

Systemanalytische Untersuchungen zur Strom- und Wärmebereitstellung aus Biomasse mittels des Organic Rankine Cycles

Ökobilanzwerkstatt 2011
Kirsten Biemann

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
Zentralabteilung Technische Stoffströme



Organic Rankine Cycle (ORC)

- Clausius- Rankine- Prozess (wie Dampfturbine)
- Verwendung eines organisches Arbeitsmediums mit einer niedrigeren Siede- bzw. Kondensationstemperatur als Wasser
- Nutzung von Wärme auf niedrigem Temperatur- und Druckniveau zur Stromerzeugung
 - zwischen 70° und 300°C

Einsatzmöglichkeiten:

- Geothermie
- Abwärmenutzung
- Biomassegefeuerte ORC- Anlagen



Abb. 3.3/2 Grafische Darstellung eines 1 MW ALDAVIA ORC-Moduls

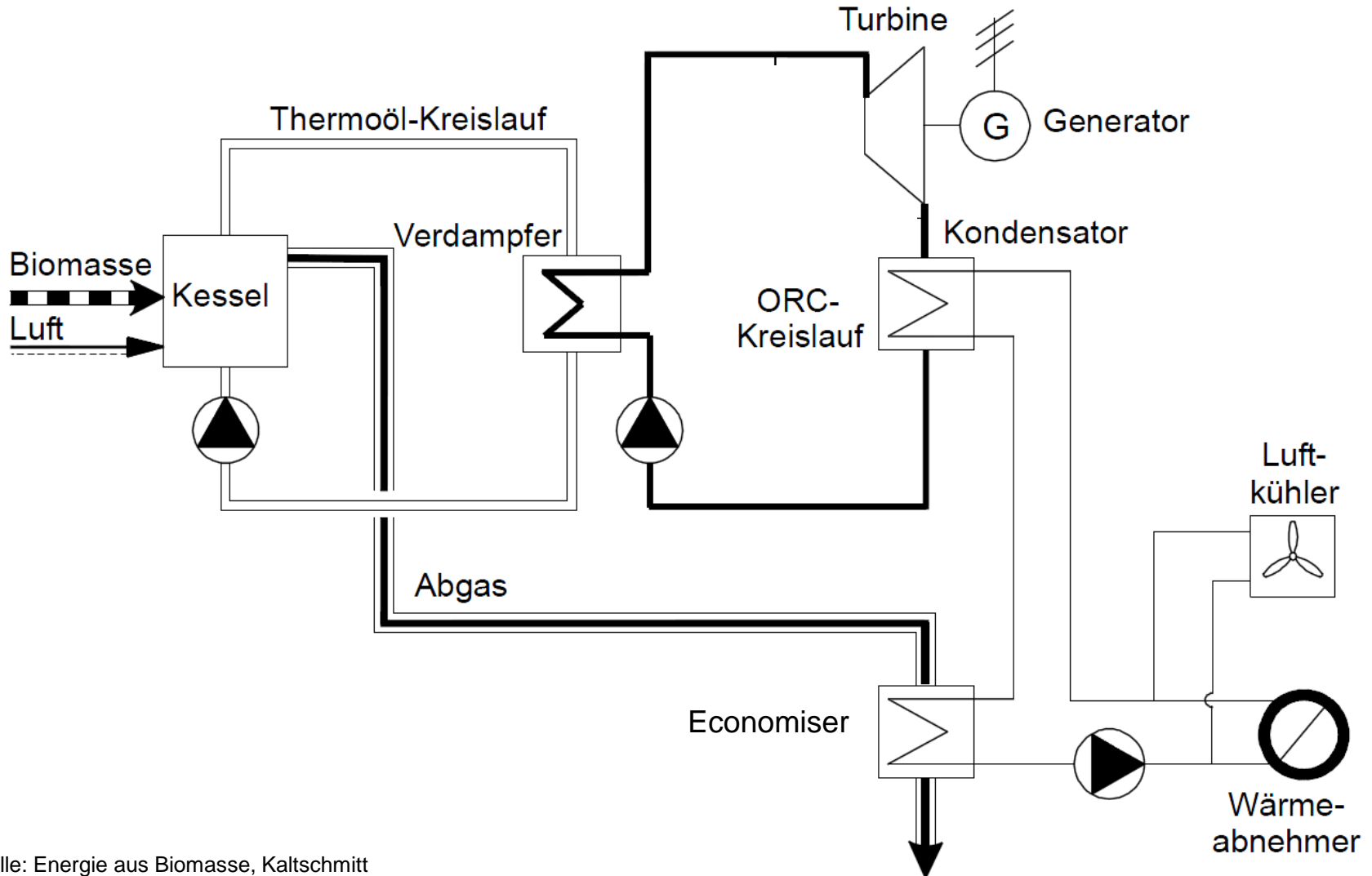
- | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. Regenerator | 2. Kondensator | 3. Turbine | 4. Generator |
| 5. Lnwälzpumpe | 6. Vorwärme | 7. Verdampfer | 8. Fernwärme VL |
| 9. Fernwärme RL | 10. Thermoöl VL | 11. Thermoöl RL | |

