

## **Statusbericht**

# **Kraft-Wärme-Kopplung mit biogenen Festbrennstoffen im kleinen Leistungsbereich**

**3N-Kompetenzzentrum  
Niedersachsen Netzwerk  
Nachwachsende Rohstoffe e.V.**

Geschäftsstelle Werlte  
Kompaniestraße 1  
49757 Werlte  
Tel. 0 59 51 - 98 93 - 0  
info@3-n.info

Büro Göttingen  
Rudolf-Diesel-Straße 12  
37075 Göttingen  
Tel. 05 51 - 307 38 - 18  
goettingen@3-n.info

September 2014

Dipl.-Ing. M. Kralemann  
Büro Göttingen

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	4
2.	Bewertung von KWK-Systemen	4
3.	Dampfmotor und Dampfturbine	5
4.	Organic Rankine Cycle (ORC)	7
5.	Vergasung	8
6.	Stirlingmotor	11
7.	Gesamtbewertung	12
8.	Anhang	14

## Einheiten/Abkürzungen

$H_U$  = unterer Heizwert

$H_O$  = oberer Heizwert

kW = Kilowatt

$kW_{el}$  = Kilowatt elektrisch

$kW_{th}$  = Kilowatt thermisch

kWh = Kilowattstunde

MWh = Megawattstunde

$Nm^3$  = Normkubikmeter

$Sm^3$  = Schüttkubikmeter

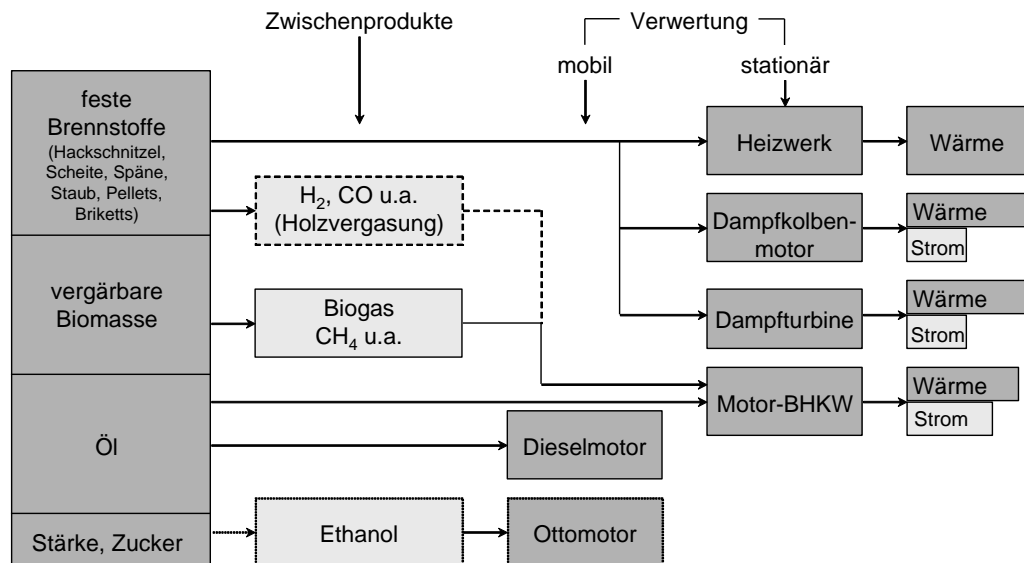
a = Jahr

d = Tag

h = Stunde

## 1. Einführung

Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen zur Energiegewinnung weist eine große technische Spannweite auf – neben der Gewinnung von Treibstoffen spielen die Wärme- und Stromerzeugung derzeit die größte Rolle. Während vergärbare flüssige Stoffe in Biogasanlagen eingesetzt werden, dienen feste Bioenergieträger vor allem der Wärmeversorgung. Bild 1.1 gibt einen Überblick über die Verwertungswege.



**Bild 1.1:** Technologien zur energetischen Nutzung von Biomasse

Biogene Festbrennstoffe werden zur gekoppelten Wärme- und Stromerzeugung vorwiegend in Anlagen der Megawatt-Klasse eingesetzt, hier hat das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) seit 2000 einen wahren Boom ausgelöst. Die verfügbaren Mengen des hier bevorzugt eingesetzten Altholzes, insbesondere die Klassen A2 - A4 nach AltholzVO, sind mittlerweile ausgeschöpft. Seit der Fassung des EEG von 2004 wird der Blick auch auf die Kraft-Wärme-Kopplung im kleineren Leistungsbereich gelenkt. Die erhöhten Vergütungssätze machen insbesondere den Einsatz naturbelassener Biomasse attraktiv. Hier kommt eine Reihe von Technologien in Frage, die sich hinsichtlich des Entwicklungsstands und der Eignung für bestimmte Standorte deutlich unterscheiden. Der vorliegende Statusbericht gibt einen Überblick über die wichtigsten Verfahren und die Rahmenbedingungen für ihren Einsatz. Aussagen zu den wirtschaftlichen Chancen können nur in einer individuellen Betrachtung unter Berücksichtigung der jeweiligen Einsatzbedingungen getroffen werden.

