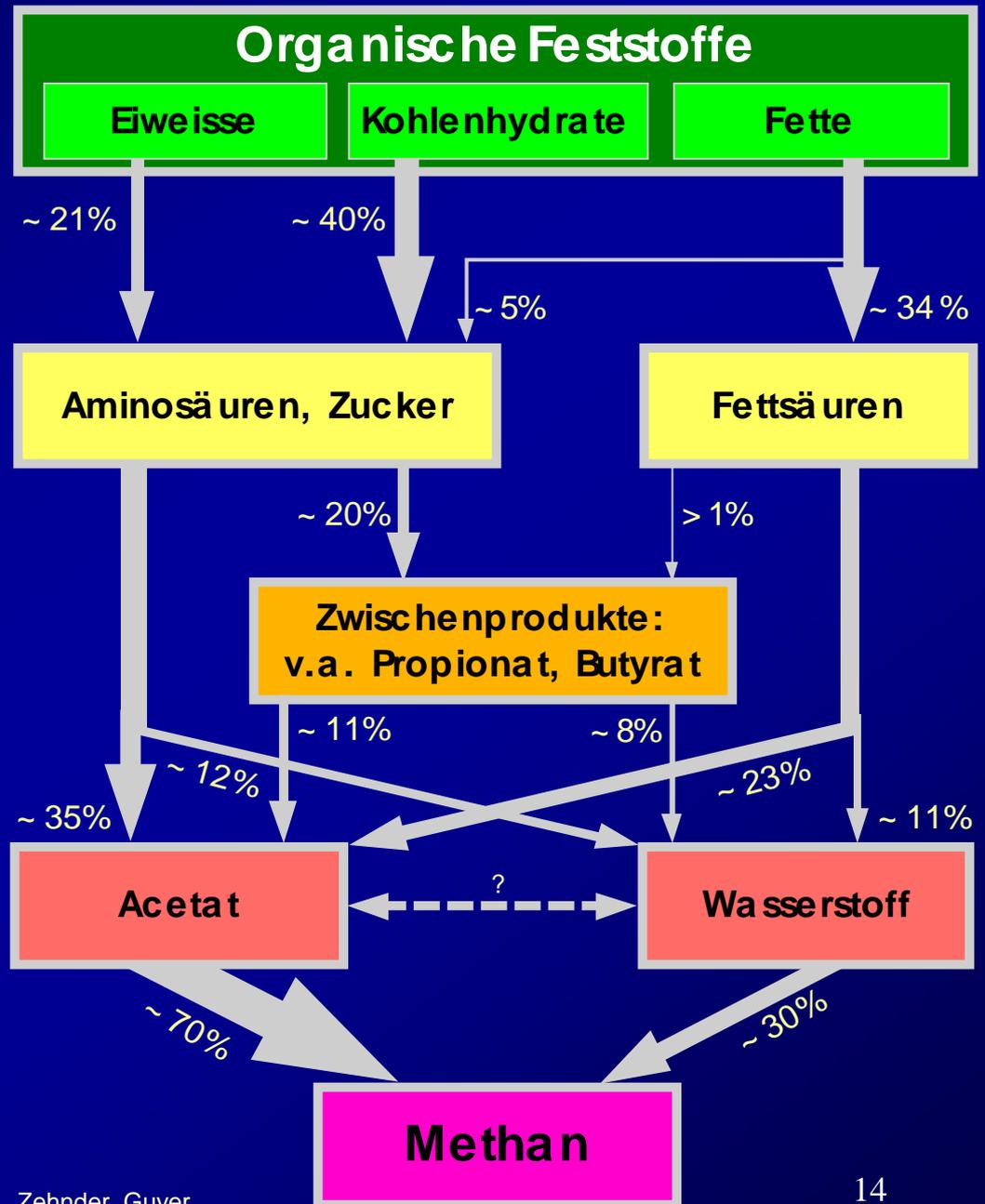
Lichtmikroskop
(Fluoreszenz)

anaerobe
Abbau-
schritte

Hydrolyse

Fermentation,
Säurebildung

Methanbildung



Produkt Biogas

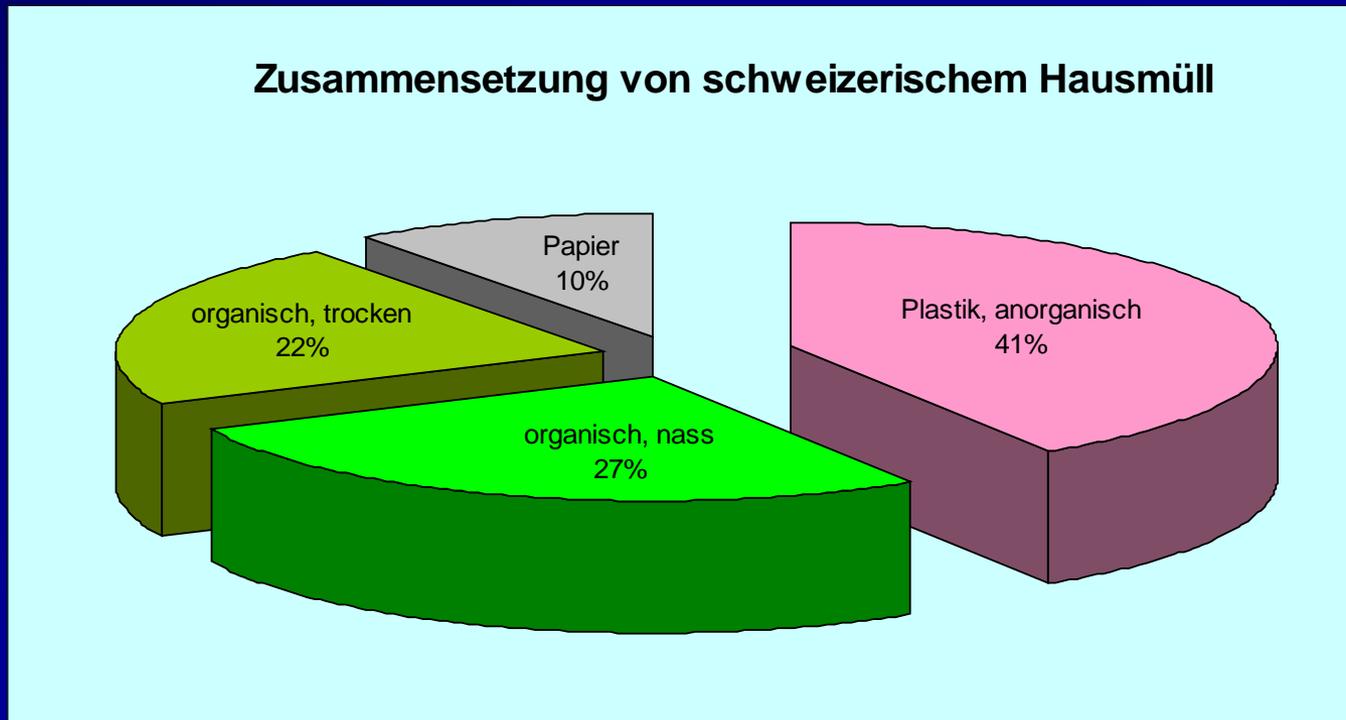
- $\text{CH}_4 : \text{CO}_2$ rund 2 : 1
- gesättigt mit Wasserdampf (T!)
- < 1% Restgase (H_2S , H_2 , etc.)

