



Erneuerbare Energien und KWK – Stand der Technik

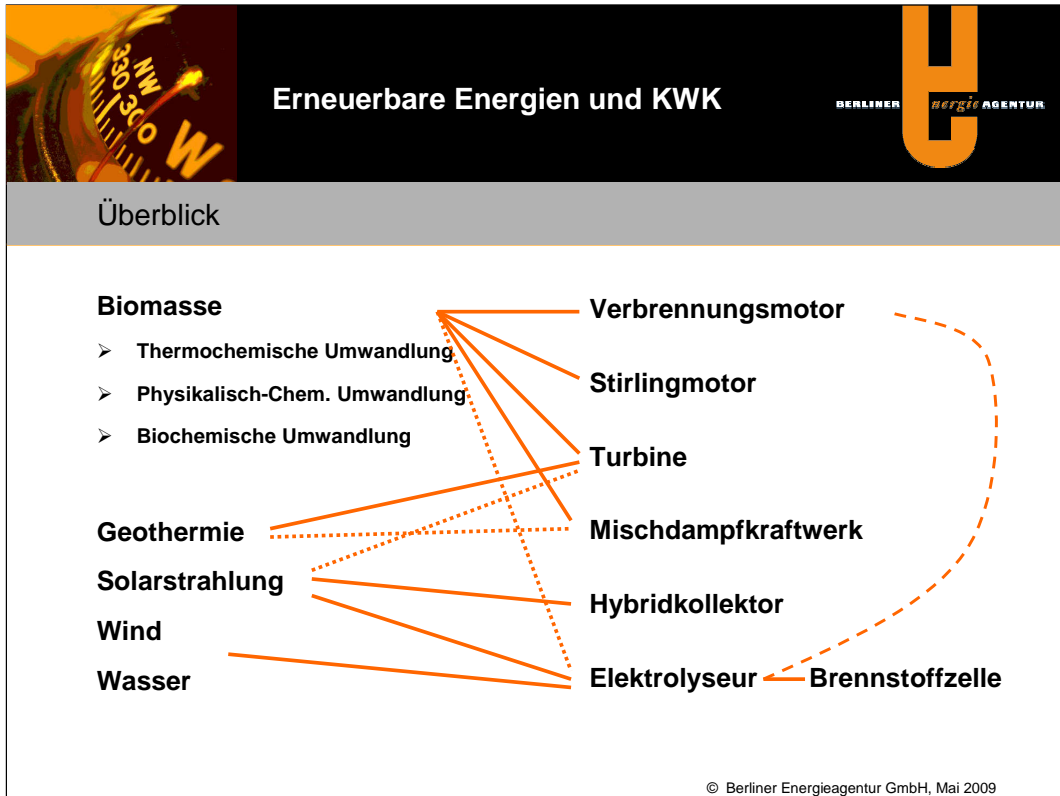
Dipl.-Ing. Berit Müller
Berliner Energieagentur GmbH

**Gut kombiniert: Erneuerbare Energien und KWK, ein Workshop der
Initiative "KWK Modellstadt Berlin"**

**5. Mai 2009
Berliner Energietage**

Berit Müller
Ing. Energietechnik
Netzwerkmanagerin für das Berliner Netzwerke

- Projekte anstoßen
- umsetzen
- Einsatz Innovativer Technologien befördern
- wie weit ist Einsatz EE für die KWK in Berlin möglich



Erneuerbare Energiequellen und Umwandlungstechniken zur Kraft-Wärme-Kopplung

Breites Spektrum der Möglichkeiten der Biomasse wird sichtbar

Gründe:

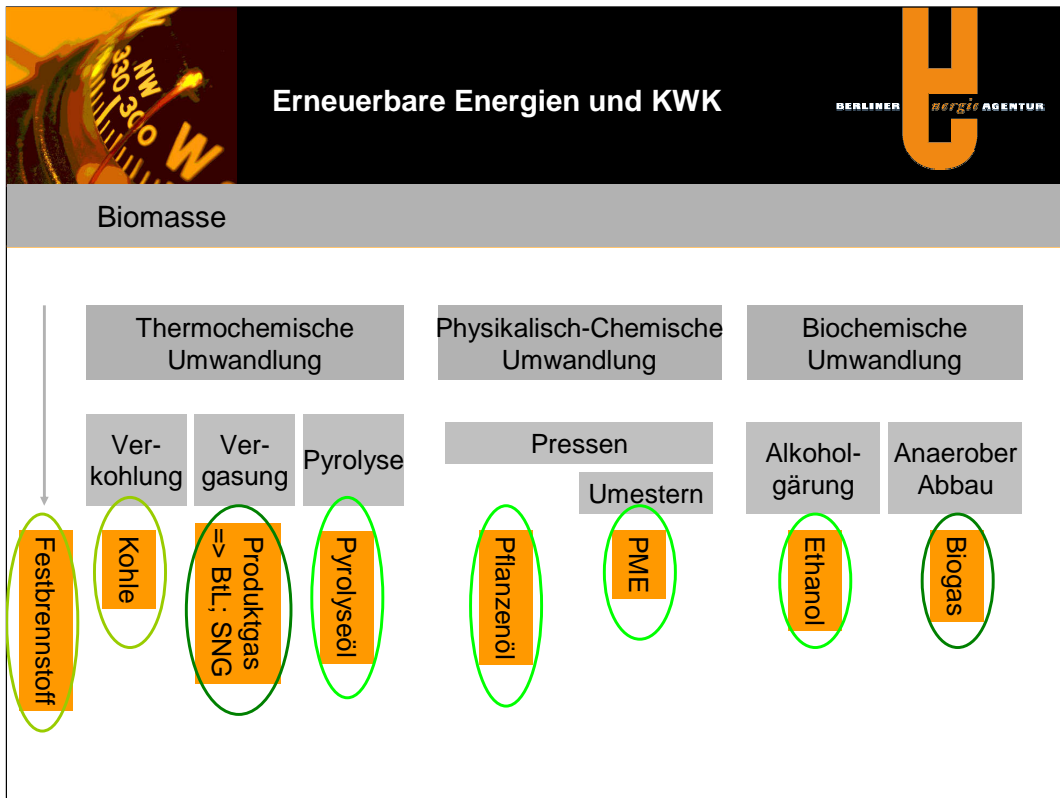
- Biomasse wird schon sehr lange eingesetzt – vor der Nutzung der fossilen Brennstoffe und als Rückfallebene (Ölkrise,...)
- Biomasse kommt den Eigenschaften der fossilen Brennstoffe, an denen sich die Technologieentwicklung in der Vergangenheit orientiert hat, am nächsten (Holzgas, Pflanzenöl, Festbrennstoff)

Gestrichelte Linien:

Solarstrahlung: bei direkter Strahlung kann diese aufkonzentriert werden und es können Temperaturen erreicht werden, mit denen ein herkömmlicher Kraftwerksprozess betrieben werden kann – selten an Orten, wo die Wärme auch sinnvoll genutzt werden kann.

Biomasse - BZ: Syngas kann nach Aufbereitung auch in BZ verbrannt werden; Überschussstrom aus Biomasse in Wasserstoffherzeugung macht wenig Sinn, da Biomasse der bessere Speicher ist

Geothermie – Mischdampfkraftw.: Mischdampfkraftwerk muss erstmal auf den Markt



Biomasseumwandlungspfade zur Kraftstoffbereitstellung im Überblick

Brennstoffe entsprechend Kohle, Erdöl, Erdgas, Benzin – aber eben nur ähnlich
Das bereitet Probleme

Vorgehensweisen:

Die Technik den Brennstoffen anpassen

oder die Brennstoffe der Technik (Gasaufbereitung, PME)



Biomasse – äußere Verbrennung



ORC-Anlage

Quelle: BIOS Bioenergiesysteme GmbH, Graz

Niederdruck-Turbinenläufer



Umwandlungstechnologien werden unterschieden nach äußerer Verbrennung und interner Verbrennung

Dampfturbinen

Die Kraft-Wärme-Kopplungs-Technologie auf Basis des Dampfturbinenprozesses stellt eine interessante und praxiserprobte Anwendung zur Stromerzeugung aus fester Biomasse im Leistungsbereich ab **2 MW** dar (bis 25 MW – darüber Brennstoffverfügbarkeit fraglich) .