## 2. Bewertung von KWK-Systemen

Die Bewertung neuer Technologien ist vielfach von Unsicherheit, Euphorie und Skepsis bestimmt. Potentielle Anwender müssen sich deshalb ein umfassendes Bild von den technischen Eigenschaften, der Zuverlässigkeit und den Kosten machen, bevor sie in eine Anlage investieren. Die Arbeitsgruppe

Holzvergasung der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) und des Fachverbands Biogas hat deshalb die folgenden Bewertungskriterien zusammengestellt. Die Wirtschaftlichkeit wird von technischen und wirtschaftlichen Größen beeinflusst:

Technische Größen:

- Wirkungsgrad  
Strom- und Wärmeerzeugung im Verhältnis zur eingesetzten Energie
- Jahresbetriebstunden  
Die jährlichen Betriebsstunden werden sowohl von der Verfügbarkeit der Anlage (Störungsfreiheit) als auch vom Wärmebedarf des versorgten Objekts bestimmt.

Wirtschaftliche Größen:

- Investition  
Kosten für die Errichtung der Anlage insbes. im Verhältnis zur Leistung
- Wartung und Instandhaltung  
Aufwendungen zur Aufrechterhaltung des Betriebs durch Reparaturen und Austausch von Verschleißteilen und Betriebsmitteln
- Bedienung  
Personalaufwand für die regulären Arbeiten an der Anlage
- Brennstoff- und Entsorgungskosten  
Beschaffung des Brennstoffs und Entsorgung der Reststoffe

Als Minimalkriterium für die technische Zuverlässigkeit gilt der 200-Stunden-Dauerbetriebstest. Dabei muss die Anlage 200 Stunden unterbrechungsfrei in Betrieb sein. Die Stromabgabe ist lückenlos aufzuzeichnen (Takt 30 s), Unregelmäßigkeiten sind zu dokumentieren, Holz und Asche sind täglich zu beproben. Der zweite Test ist der 3000-Stunden-Test, bei dem kein ununterbrochener Betrieb erforderlich ist und der eine Einordnung der Marktreife ermöglicht. Hier sind die gleichen Daten inkl. etwaiger Störungen aufzuzeichnen (Stromabgabe im 5 Minuten-Takt). Belastbare Aussagen lassen sich erst nach mehrjährigem Dauerbetrieb kommerziell betriebener Anlagen treffen.

### **3. Dampfmotor und Dampfturbine**

Die Wärme- und Stromerzeugung mit Dampfprozessen stellt die verbreitetste Form der Kraft-Wärme-Kopplung aus Festbrennstoffen dar. Die Dampfturbinentechnologie wird in Großkraftwerken und der Abfallverbrennung tausendfach eingesetzt. Für Holz wird sie in Kraftwerken der Holzverarbeitenden Industrie und den Altholzbeheizten Kraftwerken genutzt. Im unteren Leistungsbereich werden Dampfturbinen und Dampfmotoren ersetzt, die nach dem gleichen Prinzip arbeiten, aber geringere Dampfdrücke mit geringerem technischen Aufwand nutzen. Tabelle 3.1 stellt die wichtigsten Parameter der beiden Technologien gegenüber.

	Dampfmotor	Dampfturbine
Leistungsbereich	100 - 1.600 kW <sub>el</sub>	ab 500 kW <sub>el</sub>
Dampftemperaturen	Sattdampf - 450 °C	230 - 540 °C
Frischdampfdrücke	6 - 60 bar	30 - 120 bar
elektrische Wirkungsgrade	5 - 17 %	8 - 30 %
Gesamtwirkungsgrade	70 - 80 %	80 - 90 %

