

Erzeugung wasserstoffreicher Brenngase mit dem Heatpipe-Reformer

Dezentrale Vergasung von Biomasse und Reststoffen

Die thermische Vergasung steht seit jeher im Ruf, eine sehr teure Technologie zu sein. Tatsächlich rechnen sich beispielsweise Kraftwerkskonzepte mit integrierter Vergasung nur in Ausnahmefällen für sehr große Anlagen.

Umso widersprüchlicher erscheint es zunächst, die thermische Vergasung biogener Brennstoffe auch in kleinen, dezentralen Anlagen vorzuschlagen. Tatsächlich kann sich der Einsatz solcher Anlagen aber dann rechnen, wenn sie nicht für die ausschließliche Stromerzeugung eingesetzt werden, sondern als KWK-Anlagen für die Wärmeerzeugung.

Keine andere Technologie steht gleichzeitig so im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses und in der Kritik wie die Energietechnik. Das öffentliche Interesse führte allerdings dazu, dass die Forderung nach der verstärkten Nutzung regenerativer Energiequellen und neuer Technologien in immer stärkerem Widerspruch zu den wirtschaftlich und technisch realisierbaren Lösungsansätzen standen.

Besonders signifikant ist dieses Missverhältnis zwischen Wunsch und Wirk-

lichkeit bei der Forderung nach einer verstärkten Nutzung biogener Brennstoffe für die Strom- und Wärmeerzeugung.

Zwar könnten durch den verstärkten Einsatz von „Biomasse“ erhebliche Mengen an fossilen Brennstoffen eingespart werden – tatsächlich scheitert ein breite Markteinführung von Technologien zur effizienten und nachhaltigen Nutzung dieser Ressourcen an deren Kernproblem - der geringen Energiedichte biogener Brennstoffe.

Deutlich wird dies besonders an Beispiel Stroh: Kann der Jahresheizwärmebedarf eines Einfamilienhauses mit Heizöl mit nur einem Tankwagen gedeckt werden, müsste für die Bereitstellung der selben Energiemenge mit Strohballen die 20-30 fache Transportkapazität vorgesehen werden. Der logistische Aufwand für die energetische Nutzung von Biomasse ist also enorm und kann nur dann getragen werden, wenn die Biomasse dezentral, also in kleinen Energieanlagen genutzt wird.

Selbst im Leistungsbereich von einigen MW_{el} kommt eine energetische Nutzung von Biomasse für die Stromerzeugung nur dann in Frage, wenn beispielsweise durch die Verbrennung von Altholz zusätzlich zu den Stromerlösen auch Entsorgungserlöse erzielt werden oder wenn in Einzelfällen außergewöhnlich gut Randbedingungen für die KWK vorliegen. Mögliche Standorte für größere Biomasse-Kraftwerke mit Gegendruck- oder Entnahme-Kondensationsturbinen lassen sich beispielsweise mit naturbelassenen Holzhackschnitzeln und Sägeresthölzern nur dann wirtschaftlich betreiben, wenn eine hohe kontinuierliche Wärmeabnahme über das ganze Jahr gesichert ist.

Für die KWK mit Biomasse wären dagegen Anlagen im Leistungsbereich von wenigen hundert kW ideal. In diesem Leistungsbereich werden beispielsweise für Schwimmbäder, Krankenhäuser oder Schulen auch die meisten Biomasse-Heizwerke realisiert.

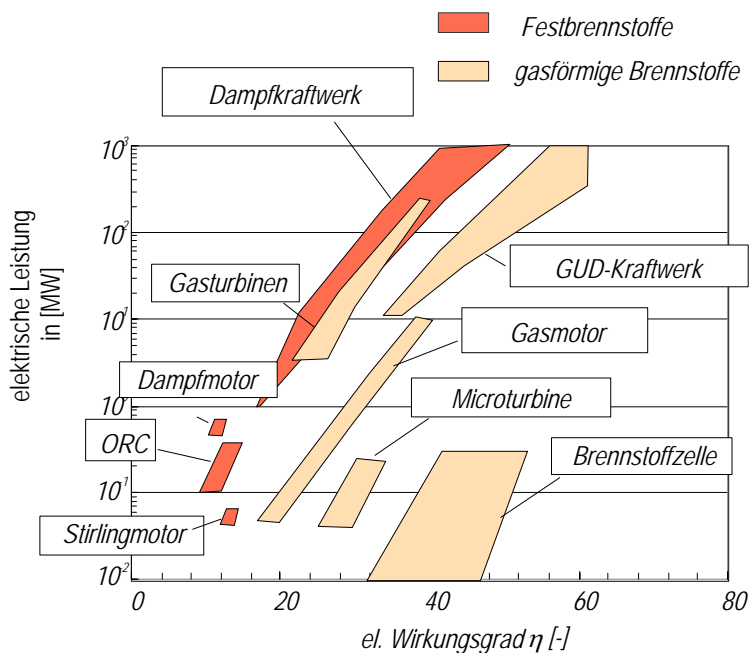


Abb. 1: Leistungsbereiche und Wirkungsgrade von Arbeitsmaschinen für die Stromerzeugung