Quelle: <http://www.axavia.com/aldavia/index.php?id=10>

biomassegefeuerte ORC- Anlagen

- Anlagengröße zwischen 200 kW_{el} und 1,5 MW_{el}
- Betrieb als (wärmegeführte) Kraft- Wärme- Kopplungs- Anlagen
 - Dezentrale Energieversorgung mit ausreichend (industriellen) Wärmeabnehmern
- Standort: holzreiche Regionen
- Derzeit: 79 Anlagen in Deutschland
 - Stark steigende Anlagenzahl in den letzten Jahren
 - Weiterer Zubau erwartet

Schematischer Aufbau einer ORC-Anlage



Quelle: Energie aus Biomasse, Kaltschmitt

Vorteile der ORC- Anlagen gegenüber Dampfturbinen

- niedriger Kesseldruck
 - Betrieb ohne Beaufsichtigung
 - niedrige Kosten für den Kesselbau
- Kontinuierlicher Betrieb möglich zwischen 10 und 100%
- gutes Teillastverhalten (zwischen 30 und 100%) mit sehr geringem Wirkungsgradabfall
 - 85% des elektrischen Wirkungsgrades bei 40% der Nennleistung
- hohe Effizienz des Kreisprozesses und der Turbine
 - thermischer Wirkungsgrad in etwa 80%

Vorteile der ORC- Anlagen gegenüber Dampfturbinen

- Niedrige Turbinengeschwindigkeiten
 - geringe mechanische Belastung
 - direkter Antrieb des Generators ohne Kupplung möglich
 - Leiser Betrieb
- kein Nassdampf
 - Keine Erosion der Turbinenschaufeln
 - Lange Lebensdauer der Komponenten
- Kleinanlagen
 - Dampfturbinen erst ab 2 MW_{el} wirtschaftlich einsetzbar

Nachteile der ORC- Anlagen gegenüber Dampfturbinen

- Hoher Stromeigenbedarf (für Pumpleistung des Heizwassers und Arbeitsmittels, Rauchgasventilation, Hydraulikpumpe) auf Grund der geringen Stromausbeute
 - bis zu 25% der produzierten Strommenge
- Wirtschaftlich erst ab 4000 h/a Volllaststunden
- Geringer elektrischer Wirkungsgrad (max. 20%) auf Grund der niedrigen Temperaturen des Arbeitsmediums
- organische Arbeitsmittel oft Umwelt-, klimaschädlich oder leicht entflammbar bzw. explosiv:
 - Einsatz umweltverträglicher Arbeitsmittel wie Silikonöle möglich
 - im Normalbetrieb geschlossener Arbeitsmittelkreislauf
 - keine Leckagen
 - kein Nachfüllen

Literaturlauswertung

- Verschiedene Literatur zu ORC:
 - einzelne sehr allgemein gehaltene kurze Buchkapitel zur grundsätzlichen Funktionsweise der Anlagen
 - wissenschaftliche Artikel: spezielle Aspekte und neuartige Entwicklungen