Gasqualität abhängig von:

- verfahrenstechnischen Gegebenheiten (T, p, LR etc.)
 - Gehalt von Nitrat, Sulfat etc. im Input
 - Eiweißgehalt (H_2S , ev. $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$)
- v.a.: Oxidationsgrad des Kohlenstoffs

Potenzial: Bsp. Haushaltsabfälle

mehr als die Hälfte des Kehrichts ist organisch



wenn organische Teilströme separat erfasst werden,
reduziert sich die Menge in der KVA beträchtlich
und deren Brennwert steigt

Bsp.: feste Abfälle Lebensmittelindustrie

nebst diversen anderen Verlusten bei Lagerung, Transport
oder infolge Ablauf Verfalldatum, erzeugt ein Schweizer jährlich:

Gemüseproduktion und -verwertung	7,0 kg/(EW a)
Zuckerindustrie	6,0 kg/(EW a)
Kaffee- und Teeverarbeitung	6,0 kg/(EW a)
Obstproduktion und -verwertung	4,0 kg/(EW a)
Schlachthofabfälle	4,0 kg/(EW a)
Bierbrauereien	3,0 kg/(EW a)
Fleischverarbeitung	3,0 kg/(EW a)
Getreide- und Ölmühlen	1,5 kg/(EW a)
Weinherstellung	1,5 kg/(EW a)
Suppen- und Gewürzproduktion	1,0 kg/(EW a)
Milchverarbeitung	0,3 kg/(EW a)
Baumwolle, Naturtextilien	0,3 kg/(EW a)
Andere Abfälle (Leder, Tabak usw.)	0,2 kg/(EW a)
Diverse Nahrungsmittel (Hefeprod., Bäckereien usw.)	0,1 kg/(EW a)
Champignonproduktion	0,1 kg/(EW a)
Summe	38,0 kg/(EW a)

Geschichtliche Entwicklung Biogas

Ab rund:

- 1960 Faultürme in Kläranlagen
- 1975 Deponiegas
- 1980 landwirtschaftliche Anlagen
- 1985 Vergärung von Industrieabwässern
- 1990 Feststoffvergärung
- 1995 Co-Vergärung, Optimierungen

Erzeugung von Biogas

Die Kuh ist eine mobile Biogasanlage (~400 Liter Methan pro Tag...!)

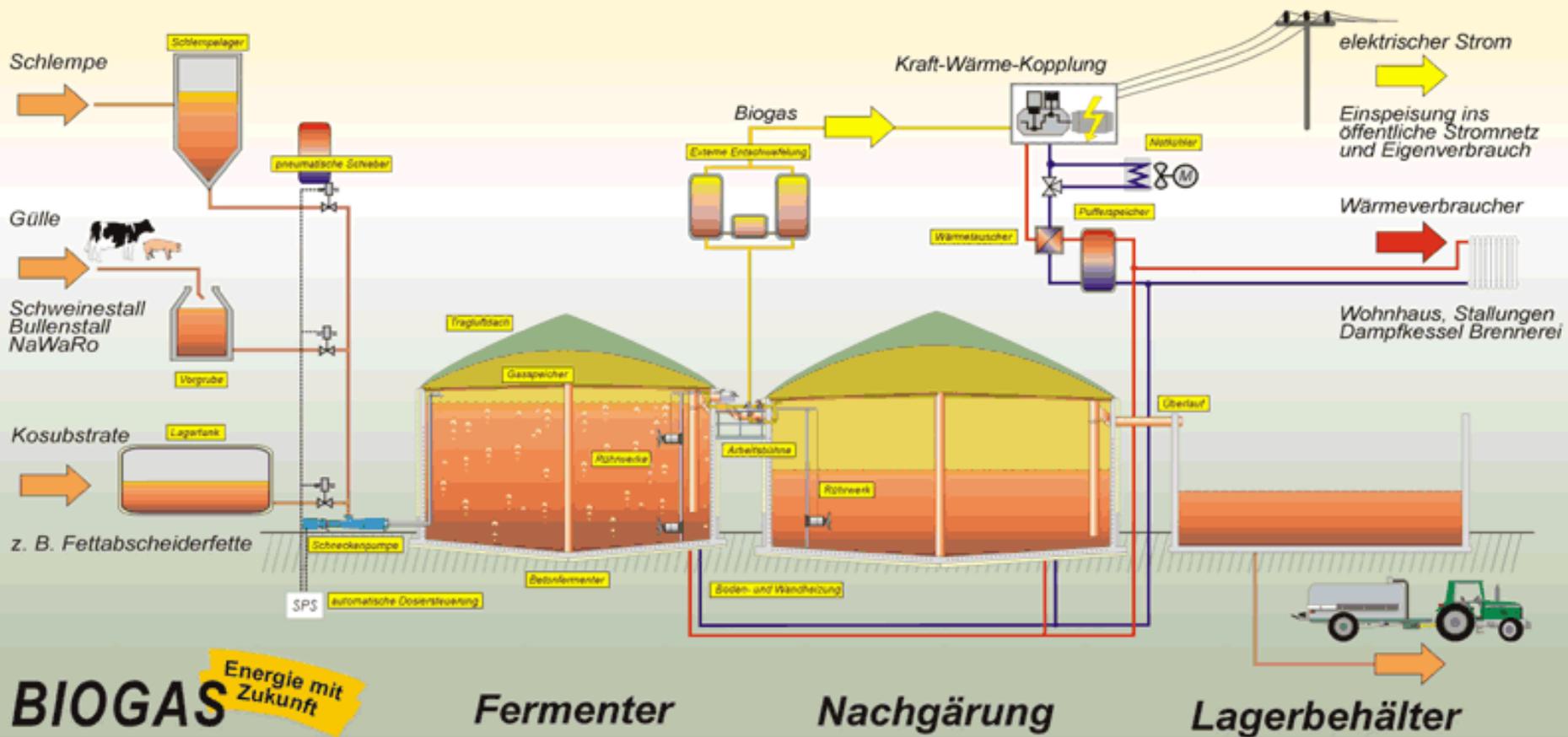
Vorbild Kuh:



- Durchgehend gut geheizt
- Super Zerkleinerung (Wiederkäuer)
- und Anmischung / Durchmischung
- Definierte Aufenthaltszeit (Abfolge von Mägen)

Biogasgewinnung aus Biomasse

Speicher-Durchfluss-Verfahren



Diverse Lösungen



Sinn von Bioenergieanlagen

- Weg von der Biomasse bis zum gewünschten Produkt ist i.d.R. technisch (und energetisch) **aufwändig** !
 - Bioenergie ist nicht gleich Bioenergie: unterschiedlicher Sinn **je nach Fall**
 - **Fazit:**
Immer überlegen, ob sich ein Aufwand lohnt!
 - **Ganzheitliches Denken notwendig!**