Wirkungsgrad **18-30%**

ORC-Anlagen (*kleine Schwester der Dampfturbine*) sie wird statt mit Wasserdampf mit einem organischen Arbeitsmedium betrieben, das eine niedrigere Siedetemperatur als Wasser hat, wodurch sie schon bei sehr viel geringeren Antriebstemperaturen arbeiten kann.

sind in der Markteinführungsphase; verschiedene **Pilotanlagen** zwischen **200 und 1500 kW** laufen in AU, I, CH, D im Dauerbetrieb;

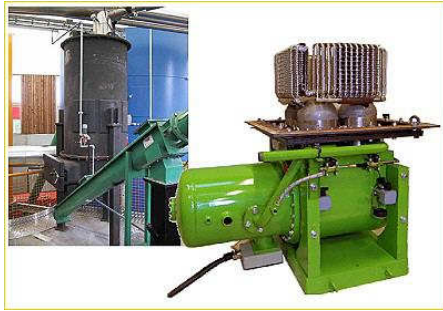
ORC-Anlagen können zwischen 10 und 100% ihrer Nennleistung betrieben werden und sind für **schnelle Lastwechsel** gut geeignet

Eta zwischen **5 und 20%**



Biomasse – äußere Verbrennung

Holz hackschnitzel-Stirling BHKW (35 kWel) Pellet-Stirling BHKW (3 kWel)



Stirlingmotoren - ein weiterer Vertreter der äußeren Verbrennung

Geringe Wirkungsgrade – nur wärmegeführter Betrieb sinnvoll

Vorteile Stirling:

- Auch hier Umwandlungstechnik unabhängig vom Brennstoff (das ist natürlich in sofern zu relativieren, als die spezielle Entwicklung eines Typs sich sehr wohl auf einen Brennstoff festlegt)
- **Gute Abgaswerte** durch **kontinuierliche Verbrennung** (gegenüber Otto-/Dieselmotor)
- **Geräusch- und Vibrationsarm**

Herausforderungen:

- hohe mechanische Verluste + Verschleiß durch trocken laufende Kolben und in Folge Undichtigkeiten die zu Druckverlusten führen
- Notwendige hohe Temperaturdifferenzen
- Optimierung von Wärmeübergang versus Druckverlust im Regenerator
- Kein herkömmliches Getriebe; notwendige Kolbenbewegung fordert andere Bewegungsabläufe, die hohe Massenkräfte verursachen

Stirlingmotoren auf Basis von Biomassefeuerung sind bisher vielfach im Bereich der Prototypen

Schon auf dem Markt angeboten

Werden die folgenden beiden Entwicklungen (keine Garantie auf Vollständigkeit)

Sunmachine (Pellet):

3 kWel (max. 3,8) / 10,5 kWth

el. Wirkungsgrad: 20%

Ges. Wirkungsgrad: 90 %

(Händlersuche per Postleitzahl unter www.sunmachine.com)

SD3 (Hackschnitzel)

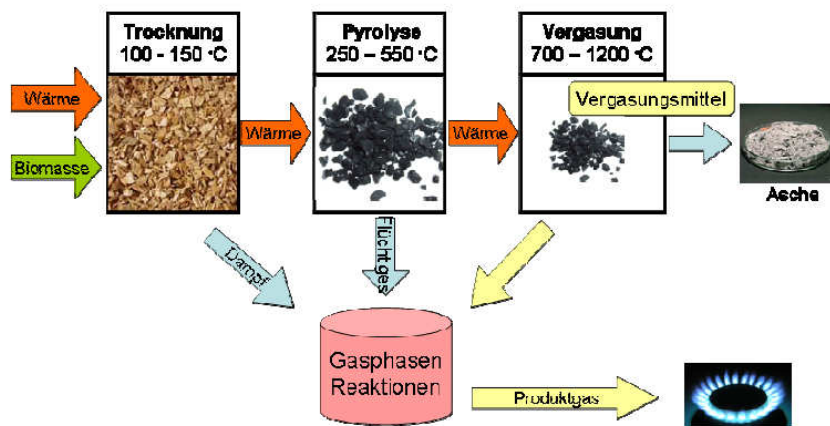
35 kWel / 140 kWth (75 kW / 400 kW => SD4)

el. Wirkungsgrad: 17,5%

Ges. Wirkungsgrad: 87,5 %

(beide Anlagen u.a. angeboten von: Ingenieurbüro für Energie-Sonderanlagenbau - Energieeffizienzagentur.EU; Dipl.- Ing. Holger Roswandowicz)