- LCA- Studien:
 - Gemis- Datensätze (ORC 0,8 MW_{el} mit KUP und WRH) von 2000
 - „Ganzheitliche Analyse und Bewertung konkurrierender energetischer Nutzungspfade für Biomasse im Energiesystem Deutschland bis zum Jahr 2030“ von König 2009 (ORC- Anlage mit 1 MW_{el} und KUP- HS)
 - „Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz“ von Jungbluth, Frischknecht, Faist 2002 (ORC- Anlage mit 335 kW_{el} WRH- HS)
 - „Lebenszyklusanalysen ausgewählter Stromerzeugungstechniken“ von Briem et al aus dem Jahr 2004 (ORC- Anlage mit 1 MW_{el} WRH- und IRH- HS)

Bewertung der Datenqualität (LCA)

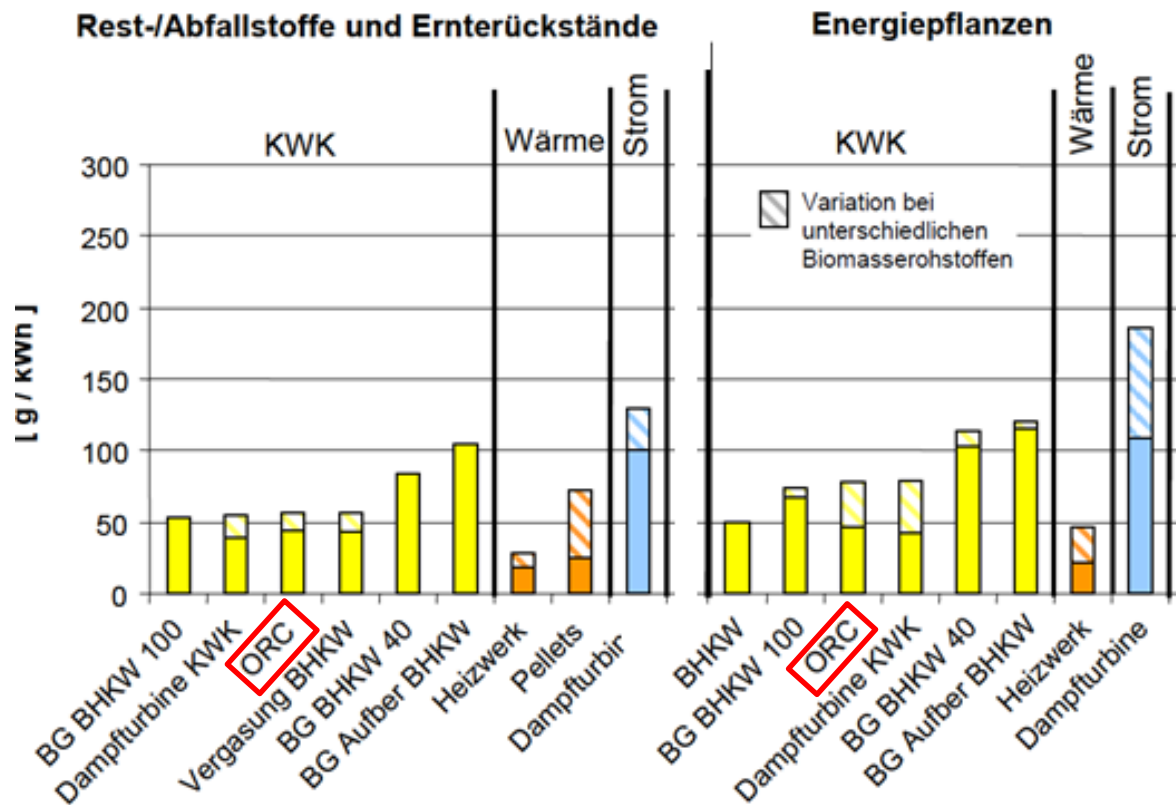
- selbsterstelltes Literaturanalyseschema:
 - Verwendung älterer Daten verschiedener Herkunft
 - Aktuellste Studie: Dissertation von König, ABER nur Bilanzierung von Treibhausgasen (CO₂ (fossil), CH₄, SO₂)
 - Datenherkunft: Herstellerangaben zu geplanten ORC- Anlagen von 2002 und Emissionsdaten bestehender Anlagen in Österreich von 2002/03
- Aufbau auf Dissertation von König und Ergänzung anderer Emissionen (N₂O, NO_x, NMVOC, CO und PM) aus Briem et al.