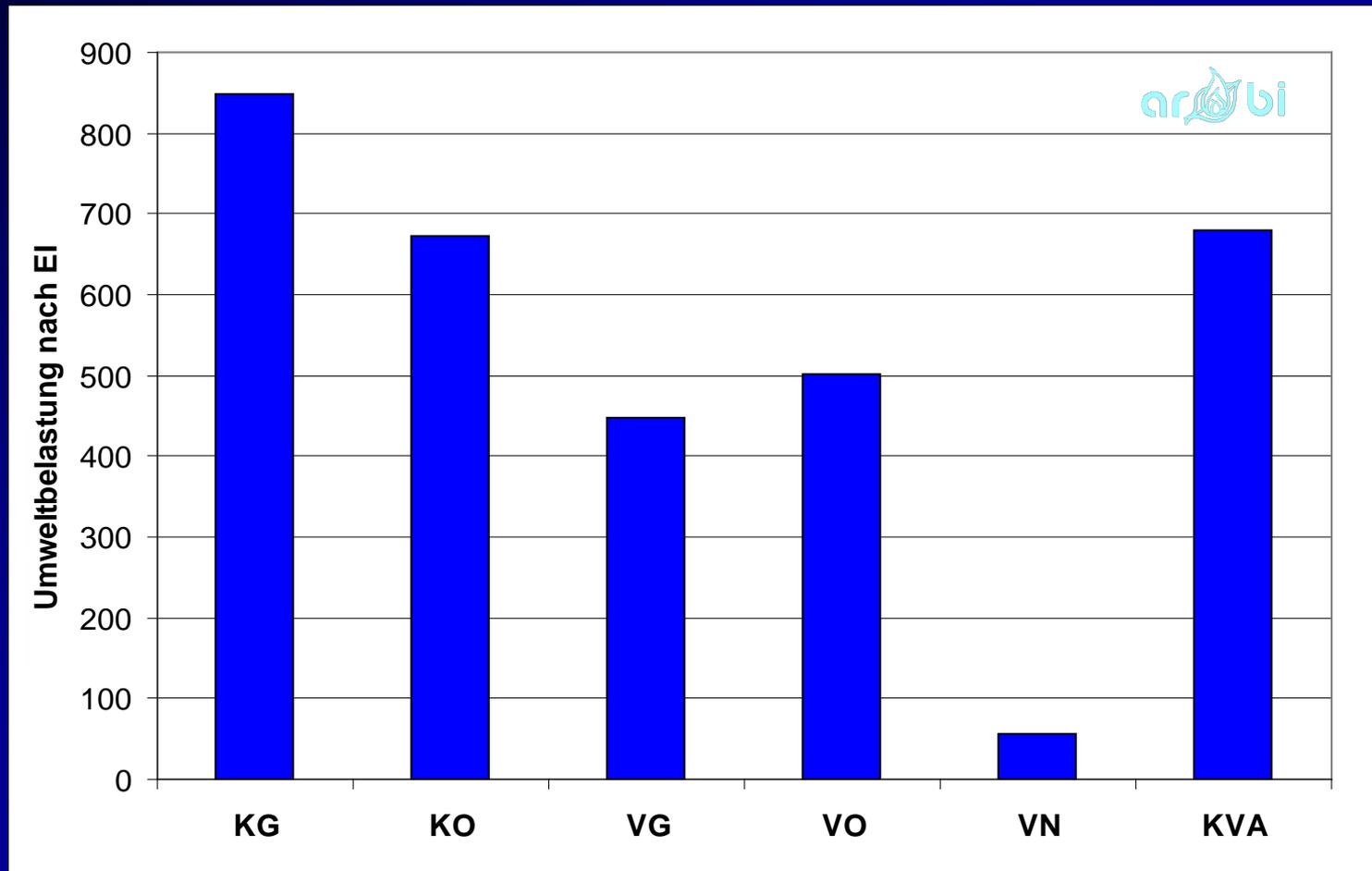
Umweltfreundlichkeit von Bioenergie

- Heute ist technisch sehr viel machbar
- nicht alles was machbar ist, macht Sinn !
 - Ökobilanzen wichtiger denn je!
- Vergleich von drei unterschiedlichen Fällen:
 - Biogas aus festen Abfällen und Abwässern
 - Biogas aus landwirtschaftlichen Abfällen
 - Biogas aus Energiepflanzen

Ablauf einer Ökobilanz



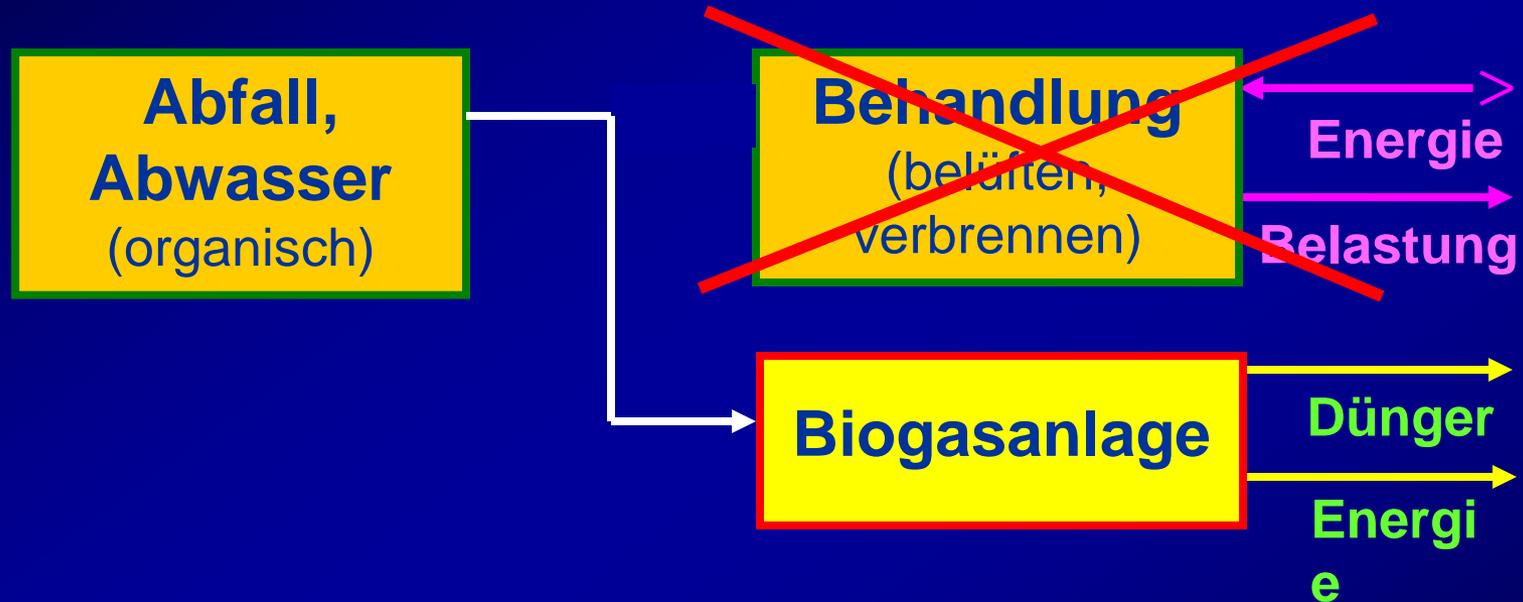
Ökobilanz Verwertung Bioabfälle



KG: Kompostierung geschlossen; **KO:** Kompostierung offen; **VG:** Vergärung mit KG; **VO:** Vergärung mit KO; **VN:** Vergärung mit Nachrotte; **KVA:** Verbrennung