Biomasse – interne Verbrennung



Quelle: IZE, TU Berlin; Überblick zu Konzepten für die Vergasung von holzartiger Biomasse im Leistungsbereich bis zu 30 MWth (2009)

Theorie der Biomasse –Verbrennung

Die drei Hauptphasen der thermischen Zersetzung:

Trocknung: verbliebene Restfeuchtigkeit verdampft aus dem Brennstoff

Pyrolyse: mehrere Zersetzungs Vorgänge finden statt, Entstehung einer Vielzahl von Zwischenprodukten (z.B. unterschiedlichste Arten von Teer)

Hauptproblem ist die schlechte Kontrollierbarkeit dieses Vorgangs

Vergasung: Zwischenprodukte reagieren durch oxidierende und reduzierende Vorgänge untereinander (Gasphasen Reaktionen);

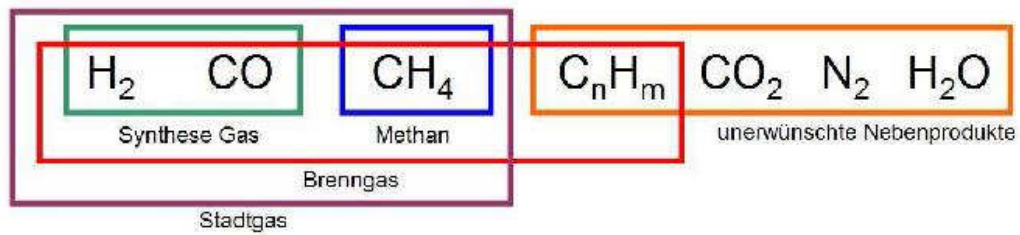
Vergasungsmittel (z.B. Luft, Wasserdampf oder reiner Sauerstoff) liefert den benötigten Sauerstoff

Die gewünschten Produkte sind H₂ und CO



Biomasse – interne Verbrennung

Komponenten des Holzgases



Quelle: IZE, TU Berlin; Überblick zu Konzepten für die Vergasung von holzartiger Biomasse im Leistungsbereich bis zu 30 MWth (2009)

Vergasung => **Produktgas, Holzgas** oder **Brenngas**

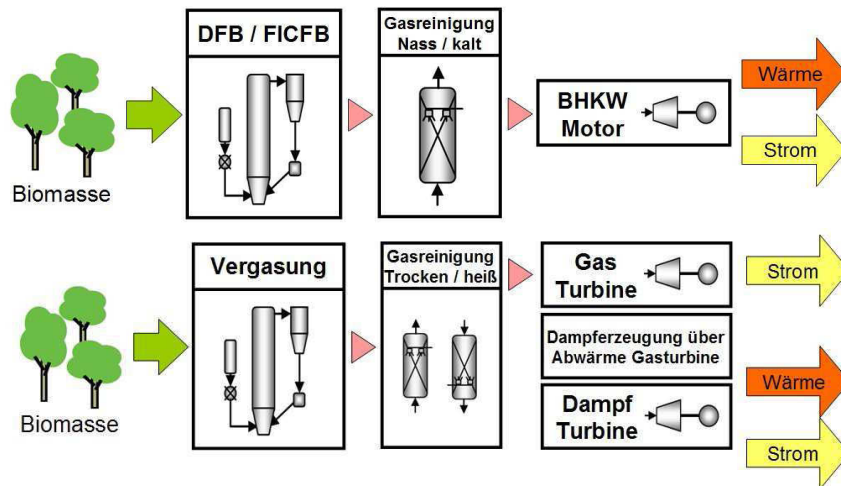
Im Gegensatz zur Verbrennung keine komplette Reaktion des Brennstoffs mit dem Vergasungsmittel (meistens Umgebungsluft) => Gasanteil maximieren

Je nach Verfahren entstehen unterschiedliche Komponenten

Hauptbestandteile des erzeugten Gases: CO und H_2 (Synthesegas), unerwünschte Nebenprodukte (z.B. unterschiedlichste Arten von Teer)



Biomasse – interne Verbrennung



Quelle: IZE, TU Berlin; Überblick zu Konzepten für die Vergasung von holzartiger Biomasse im Leistungsbereich bis zu 30 MWth (2009)