Quelle	Verlässlichkeit	Vollständigkeit	Zeitliche Abweichung	Geografische Abweichung	Technische Abweichung
Jungbluth	1	4	4	3	1
Gemis	3	5	4	1	2
König	1	4	1 (3)	1	2
Briem	1	4	3	1	1

Pedigree- Matrix

Ergebnis einer LCA- Studie zu biomassegefeuerten ORC- Anlagen

- Spezifische Treibhausgasemissionen verschiedener Prozessketten in CO₂-Äquivalenten (CH₄, N₂O, CO₂)



Quelle: Ganzheitliche Analyse und Bewertung konkurrierender Nutzungspfade für Biomasse im Energiesystem Deutschland bis zum Jahr 2030, König

Projekteinbindung: BioEnergieDat

- Bereitstellung einer aktuellen und umfassenden Datenbasis für die energetische Nutzung von Biomasse:
 - Erarbeitung von **repräsentativen, validierten** und **harmonisierten** Datensätzen für ausgewählte Prozessketten(-abschnitte) der energetischen Biomassenutzung für **deutsche Rahmenbedingungen**
 - Erarbeitung einer **vorhabensübergreifenden Methodik** für die **Bilanzierung** von Prozessketten und Entwicklung von Prozeduren zur **Qualitätssicherung** der Daten

- Bearbeitete Prozessketten:
 - ORC- Anlage zur Strom- und Wärmebereitstellung mit 1 MW_{el}: Waldrestholz, Industrierestholz, Holz. Pflegeschnitt und Kurzumtriebsplantagenholz
 - Dampfturbine (5 bzw. 20 MW_{el}) zur Stromerzeugung: Waldrestholz, Industrierestholz, Holz. Pflegeschnitt und Kurzumtriebsplantagenholz, Altholz (I – III)

Mögliche Forschungsfragen

3 Themenfelder: technisch, ökonomisch, ökologisch

Technisch:

- Geeignete Standorte und Einzugsgebiet
 - Wärmeverbraucher (Industrie oder Haushalte) und Nahwärmenetze
 - Auslastung: Optimierung für verschiedene Brennstoffe und starke Flexibilität
- Herausforderungen einer Biomassefeuerung (Rostverschlackung, Aschebildung,...)
- regionaler und saisonaler Anfall des Brennstoffes Holz bzw. schwankende Brennstoffqualität
 - Verfügbarkeit

Ökonomisch:

- Betrachtung der CO₂- Vermeidungskosten

Mögliche Forschungsfragen

Ökologisch:

- Brennstoffbedarf und Betriebsstoffe
 - Konsequenzen (Konflikte) für die Region
- Betriebsstoffe und ökologischen Wirkungen (einschließlich Herstellung des organischen Arbeitsmittels)
- Leckagen und sonstige Störfälle
 - Anlagensicherheit und Risikobewertung
- Ökologische Wirkungen des Anlagenbaus (mit Rohstoffbedarf)
- Flächenverbräuche (mit Vorkette)
- Emissionen (der Biomassefeuerung)

Herangehensweise

- systemanalytische Vorgehensweise
- Betrachtung des vollständigen Systems mit Vor- und Nachkette (einschließlich Transportlogistik sowie Baus der Nahwärmenetze)
- Herausarbeitung der Limitierungen und Herausforderungen unter verschiedenen Randbedingungen bei Einsatz verschiedener Rest- und Abfallstoffe
- Untersuchung der ökologischen Wirkungen mittels einer LCA
 - Definition sinnvoller Vergleichssysteme
- 2 mögliche Herangehensweisen:
 - Output basierter Vergleich mit anderen Technologien zur dezentralen Strom-/ Wärmebereitstellung
 - Input basierter Vergleich des Einsatzstoffes Holz zur energetischen Nutzung unter Betrachtung der Nutzungskonkurrenz

Zentrale Fragestellungen

- Was macht ORC ökonomisch, ökologisch und technisch (un-)interessant im Vergleich zu anderen (Biomasse-) Technologien?
- Kann das Problem mit einer bestimmten Methode quantifiziert werden bzw. ist eine klassische LCA ausreichend?
- Kann eine standardisierte Herangehensweise erfolgen?
- Wenn nein, was muss an der Methode verbessert werden?