Fall 1: „Biogas aus Abfall/Abwasser“

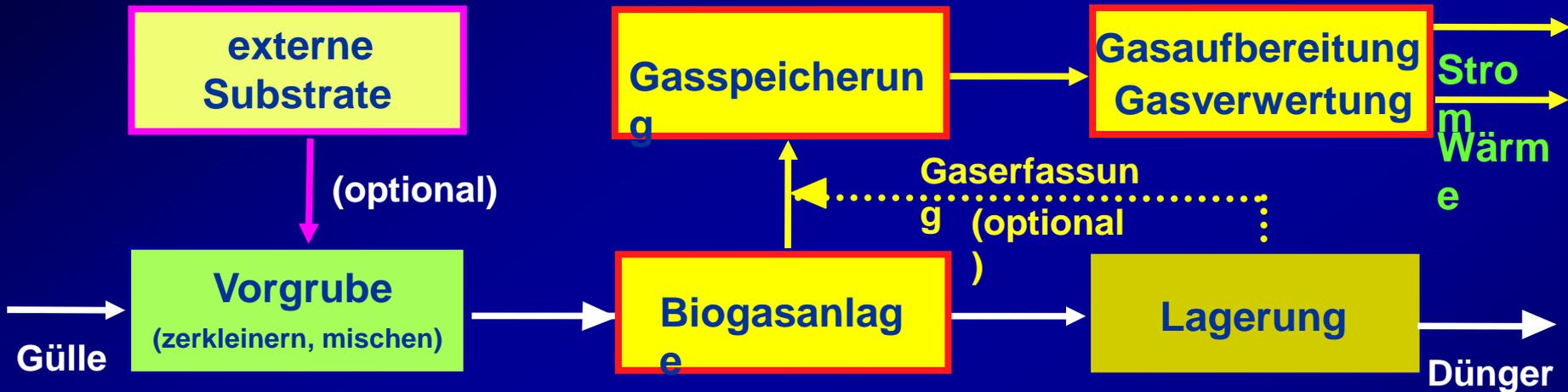
super Ausgangslage !



Die Gewinnung von erneuerbarer Energie ersetzt andere, ebenfalls umweltbelastende Prozesse

→ **ökonomisch interessant und super Ökobilanz!**

Fall 2: „zusätzliche Abfallbehandlung“



Die Biogasanlage ist eine **zusätzliche Komponente** auf dem Hof
→ muss mit ökologischem und ökonomischem Erlös von Energie und Dünger amortisiert werden!

Sie kann **zusätzlich Cosubstrate** (Abfälle) vergären:

- die Wirtschaftlichkeit wird verbessert
- die Ökobilanz wird (ev.) etwas verbessert

Bsp.: landwirtschaftliches Biogas

- wegen **Zusatzemissionen** (NH_3 , N_2O , CH_4) kaum viel umweltfreundlicher als Euro-Strom !
 - die **Covergärung** von biogenen Abfällen nutzt die Infrastruktur zwar effizienter, **verbessert** die Situation aber **nur partiell**, da mehr NH_3 und mehr Transporte !
- wenn umweltfreundlich produziert werden soll, muss das **Güllenmanagement verbessert** werden !



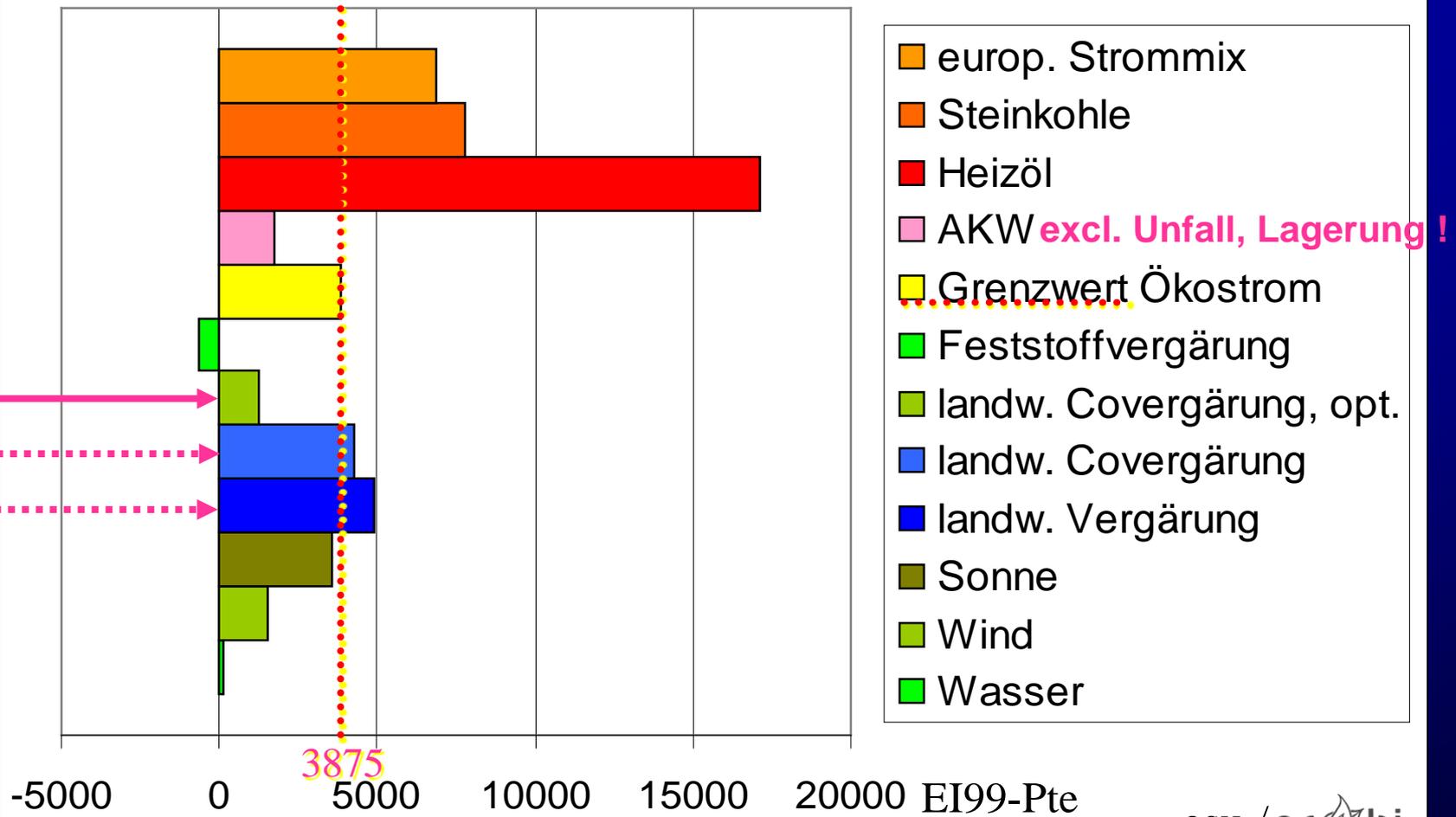
Lagertank abdecken,
Schleppschlauch-
verfahren