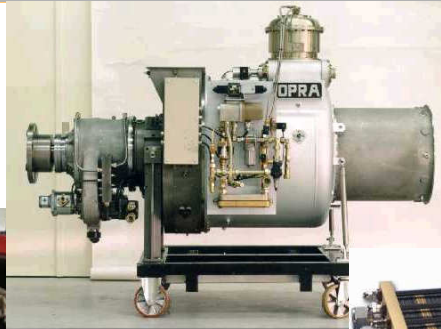
Es gibt für die verschiedenen Größenordnungen und Ansprüche an die Gasqualität unterschiedliche Vergasungstechnologien und Gasreinigungsverfahren
Sie sind eine entscheidende Säule für die Umsetzung der Verstromungskonzepte

Nicht weiter vertiefen in diesem Vortrag



Biomasse – interne Verbrennung

Verbrennungsmotor –
BHKW



Turbine

BZ



Interne Verbrennung

Umwandlung des Holzgases in **Kraft-Wärme Kopplung mittels konventioneller thermodynamischer Maschinen:**

Verbrennungsmotoren

Vergleichbar **hoher Wirkungsgrad** in **kleinen Leistungsbereichen** (zw. 20 und 35%)

Marktverfügbare Technik (nicht ohne Probleme)

Großer **Wartungsaufwand** und, verglichen mit zentraler KW-technik, höhere **Emissionen**

Anpassung an die speziellen Eigenschaften von Holzgas:

Brennwert Holzgas < Methan

Andere Zündgrenzen und Klopfesigenschaften

technische Probleme an den meisten Demonstrationsanlagen: **Teerablagerungen in Ansaugleitungen und Turboverdichtern**

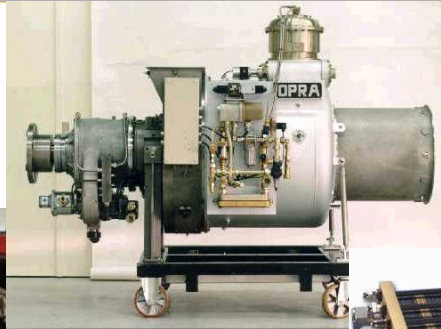
Verbrennungsmotoren werden in der Größenordnung bis max. 10 MW_{el} eingesetzt (IZE)

Vergasungsreaktoren: < 2 MW_{th} => i.d.R. Festbettsystem darüber Wirbelschichten



Biomasse – interne Verbrennung

Verbrennungsmotor –
BHKW



Turbine

BZ



Gasturbinen (i.d.R. bei >10MW)

In kleineren Leistungsbereichen geringerer Wirkungsgrad in höheren Leistungsbereichen bis 36% (300 MW)
ebenfalls Anpassung: modifizierte Brennkammern

Vorteile: **hohe Verfügbarkeit**

Toleriert **Schwankungen im Produktgas**

Geringe Emissionen

Geringerer Wartungsaufwand

Noch **keine Marktreife für Synthesegas**

Mikrogasturbinen

Leistungsbereich 30-200 kW

In punkto Verfügbarkeit, Emissionen und Wartungsaufwand den Verbrennungsmotoren überlegen

Eta ca. **30%**

Wirtschaftlich noch nicht sinnvoll

Piloteinsatz bisher im Biogasbereich

Brennstoffzellen können zur direkten Stromerzeugung aus Synthesegas genutzt werden

=> Wirkungsgradsteigerung in der Stromerzeugung

besonders geeignet Hochtemperatur Brennstoffzellen

(SOFC und MCFC7), hier werden CO und H₂ direkt in Strom umgewandelt

BZ sind noch sehr teuer

Bei der Nutzung von **Synthesegas haben sie geringe Standzeiten** (15. Biomassekonferenz 2007: 30.000h)

Für maximierte Standzeit muss die **Gasreinigung** in der Regel größer dimensioniert werden



Erneuerbare Energien und KWK

BERLINER  AGENTUR

Biomasse – interne Verbrennung

Informationen zu Pflanzenöl-BHKW:



C.A.R.M.E.N.
Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V.