**Tabelle 3.1:** Vergleich der Dampfprozesse

Die Dampferzeugung erfolgt in holzbefeuerten Dampfkesseln, die mit einer Rostfeuerung zum Einsatz von grobstückigem Holz unterschiedlicher Feuchte ausgestattet sind. In einem dem Kessel nachgeschalteten Economizer wird den Rauchgasen weitere Wärme entzogen und dem Speisewasser zugeführt, bevor dieses in den Kessel eintritt. Die Rauchgase werden vor dem Verlassen in die Atmosphäre mit Zyklon und Elektrofilter entstaubt. Der im Kessel erzeugte Hochdruck-Heißdampf wird zur Auskopplung der elektrischen Leistung im Dampfmotor oder der -turbine entspannt, die einen Generator antreiben. Bei zweistufiger Expansion wird der Dampf in der Hochdruckstufe auf einen Mitteldruck entspannt, um dann in der Niederdruckstufe auf den gewünschten Enddruck entspannt zu werden. Dampfmotoren ermöglichen einen Teillastbetrieb über einen großen Regelbereich mit guten Wirkungsgraden. Der Abdampf des Motors oder der Turbine wird auf einen Heizwasser-Kondensator geleitet, in dem die benötigte Wärme an einen Heizwasserkreislauf übertragen wird. Der Frischdampf des Kessels wird also erst zur Stromerzeugung genutzt, bevor die Wärmeverbraucher versorgt werden. Das Dampfkondensat aus den Wärmetauschern wird über Sammeltank, Kondensatpumpen, Speisewassertank/Entgaser und Speisepumpen in den Kessel zurückgefördert. Kessel, Motor und Turbine sind für einen Betrieb ohne ständige Beaufsichtigung (24 h oder 72 h) konzipiert, benötigen jedoch entsprechend geschultes Personal.

Typisch für Dampfprozesse im niedrigen Leistungsbereich sind die geringen elektrischen Wirkungsgrade. Der Wärmenutzung und dem Wärmeerlös kommen somit eine besondere Bedeutung zu. Dampfprozesse sind insbesondere für Standorte geeignet, die Dampfbedarf z.B. für einen Produktionsprozess haben. Wenn hierfür jedoch Dampf auf höherem Druck- und Temperaturniveau benötigt wird und der Dampf nicht vollständig entspannt werden kann, sinken das Stromerzeugungspotential und somit der Erlös aus der Stromerzeugung.

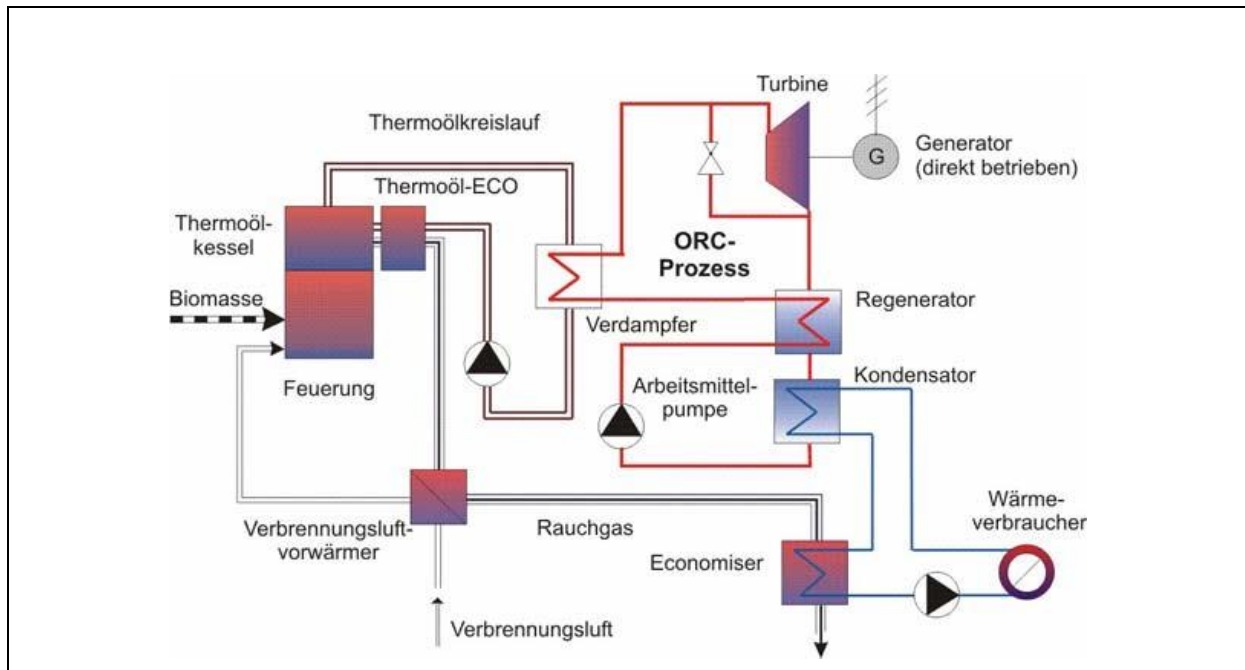


**Bild 3.1:** Dampfmotor (Sechszylinderaggregat mit einer Leistung von  $1,1 \text{ MW}_{\text{el}}$ ,  $6 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) (Quelle: Spilling)