Vergleich verschiedener Energieträger

Umweltbelastung für Strom aus:

Quelle:



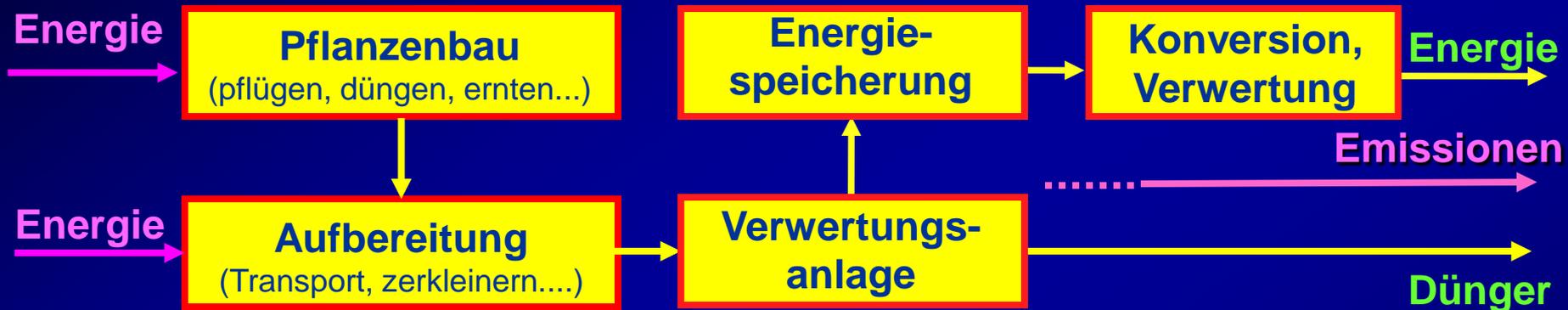
landwirtschaftliches Biogas braucht für Ökostrom Optimierungsmassnahmen

Fall 3: „zusätzlicher Pflanzenbau“



Fall 3: „zusätzlicher Pflanzenbau“

(„es ist gar nichts vorhanden...!“)



- der Anbau von Nawaro's bringt **Zusatzemissionen** und **erfordert viel Energie** !
(**Dünger, Pestizide, Treibstoff, Infrastruktur etc.**)
- die Resultate der Ökobilanz werden **drastisch verschlechtert**
- der Einsatz von **nicht erneuerbarer Energie** wird mit grossem Aufwand **nur wenig reduziert** !

Problem Energiepflanzen:

allgemein: **zusätzlich aufwändige Aufbereitungsketten**
(Saatgut, Anbau, Transporte, Lagerung und Aufbereitung)

- **Energie:** (fossile?!) **Fremdenergie** nötig
(Dünger, Pestizide, Treibstoff, Infrastruktur etc.)
- **Landressourcen:** **Flächen** für Nahrungsanbau gehen **verloren**
(→ Intensivierung der Landwirtschaft: Folgeschäden; keine C-Senken)
 - **Boden:** **Bodenverdichtung, Erosion, Belastung**
(Humusverlust, halogenierte Pestizide, Nährstoffe etc.)
 - **Landschaft:** Verfremdung durch **Monokulturen**
 - **Artenvielfalt:** **sinkt** bei (notwendigem!) **Intensivanbau**
 - **Luft:** zusätzliche NO_x , Methan und NH_3 -**Emissionen**
 - **Wasser:** erhöhter Bedarf für **Bewässerung**

Bioenergie vs. Fotovoltaik

Input Sonnenenergie pro Fläche	100 %
Umwandlung in Zucker (Fotosynthese)	10 % (- max.20%)
Umwandlung in Zellmaterial (Protein, DNS, Fett etc.)	5 % (- max 10%)
- Verluste (brach liegende Felder, Lichthemmung etc.)	1 % (0.5 - 2%)
- Energieaufwand für Anbau (Dünger, Maschinen)	~0.3 % (abziehen!)

verbleibende Netto-Energie in Biomasse **~0.7 %**

Nun: Bau Anlage zur Lagerung, Aufbereitung und Verwertung von Biomasse (Energie!), Betrieb (Pumpen, Rühren, Heizen, destillieren etc. etc.), Verluste durch biologischen Abbau, Apparate zur Reinigung, ev. Verwertung der Energieträger (Verluste Abwärme!) etc., etc.:

Output Bioenergie netto **<0.1 - 0.4 %**

Ausbeute von Fotovoltaikzellen **20 %** (- max. 35%)

dh. Fotovoltaik **>100 mal effizienter** (inkl. graue Energie) !

Nettoertrag von Nawaro's

Jährlicher Energieertrag von nachwachsenden Rohstoffen pro Hektare		
Bioenergieträger	netto kWh	% Sonne
Maissilage, anaerobe Vergärung zu Biogas	14'500	0.11%
Mais, Hefegärung zu Bioethanol	3'800	0.03%
Chinaschilf, Hefegärung zu Bioethanol	21'375	0.16%
Zuckerrüben, Hefegärung zu Bioethanol	12'000	0.09%
Weizen, Hefegärung zu Bioethanol	3'750	0.03%
Weizen, Bioethanol inkl. Nutzung Koppelprodukte	34'750	0.27%
Holz, Aufschluss, Hefegärung zu Bioethanol	6'000	0.05%
Holz, Verbrennung	39'100	0.30%
Holz, Vergasung, BTL-Verfahren	5'750	0.04%
Raps, Ölgewinnung	3'200	0.02%
Raps, Ölgewinnung inkl. Nutzung Glycerin und Kuchen	17'200	0.13%
Sonneneinstrahlung	13'000'000	100%

Burkhalter R. (2007): *Die zweite Generation*, „die Grüne“, Special Bioenergie, 20.9. 2007, pp.16-21



der Bauer als Energiewirt

(- auch im
Winter.....!)



dank
Beschattung
größerer
Ertrag !
(Anlage Schwifting
bei Landberg a.
Lech)