Energie

Bezugsquellen- Pflanzen

Hier finden Sie Adressen von An-
Pflanzenöl zum Einsatz kommt.
angebotenen BHKWs abdecken

- Aktuelles
- Hintergrund
- Portrait
- Energie**
- Bezugsquellen
- Projekte
- Förderung
- Industrie/Produkte



**Pflanzenöl-
BHKW**

Einführung

**Pflanzenöl-BHKW -
Marktgeschehen und Technologien**

- Pflanzenöl - BHKW**
- Einführung
- Allg. Erläuterungen
- Aktuelles
- Pflanzenöle
- Rahmenbedingungen
- Konferenz
- Planung/Beratung
- Kontakt/Impressum

Noch ein Zusatz zu den eben genannten Verbrennungsmotoren für Pflanzenöl

Da gibt es eine Reihe marktverfügbarer Anlagen

Einige technische Schwierigkeiten und Anstieg der Pflanzenölpreise in den Jahren 2007 und 2008

Die Nutzung von Pflanzenöl in Verbrennungsmotoren unterscheidet sich von der Nutzung von leichtem Heizöl

Einsatz von „alten“ Motortypen führt zu **schlechten Abgaswerten**

Quelle: <http://www.pflanzenoel-bhkw.de/>

Bezugsquellen: www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/pflaoelbhkw.html

Biomasse - Biogas



Keine Vertiefung der Nutzung von Biogas werde, da das Thema verschiedener anderer Beiträge ist

Nur der Vollständigkeit halber – und weil das mein Lieblingsthema ist ein Beispiel

Problem bei Biogas-KWK:

Selten ausreichend Wärmeverbraucher am Standort der Biogasanlagen

Optimale Energieausnutzung durch **Gasfernleitung und/oder Nahwärmenetz** bzw Erdgaseinspeisung

Beispiel: Green-Gas Projekt Zeewolde (BHKW des Monats März 09)

2G KWK 250 BGG (MAN) – (250 kWel/320 kWth) BHKW zur Wärmeversorgung der Biogasanlage

GE Jenbacher 320 GS-B.L. (1063 kWel/1035 kWth) zur Wärmeversorgung der Siedlung Zeewolde

5 km Gasleitung

Nahwärmenetz (Vor-/Rücklauf: 70/45°C)

Start der Wärmeversorgung Januar 09

Geplant: ganzjährige Grundlastversorgung der z.Z. angeschlossenen 400 Häuser, Schule, Kirche + Neubausiedlung mit 3000 Niedrigenergiehäusern



Geothermie



Erdwärme-Kraftwerk Neustadt-Glewe



KWK aus Geothermie

Obwohl es sie schon recht lange gibt sind sie dennoch als Pilotanlagen zu bezeichnen; Zeit und Technik sind reif für eine breite Markteinführung

Konzept Geothermiekraftwerk Neustadt Glewe

zur Verfügung stehende Erdwärmemenge 110 m³/h Thermalwasser

Thermalwassertemperatur: 98°C

Die geothermische "Gesamtanlage" (Kraftwerk + Heizwerk) bildet in Neustadt-Glewe somit eine Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage, wobei die **Wärmeversorgung Vorrang** hat. Für die Stromerzeugung stehen deshalb nur die zur Fernwärmeversorgung *nicht* benötigten Wärmemengen zur Verfügung

Stromerzeugung: ORC-Prozess , 1.400-1.600 MWh/a (Jahresstrombedarf von ca. 500 Haushalten) ; bis 230 KWel; ca. 3000kW geothermische Wärme (=>eta knapp 10%)