#### 4. Organic Rankine Cycle (ORC)

Der ORC-Prozess (Organic-Rankine-Cycle) wurde entwickelt, um Wärmequellen niedrigen Niveaus wie Solarenergie, Geothermie und Biomasse zur Stromerzeugung zu nutzen. Er basiert auf einem dem Wasser-Dampf-Prozess ähnlichen Verfahren, wobei jedoch statt Wasser ein organisches Arbeitsmedium (Kohlenwasserstoffe wie Iso-Pentan, Iso-Oktan, Toluol oder Silikonöl) verwendet wird. Dieses Arbeitsmedium besitzt günstigere Verdampfungseigenschaften bei niedrigen Temperaturen und Drücken. Für eine optimale Betriebsweise ist die Wahl des richtigen Arbeitsmediums wichtig, für die in Biomasse-KWK-Anlagen gegebenen Bedingungen eignet sich vor allem Silikonöl.

Bild 4.1 zeigt das Schaltschema und den Aufbau einer ORC-Anlage. Die von der Biomassefeuerung erzeugte Wärme wird über einen Thermoölkessel an den ORC-Prozess übertragen. Als Wärmeträgermedium wird Thermoöl verwendet, da so die für den Betrieb des ORC-Prozesses erforderlichen Temperaturen (Thermoöl-Vorlauftemperatur  $300^\circ\text{C}$ ) erreicht werden und dabei ein fast druckloser Kesselbetrieb möglich ist. Somit ist auch kein ausgebildeter Dampfkesselwärter erforderlich. Durch die vom Thermoöl an den ORC-Prozess übertragene Wärme wird das organische Arbeitsmedium verdampft. Der Dampf gelangt zu einer langsam laufenden Turbine, in der unter Entspannung ins Vakuum mechanische Arbeit leistet wird, die im Generator Strom erzeugt. Der entspannte Dampf wird einem Regenerator zur internen Wärmerückgewinnung zurückgeführt, anschließend gelangt das Arbeitsmedium in den Kondensator. Die dort abgeführte Wärme kann von externen Verbrauchern genutzt werden. Über eine Pumpe wird das Kondensat schließlich wieder auf Betriebsdruck gebracht und dem Verdampfer zugeführt. Der ORC-Kreislauf ist damit geschlossen. Das auftretende Rauchgas kann in einer Kondensationsanlage weiter abgekühlt werden, so dass weitere Nutzwärme zur Verfügung steht.



**Bild 4.1:** Schema ORC-Prozess (Quelle: BIOS)

Der elektrische Wirkungsgrad des ORC-Prozesses liegt aus thermodynamischen Gründen im Bereich des Dampfmotors und der Dampfturbine, auch hier ist eine Wärmenutzung für einen erfolgreichen Betrieb also unerlässlich. Das Teillastverhalten ist vergleichbar gut. Der Vorteil gegenüber dem Wasser-Dampf-Prozess liegt im automatischen Betrieb ohne Anwendung der Dampfkesselverordnung und in der Wärmekopplung bei unterschiedlichen Temperaturen ohne Einbuße des elektrischen Wirkungsgrads. Aufgrund der Austrittstemperaturen von 60 - 120°C ist nur die Versorgung von Niedertemperaturverbrauchern möglich. Eine Erhöhung der Temperatur der Wärmenutzung ist nur bei einer Reduzierung der Stromerzeugung möglich.

## 5. Vergasung

Bei der Holzvergasung werden kohlenstoffhaltige Brennstoffe wie Holzhackschnitzel unter Luftmangel thermochemisch vergast, so dass ein brennbares Gas entsteht. Der Prozess verläuft in vier Schritten: Trocknung des Brennstoffs (200°C), Pyrolyse (Zersetzung der chemischen Bindung und Bildung von Kohlenwasserstoffen und Teer bei 200 - 700°C), Oxidation (Teilverbrennung der Gase und Bildung von Holzkohle bei max. 1.200°C) und Reduktion der Prozessgase an der Holzkohle zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff. Diese beiden Komponenten bilden die Hauptbestandteile des Holzgases. Es hat mit 5 - 12 MJ/kg einen wesentlich geringeren Heizwert als Erdgas (43 MJ/kg) oder Biogas (20 - 25 MJ/kg). Das Gas lässt sich in Motoren verbrennen, wobei hohe Anforderungen an die Gasqualität gestellt werden. Insbesondere die Anteile an Wasser, Ammoniak, Teer und Partikeln müssen sehr gering sein, um eine hohe Energieausbeute zu gewährleisten und Motorschäden zu vermeiden. Die Teergehalte können prinzipiell auf drei Arten gering gehalten werden, die jedoch mit hohen Kosten verbunden sind und/oder noch keine ausreichende Betriebssicherheit aufweisen:

- Vergasung bei extrem hohen Temperaturen und reinem Sauerstoff



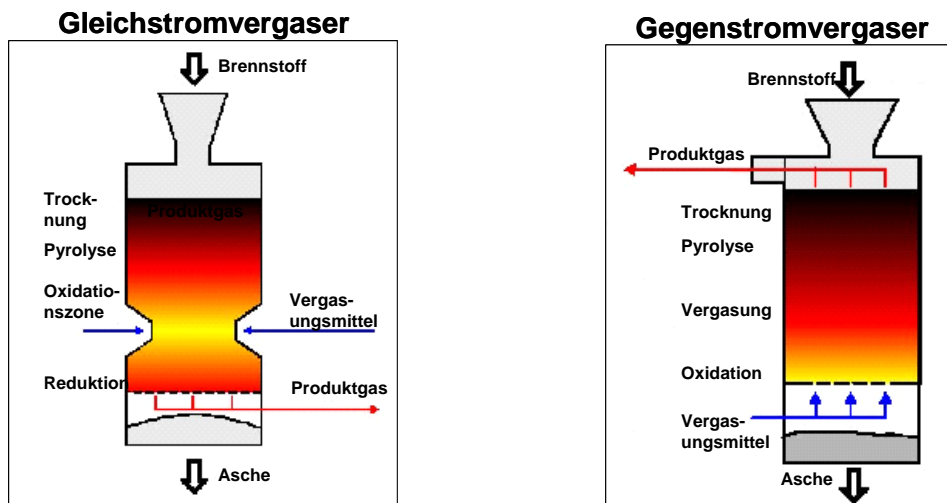
- Reinigung des Gases durch Nasswäsche, Katalysatoren oder Elektrofilter
- Nutzung des Gases bei sehr hohen Temperaturen in Gasturbinen oder Brennstoffzellen

Die Vergasungsverfahren lassen sich in zwei Kategorien gliedern:

- Festbettvergaser nach dem Gleich- oder Gegenstromprinzip (s. Bild 5.1)
- Wirbelschichtvergaser mit stationärer oder zirkulierender Wirbelschicht (s. Bild 5.2)

Festbettvergaser bilden die einfachere Technik für den geringeren Leistungsbereich, während es sich bei Wirbelschichtvergasern um aufwendigere Anlagen handelt. Bei Vergasern nach dem Gegenstromprinzip wird der Brennstoff von oben eingegeben, während das Vergasungsmittel (i.d.R. Luft) von unten einströmt. Das Schwelgas steigt auf und verlässt den Reaktor oben. Das Gas enthält einen hohen Anteil an Teeren, die unterhalb von 400°C kondensieren, so dass das Gas getrocknet und gereinigt werden muss. In Gleichstromvergasern mit absteigender Vergasung wird der Brennstoff gemeinsam mit dem Vergasungsmittel von oben eingegeben. Dabei wird reineres Gas erzeugt, weil alle Anteile des Brennstoffs durch die Feuerzone geführt werden. Bei der Wirbelschichtvergasung werden Vergasungsgut und Gas intensiv durchmischt, was einen guten Stoff- und Wärmeaustausch ermöglicht und bei den daraus resultierenden hohen Temperaturen eine Crackingung der Gase fördert.

Tabelle 5.1 fasst die wesentlichen Eigenschaften der Verfahren zusammen. Daneben werden gestufte Verfahren entwickelt, die zunächst eine Pyrolyse auf niedrigem Temperaturniveau vornehmen und die flüchtigen Bestandteile in der zweiten Stufe bei hoher Temperatur umsetzen. Ein Beispiel hierfür ist die Anlage in Güssing (Österreich), die eine Leistung von 2,0 MW<sub>el</sub> und 2,5 MW<sub>th</sub> aufweist und seit 2001 in Betrieb ist. 2003 wurde eine Laufzeit von 4.700 Stunden erreicht. Andere Bestrebungen gehen dahin, Teer als Energieträger im System zu beherrschen, um ihn nicht als Störstoff behandeln zu müssen.