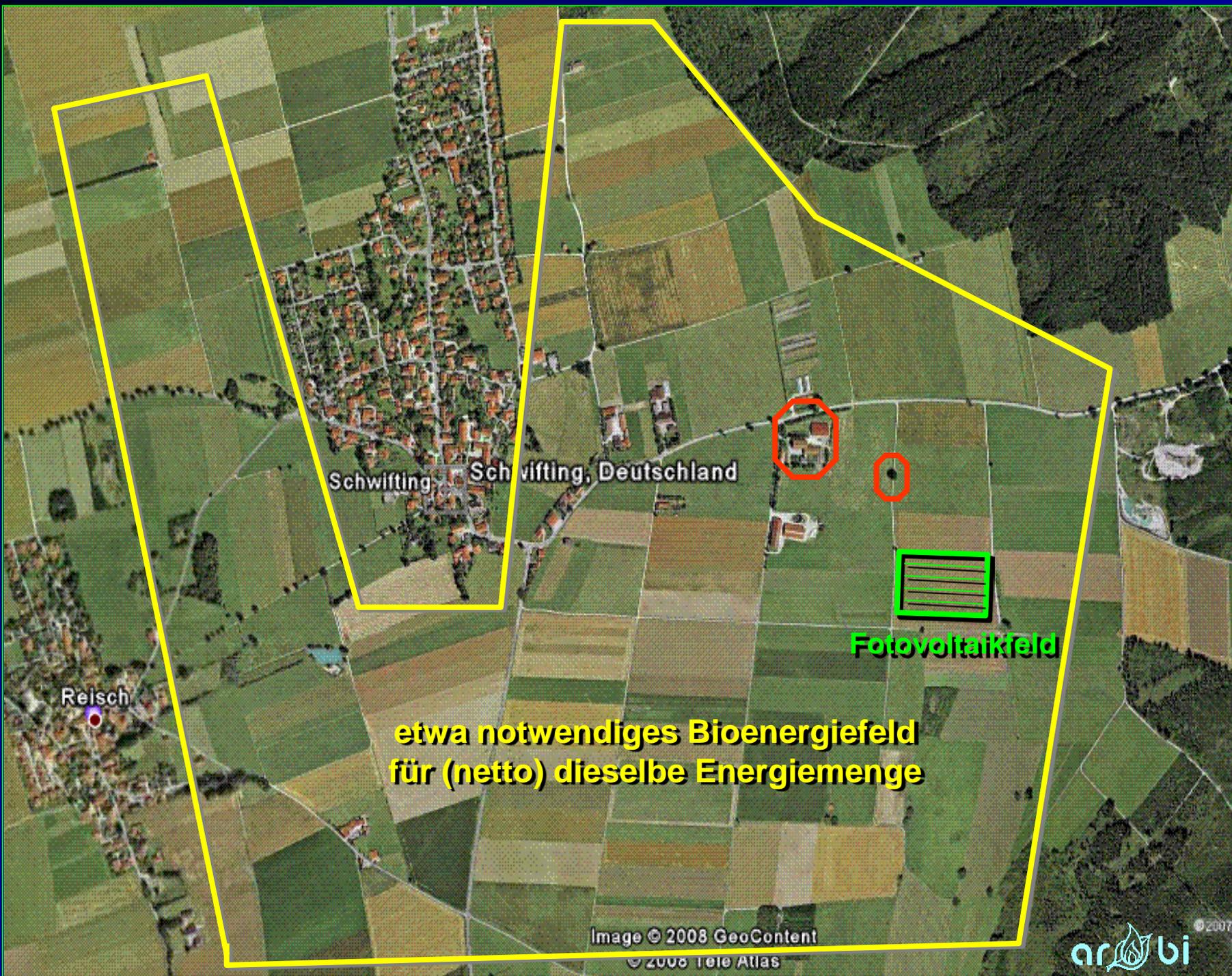


Luftbild „Schwifting“

- 12.000 m²
Kollektorfläche,
mit ökologischen
Ausgleichsflächen und
Zwischengängen: 4ha
- Leistung 1.250.000
kWh/a
- max. Leistung 1,1MW
- Kosten ~ 4.0 Mio/€



Bioenergie vs. Fotovoltaik



Schwifting Schwifting, Deutschland

Reisch

Fotovoltaikfeld

**etwa notwendiges Bioenergiefeld
für (netto) dieselbe Energiemenge**

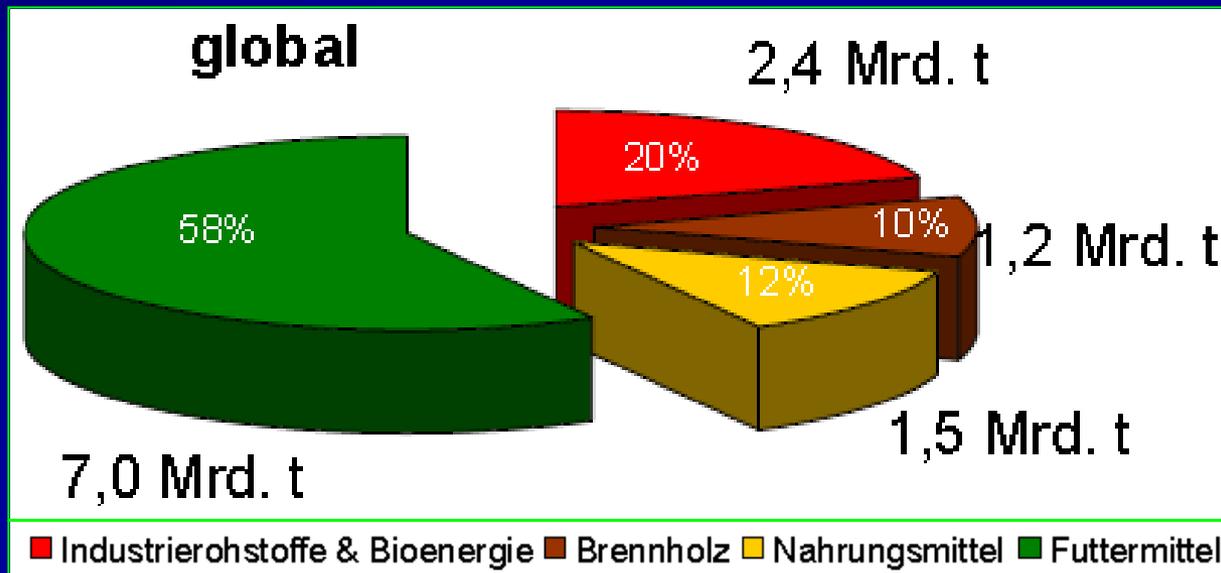
Fazit Nawaro's für Energie:

- Energieverknappung
 - **Nahrungsverknappung und -verteuerung !**
- Klimawandel
 - **Nahrungsverknappung und -verteuerung !**
- Energieverknappung und Klimawandel
 - **Verknappung der Anbauflächen**
- Energiepflanzen:
 - uneffizient und zu teuer
 - zukünftig: kaum Anbauflächen mehr vorhanden
 - ethisch nicht vertretbar
- **vorübergehendes Strohfeuer !**

(Ausnahme: nachhaltige Nutzung Wald)

Schlussfolgerung für Nawaro's

- Nahrungsanbau schwieriger (knappere fossile Ressourcen, Klimawandel)
 - Bevölkerungswachstum
 - **mehr vegetarische Ernährung**



genutzte Biomasse 2000 (Schütte A., 2008)

Zukunftsperspektiven:

- Kein **Anbau** von Biomasse zu Energiezwecken
(Ausnahme: nachhaltige Nutzung von Holz zur Verbrennung)

ABER:

Nutzung von erneuerbarem Strom bei Überproduktion
für **Wasserspaltung** mit Elektrolyse !