Quelle: <http://www.erdwaerme-kraft.de/>

Solarstrahlung

Solarhybridkollektoren

Quelle: <http://www.solarhybrid.ag>

Der Hybrid-Kollektor

Solarthermie und Photovoltaik

Abführung der Wärme und somit Wirkungsgradsteigerung der Stromerzeugung

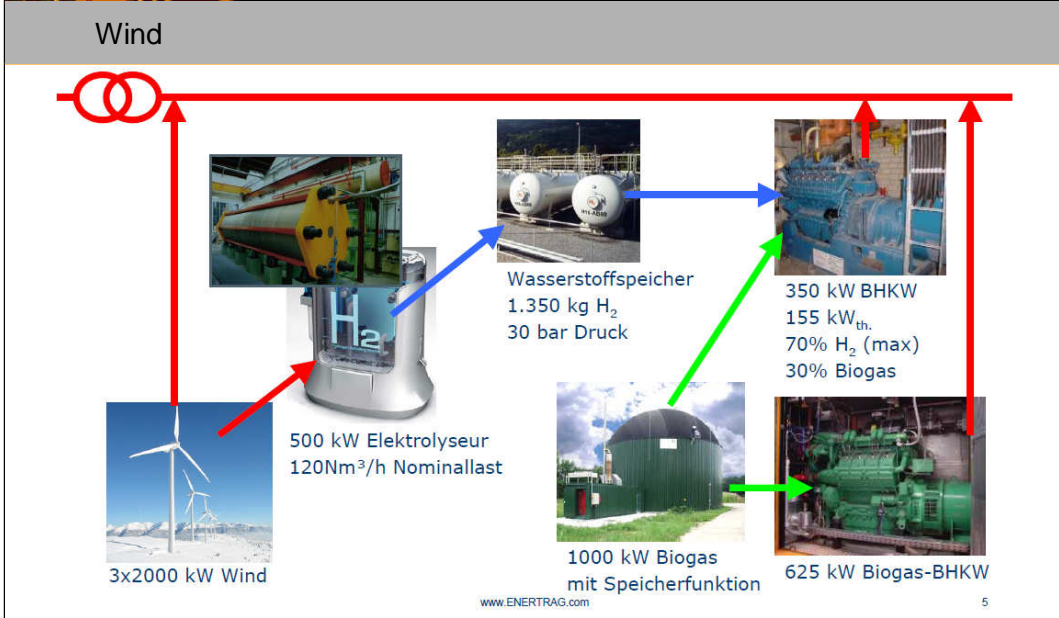
Kein großer Unterschied zur getrennten Erzeugung (allerdings optischer Vorteil)

Um tatsächlich Vorteile durch Kühlung zu erreichen:

Problem der Optimierung des Temperaturniveaus

=>Nischenanwendung

Wenige Hersteller



Wasserstoff-Wind-Biogas-Hybridkraftwerk

Daran wird deutlich, dass auch Technologien, die ursprünglich der reinen Stromerzeugung dienen, wie Wind und Wasser, in bestimmten Konstellationen einen sinnvollen KWK-Einsatz haben können

Planung eines industriellen Wasserstoff-Wind-Biogas-Hybridkraftwerks in der Uckermark

Windenergie ist der wettbewerbsfähigste Lieferant für sauberen Wasserstoff

Wasserstoff als Kraftstoff beseitigt Importabhängigkeit vom Öl

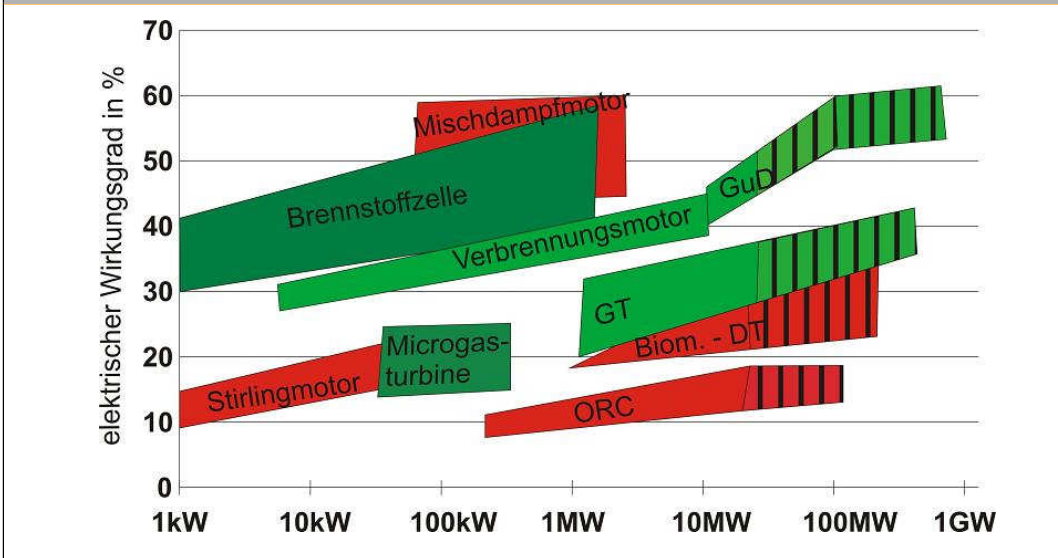
Erdgasnetz als geeignete Infrastruktur für Wasserstoff