**Bild 5.1:** Festbettvergaser

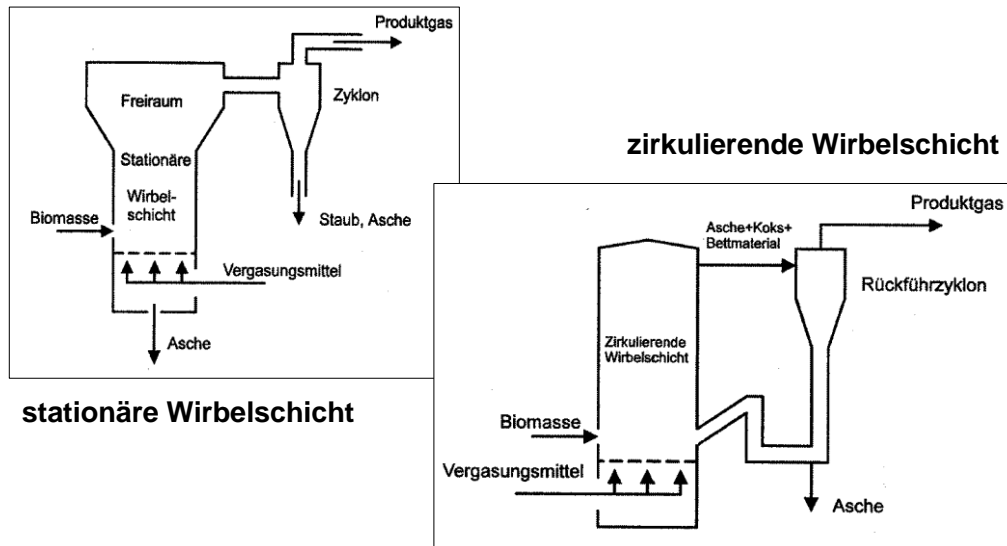


Bild 5.2: Wirbelschichtvergaser

Kriterium	Bauart	Einheit	Festbettverfahren		Wirbelschichtverfahren	
			Gleichstrom	Gegenstrom	stationär	zirkulierend
Teergehalt		g/Nm <sup>3</sup>	0,1 - 6,0	10 - 150	1 - 23	1 - 30
Staubgehalt		g/Nm <sup>3</sup>	0,2 - 8,0	0,1 - 3,0	1 - 100	1 - 800
Heizwert		MJ/Nm <sup>3</sup>	4,0 - 5,6	3,7 - 5,1	4,0 - 5,0	3,6 - 5,9
Anlagenleistung		MW	0,05 - 7,0	0,05 - 7,0	5 - 20	10 - 100
Anforderungen an Holz		---	großstückig, Feuchte < 30 %	Feuchte > 50 %	z.T. hohe Anforderungen an Stückigkeit, Feuchte, Aschegehalt	

Tabelle 5.1: Eckdaten der Vergasungsverfahren

Dass trotz der langen Erfahrungen mit Holzvergasung seit den dreißiger Jahren noch keine ausreichende technische Zuverlässigkeit vorliegt, ist vor allem auf die Unterschiede zwischen den damaligen handbeschickten Vergasern kleiner Leistung und hoher Emissionswerte und den heutigen Anforderungen an moderne Energieerzeugungsanlagen zurückzuführen. Die Entwicklung verlief außerdem ohne wirkliche Kontinuität. Neben der Bereitstellung von Holzgas für die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung im kleinen Leistungsbereich (30 - 100 kW<sub>el</sub>) sind Anlagen im Bereich von 200 - 400 kW<sub>el</sub> in der Entwicklung. Die kleineren Aggregate haben ein breites Anwendungsfeld, da sie für eine große Zahl von Wärmeverbrauchern in Frage kommen. Die Vorteile der größeren Aggregate liegen in niedrigeren spezifischen Kosten. Bei einer Brennstoffleistung unterhalb von 1 MW liegen sie zudem noch im Geltungsbereich der 1. BImSchV. Eine dritte Hauptentwicklungslinie zur Erzeugung von Synthesegas, das der Produktion von hochwertigen biogenen Kraftstoffen dient (z.B. CHOREN-Verfahren mit einem Biomassebedarf von 900.000 t/a.), wird z.Z. kaum weiterverfolgt.