- Produktion von Wasserstoff und Methan
- Speicherung von Methan im Erdgasnetz

→ **Strom wird speicherbar !**

- „power to gas“= Bindeglied zur Integration von erneuerbarem Strom in Energieversorgung

Die Deutschen machen's vor!

Mittlerweile gibt es rd. 20 Power to Gas – Demonstrationsprojekte

WO AUS GRÜNEM STROM WASSERSTOFF WIRD...

BADEN-WÜRTTEMBERG

KARLSRUHE

AUFTRAGSBEREICH: MINISTERIUM DNGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
 PROJEKTART: Forschungs- und Entwicklungs-Projekt
 GINGANGS-LEISTUNG: Untersuchungen laufen noch
 H₂-UND O₂-PRODUKTION: 8 m³/h Wasserstoff, 1 m³/h Methan
 NUTZUNGSFELD: Methanisierung und Erzeugung im Erdgasnetz
 CO₂-QUELLE FÜR METHANISIERUNG: Holzgas aus KOPFSTÄMMENPARTNER: Royal Institute of Technology KTH, Conas AB, KIT-EBL, IIS GmbH
 BETRIEBSSTAND: in Planung

AUFTRAGSBEREICH: MINISTERIUM DNGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
 PROJEKTART: Forschungs- und Entwicklungs-Projekt
 GINGANGS-LEISTUNG: Untersuchungen laufen noch
 H₂-UND O₂-PRODUKTION: 8 m³/h Wasserstoff, 1 m³/h Methan
 NUTZUNGSFELD: Methanisierung und Erzeugung im Erdgasnetz
 CO₂-QUELLE FÜR METHANISIERUNG: Untersuchungen laufen noch, aktuelle Stand Biogas, Heizwerke, Vergärung, und andere Quellen
 KOPFSTÄMMENPARTNER: Fraunhofer ISE, KIT-EBL, Halc-GasAG, Oetiker-GasAG, EnBW AG, IUT/IE GmbH
 BETRIEBSSTAND: in Betrieb

STUTTGART

AUFTRAGSBEREICH: THEODOR SAFAFELD GmbH
 PLANUNG: NEUBAU VON VERSUCHSSTRAßENANLAGE FÜR SOLAR ENERGIEN UND WASSERSTOFF FÖRDERUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (ZSW)
 PROJEKTART: Demonstrationsprojekt
 GINGANGS-LEISTUNG: 25 kW
 H₂-UND O₂-PRODUKTION: 6 m³/h Wasserstoff, 1,5 m³/h Methan
 NUTZUNGSFELD: Methanisierung und Nutzung des Methans als Kraftstoff
 CO₂-QUELLE FÜR METHANISIERUNG: Umgebungs- und teilweise Biogas zu Versuchswecken
 KOPFSTÄMMENPARTNER: ZSW, Fraunhofer IWES
 BETRIEBSSTAND: Baubeginn und Vorarbeiten bis November 2020 (kein Dauerbetrieb)

AUFTRAGSBEREICH: UNIVERSITÄT DUISBURG

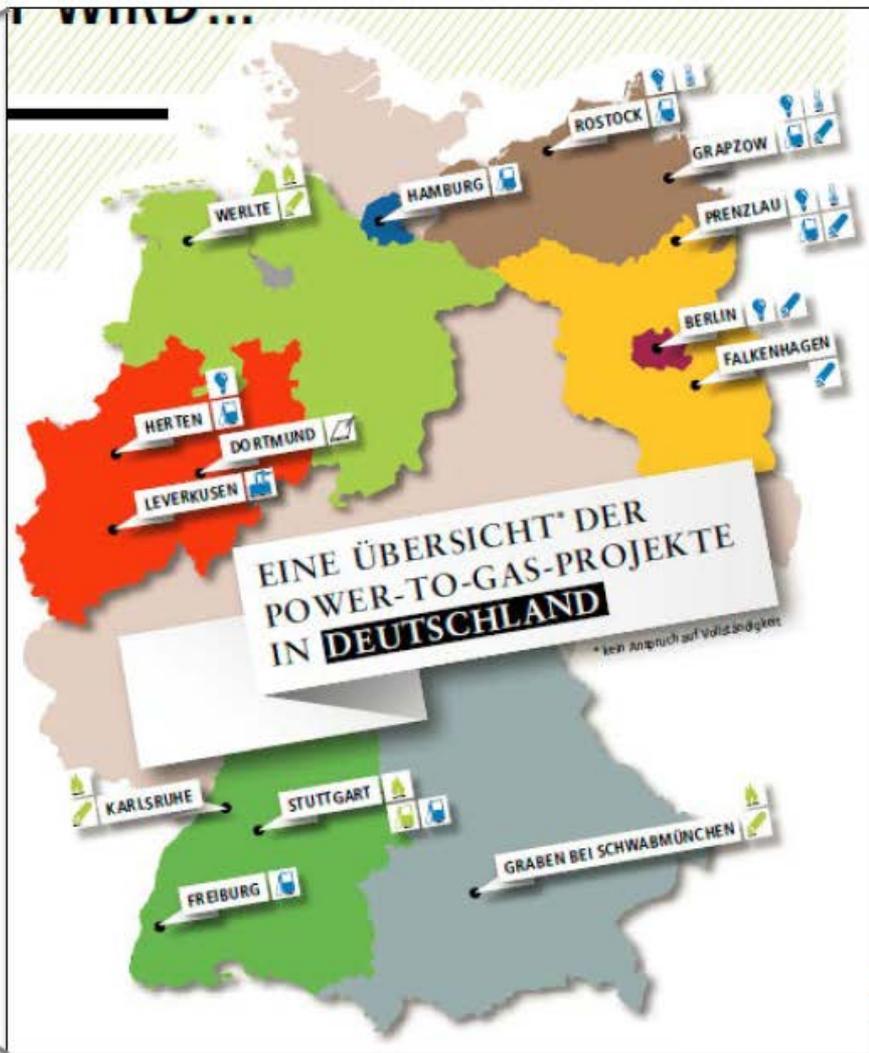
Zentrum für Solarenergie- und Wasserstoff-Forschung an der Universität Duisburg-Essen
 PROJEKTART: Forschungs- und Entwicklungs-Projekt
 GINGANGS-LEISTUNG: 250 kW
 H₂-UND O₂-PRODUKTION: 50 m³/h Wasserstoff, 12,5 m³/h Methan
 NUTZUNGSFELD: Methanisierung ohne Erzeugung im Erdgasnetz, insbesondere für das Ausbelegungsprojekt
 CO₂-QUELLE FÜR METHANISIERUNG: CO₂-Leak, Untersuchung der CO₂-Qualität aus unterschiedlichen Quellen
 KOPFSTÄMMENPARTNER: Safafield, Fraunhofer IWES, Enantail geführt von BMW
 BETRIEBSSTAND: Pilotanlage im Bau, Inbetriebnahme voraussichtlich Herbst 2022