Info: Enertrag

Ebenso wie Wind kann auch Wasserkraft (aus Laufwasserkraftwerken) für die Wasserstoffherzeugung in Schwachlastzeiten eingesetzt werden



Vergleich der Technologien



Wirkungsgrade und Leistungsbereiche der Technologien im Überblick

Diagramm aus verschiedenen Angaben zusammengestellt; Wirkungsgrade auch nach unten korrigiert – die oberen Angaben gelassen, auch wenn ich keine Literaturhinweise auf entsprechende Werte gefunden habe.

Bei 25 MW eine Grenze gezogen, weil ich ab dort die Verfügbarkeit von Biomasse in adäquater Entfernung in Frage stelle



Zusammenfassung

Pflanzenöl

Biogas

Festbrennstoffe

Gas aus Biomassevergasung

Geothermie

Solarhybrid – KWK

Stromüberschüsse aus EE

Pflanzenöl

Es gibt Pflanzenöl-BHKW auf dem Markt; Wartungsintensiv

Biogas

KWK in Verbrennungsmotoren ist S.d.T.

Wärmenutzung kann befördert werden durch Gas- oder Nahwärmenetze und Einspeisung ins Erdgasnetz

bzw. durch Gewerbeansiedlungspolitik mit Augenmerk auf Synergien

Verbrennung von Biogas in Microgasturbinen – erste Anlagen

Festbrennstoffe meistens Holz(hackschnitzel)

Dampfturbinen und ORC-Anlagen sind S.d.T. haben allerdings geringe Wirkungsgrade

Stirlingmotoren, mit ebenfalls vergleichsweise geringen Wirkungsgraden, sind gerade im Durchbruch zur Marktreife

Mischdampfmaschinen, mit sehr vielversprechenden Wirkungsgradversprechen, sind als Prototypen in der Entwicklung



Zusammenfassung

Pflanzenöl

Biogas

Festbrennstoffe

Gas aus Biomassevergasung

Geothermie

Solarhybrid – KWK

Stromüberschüsse aus EE

Gas aus Biomassevergasung

Vergasungstechnik ist hoch komplex und noch sehr teuer

Erste Anlagen (Verbrennungsmotor, Gasturbine, Microgasturbine) laufen teilweise mit guten Ergebnissen

Insbesondere Hochtemperaturbrennstoffzellen sind energetisch sinnvoll für den Einsatz mit Holzgas, Probleme bereiten hier noch die kurzen Standzeiten und die sehr hohen Kosten

Biomasseinput sind in den meisten Fällen Holzhackschnitzel

Anlagen kleinerer Leistung sind vielversprechender, da dezentraler Einsatz in der Nähe der Biomassequelle möglich

Geothermie

ORC-Technik ab ca. 100°C S.d.T.

Solarhybrid – KWK

Kein wesentlicher Unterschied zur getrennten Erzeugung

Stromüberschüsse aus EE (Wind/Solar/...)

Verwertbarkeit in KWK über Wasserstoffherzeugung

Mitverbrennung in Verbrennungsmotor - BHKW ist S.d.T.

Für Verbrennung in Brennstoffzellen – BHKW gibt es z.Z. keine verfügbare Anlagentechnik, da die BZ-BHKW auf Erdgasnutzung ausgerichtet wurden



Thank you for your attention
For more information:

www.berliner-e-agentur.de
office@berliner-e-agentur.de

Quellen:

York Neubauer, Johannes Wellmann, Marc Schaefer: Überblick zu Konzepten für die Vergasung von holzartiger Biomasse

im Leistungsbereich bis zu 30 MW_{th}, IZE, TU Berlin (2009)

Energie und Management (März 2009): KWK – Kompakt, Grüne Wärme direkt von der Kuh, Energie und Management Verlagsgesellschaft mbH, Herrsching

<http://www.erdwaerme-kraft.de/>

<http://www.enertrag.com/download/praesent/hybridkraftwerkkurzvorstellung.pdf>

<http://www.kw-energietechnik.de/>