## 6. Stirlingmotor

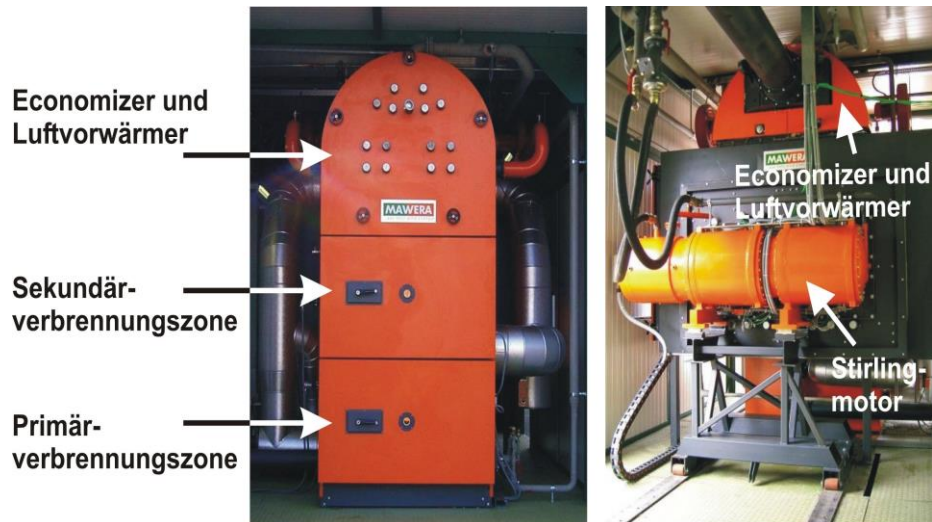
Stirlingmotoren befinden sich derzeit für den Leistungsbereich zwischen 10 und 200 kW<sub>el</sub> in der Entwicklung. Die Besonderheit dieser Technologie liegt in der Verwendung des Rauchgases von holzbefeuerten Heizkesseln, das seine Wärme an das Arbeitsmedium überträgt. Hierfür wird Luft, Helium, Stickstoff oder Wasserstoff eingesetzt. Es wird in einem geschlossenen Kreislauf geführt und periodisch in einem kalten Volumen komprimiert und in einem heißen Volumen expandiert.

Die elektrischen Wirkungsgrade erreichen ähnliche Werte wie Dampf- oder ORC-Anlagen und sind von den Temperaturen des Rauchgases und des zu erwärmenden Mediums abhängig. Auch hier ist eine hohe Auslastung für einen wirtschaftlichen Betrieb also unerlässlich. Die Anlagen weisen sehr kompakte Bauformen auf und werden für die Ergänzung bestehender Heizkessel konzipiert. Sie unterscheiden sich von Verbrennungsmotoren durch die geringeren Betriebsgeräusche, die Vermeidung des Kontakts zwischen Rauchgas und den kraftübertragenden Bauteilen und die einfachere Bauweise (keine Betriebsstoffe, keine Ventile etc.). Der Wärmetauscher des Erhitzers muss jedoch für die Staubgehalte des Rauchgases ausgelegt sein, um Anlagerungen und Verschlechterungen des Wärmeübergangs zu vermeiden. Stirlingmotoren werden von mehreren Herstellern entwickelt, befinden sich aber noch im Demonstrationsstadium. Es werden sowohl Erdgas als auch Holz als Brennstoff eingesetzt.

Bild 6.1 zeigt das Schnittbild eines Stirlingmotors, Bild 6.2 zeigt die Einbindung eines Stirlingmotors in eine Holzheizanlage.



**Bild 6.1:** Schnittbild eines Stirlingmotors mit den Zylindern zur Kompression und Entspannung des Arbeitsmediums (Quelle: Steinborn)



**Bild 6.2** Holzheizung mit Stirlingmotor 35 kW<sub>el</sub> (Quelle: Mawera)

## 7. Gesamtbewertung

Eine umfassende Bewertung der vorgestellten Technologien muss eine Vielzahl von Kriterien einbeziehen. Hierzu zählen neben dem Entwicklungsstand und dem verfügbaren Leistungsbereich die Wirkungsgrade und die spezifischen Investitionen. Eine Bewertung der wirtschaftlichen Chancen ist in den meisten Fällen nur unter Berücksichtigung der individuellen Bedingungen möglich (bauliche Verhältnisse, verfügbare Brennstoffqualitäten und -kosten, Wärmeerlös, Fördermittel, Synergien mit anderen Betriebsteilen bei Bedienung und Wartung etc.).

Die beiden folgenden Tabellen geben eine Übersicht der Technologien nach den genannten Kriterien.