AUFTRAGSBEREICH: ENTT Energie Baden-Württemberg AG

PROJEKTART: Demonstrationsprojekt
 GINGANGS-LEISTUNG: 400 kW
 H₂-PRODUKTION: 60 m³/h Wasserstoff
 NUTZUNGSFELD: Wasserstoff als Kraftstoff
 KOPFSTÄMMENPARTNER: Bundesstrassenprojekt
 BETRIEBSSTAND: im Bau

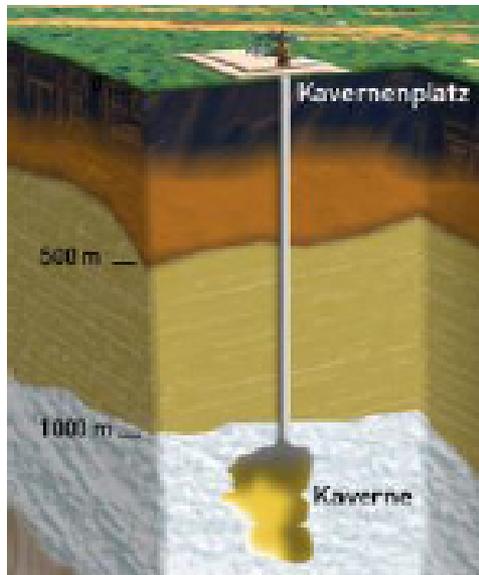
FREIBURG

AUFTRAGSBEREICH: UNIVERSITÄT Fraunhofer ISE
 PROJEKTART: Demonstrationsprojekt
 GINGANGS-LEISTUNG: 40 kW
 H₂-PRODUKTION: 6 m³/h Wasserstoff
 NUTZUNGSFELD: Wasserstoff als Kraftstoff
 BETRIEBSSTAND: in Betrieb



Zukünftige Speicherung von erneuerbarem Strom:

Erdgasspeicher



Speicherleistung
ca. 110 GW

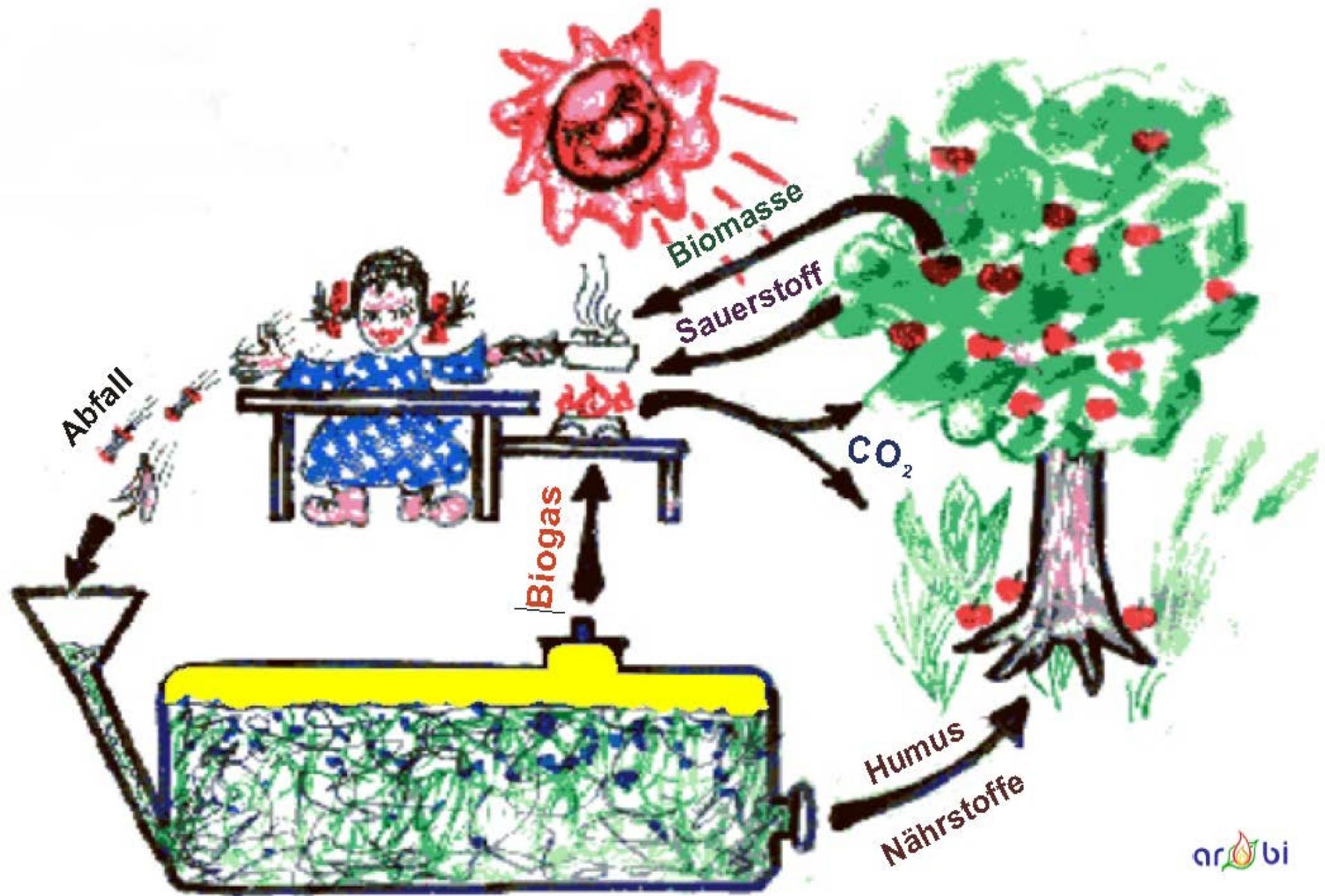
Speicherkapazität
ca. 19 Mrd. m³ \approx 210 TWh

Leistung einer Anlage
 \leq 30 GW

Quelle: IAEW, RWTH Aachen

Biogas aus biogenen Abfällen und Abwässern wird in Zukunft vor allem wichtig sein zu Schliessen der Stoffkreisläufe !

(die Energie wird hauptsächlich von erneuerbarer Elektrizität kommen)



Zukunft: ganzheitliche Konzepte



z.B. Presswasserverwertung
(Koppelprodukt!)

zukünftige
Produkte

Ökostrom

BHKW-Abgas
(CO₂, Wärme)

Kompost

Gas
(zum Kochen)



Wärme

Treibstoff

Fische, Krebse,

Salat, Gemüse
und Zierpflanzen

Aber immer daran denken:

Bioenergie wird nur aus
Abfallstoffen Sinn machen, die
möglichst einfach verwertet werden !



Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

Dr. Werner Edelmann



www.arbi.ch

arbi GmbH, Baar