	Entwicklungsstand	Leistungsbereich MW <sub>el</sub>	spez. Investition T€/kW <sub>el</sub>	Wirkungsgrad	
				Wärme	Strom
Dampfturbine kleiner Leistung	etabliert	0,5 - 5,0	0,36 - 1,6	0,62 - 0,71	0,10 - 0,20
Dampfturbine großer Leistung	etabliert	1 - 50	2,6 - 8,7	0,25 - 0,67	0,18 - 0,30
Dampfmotor	marktreif	0,1 - 1,6	0,4 - 4,8	0,70 - 0,80	0,08 - 0,15
ORC-Prozess	marktreif	0,1 - 5,0	1,6 - 4,8	0,75 - 0,78	0,06 - 0,20
Vergasung Festbett	Demonstration	0,05 - 7,0	2,4 - 4,9	0,40 - 0,62	0,18 - 0,28
Vergasung Wirbelschicht	Demonstration	5 - 100	1,4 - 3,5	0,31 - 0,50	0,25 - 0,33
Stirlingmotor	Demonstration	0,01 - 0,2	1,7 - 4,0	0,49 - 0,70	0,07 - 0,30

**Tabelle 7.1:** Marktübersicht der Technologien

	Entwicklungsstand	spez. Investition	elektr. Wirkungsgrad	Kosten-senkungs-potential
Dampfturbine kleiner Leistung	++	+	0	-
Dampfturbine großer Leistung	++	0	++	-
Dampfmotor	+	+	0	0
ORC-Prozess	+	0	0	0
Vergasung Festbett	+	-	+	0
Vergasung Wirbelschicht	0	0	0	++
Stirlingmotor	0	0	0	+

**Tabelle 7.2:** qualitative Bewertung der Technologien (von ++ sehr hoch bis - - sehr gering)

## **8. Anhang**

### **8.1. Adressen**

#### **Dampfmotoren:**

Spilling Energiesysteme GmbH, Werftstraße 5, 20457 Hamburg, [www.spilling.de](http://www.spilling.de)

#### **Dampfturbinen:**

Dresser-Rand GmbH, Brinkstrasse 21, 46149 Oberhausen, [www.dresser-rand.com](http://www.dresser-rand.com)

Kühnle, Kopp & Kausch AG, Heßheimer Str. 2, 67227 Frankenthal, [www.agkkk.de](http://www.agkkk.de)

#### **ORC-Anlagen:**

ADORATEC GmbH, Schultwiete 2, 24248 Mönkeberg, [www.adoratec.com](http://www.adoratec.com)

Bosch KWK-Systeme GmbH, Justus-Kilian-Straße 29 - 33, 35457 Lollar, [www.koehler-ziegler.de](http://www.koehler-ziegler.de)

DeVeTec GmbH, Altenkesseler Straße 17 / D2, 66115 Saarbrücken, [www.devotec.de](http://www.devotec.de)

GMK Ges. für Motoren und Kraftanlagen mbH, Reuterstr. 17, 18211 Bargeshagen, [www.gmk.info](http://www.gmk.info)

Turboden s.r.l., Viale Stazione 23, I-25122 Brescia, [www.turboden.com](http://www.turboden.com)

#### **Holzvergasung:**

Spanner Re<sup>2</sup> GmbH, Niederfeldstr. 38, 84088 Neufahrn, [www.holz-kraft.de](http://www.holz-kraft.de)

Burckhardt GmbH, Kreutweg 2, 92360 Mühlhausen, [www.burckhardt-gmbh.de](http://www.burckhardt-gmbh.de)

Holzenergie Wegscheid GmbH, Kasberger Straße 33, 94110 Wegscheid, [www.holzenergie-wegscheid.de](http://www.holzenergie-wegscheid.de)

Qalovis GmbH, Zum Hagenbach 8, 48366 Laer, [www.qalovis.com](http://www.qalovis.com)

#### **Stirlingmotoren:**

Stirling Systems GmbH, Stuttgarter Str. 41, 71050 Sindelfingen, [www.stirling-systems.ch](http://www.stirling-systems.ch)

Stirling DK, Diplomvej - Building 373, DK-2800 Lyngby, [www.stirling.dk](http://www.stirling.dk)

#### **Arbeitskreise:**

Arbeitskreis „Vergasung von Biomasse“ der FEE Fördergesellschaft Erneuerbare Energie. Eberhard Oettel / Dieter Bräkow, Köpenicker Str. 325, 12554 Berlin

Arbeitskreis „Holzvergasung“ des Fachverbands Biogas und der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie. DGS e.V., Augustenstr. 79, 80333 München, [www.dgs.de](http://www.dgs.de)