Für eine effiziente Stromerzeugung in diesem Leistungsbereich stehen allerdings nur Arbeitsmaschinen zur Verfügung, die auf gasförmige Brennstoffe angewiesen sind (siehe Abb. 1, [1]). Die ohnehin niedrigen Wirkungsgrade von Arbeitsmaschinen, die auch mit Festbrennstoffen betrieben werden können (z.B. Stirlingmotor, Dampfmotor), reduziert sich beim Einsatz von Festbrennstoffen erheblich. Eine effiziente Stromerzeugung in Kleinanlagen ist daher nur mit Gasmotoren, Microturbinen und – in einigen Jahren – mit Brennstoffzellen möglich.

Soll die dezentrale Verstromung von Biomasse also auch ohne zusätzliche Entsorgungserlöse konkurrenzfähig werden, müssen Vergasungstechnologien zur Verfügung stehen, die auch im kleinen Leistungsbereich aus biogenen Festbrennstoffen brennbare Gase erzeugen.

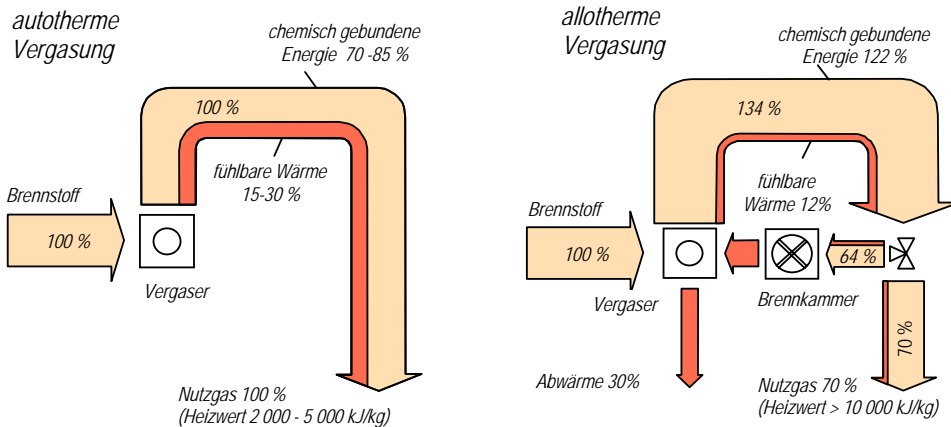


Abb. 2: Energiefluss bei der allothermen und autothermen Vergasung

Vergasungstechnologien für die dezentrale KWK

Das wesentliche Kernproblem der Nutzung von Brenngasen aus der thermischen Vergasung von Biomasse ist bis heute die Teerproblematik. Aufgrund des geringen Heizwertes können ‚Schwachgase‘ aus der Holzvergasung in der Regel nur in Gasmotoren genutzt werden. Für diese Nutzung muss das Brenngas allerdings stets abgekühlt werden. Bei der thermischen Vergasung fallen unvermeidbar auch aromatische höhere Kohlenwasserstoffe an, die bei Temperaturen unterhalb von 200 – 250 °C auskondensieren und in Rohrleitungen oder im Motor Teerschichten und Beläge bilden. Teere, die nicht bereits vor Eintritt in den Kolben eines Motors auskondensiert sind, führen an den Ventilen und im Kolben zu Ablagerungen.

Zwar wurden Holzvergaser in Verbindung mit Gasmotoren in Kraftfahrzeugen bereits während des zweiten Weltkrieges eingesetzt, allerdings war die Betriebszeit dieser Holzvergaser stets auf wenige Stunden limitiert und bereits nach wenigen Betriebsstunden war eine umfassende Reinigung des Motors erforderlich. Für eine stationäre Anwendung zur Stromerzeugung sind jedoch Betriebszeiten von mehreren tausend Betriebsstunden pro Jahr erforderlich, die bis heute nur in Pilotanlagen mit sehr aufwendiger Kaltgasreinigung erreicht werden [3]. Das zweite Kernproblem der thermischen Vergasung sind die geringen Heizwerte der erzeugten Brenngase, die beispielsweise eine Nutzung der Brenngase in herkömmlichen Gasturbinen mit einer einfacheren Heißgasreinigung ausschließen.

Lösungsansätze zur Vermeidung des Teerproblems

Zur Lösung der Teerproblematik sind prinzipiell 3 Konzepte denkbar:

1. „Teerfreie Vergaser“:

Eine „teerfreie Vergasung“ ist nur bei extrem hohen Temperaturen realisierbar, wie sie beispielsweise in Flugstromvergäsern (Shell-Vergaser, Prenflo-Vergaser, CarboV-Vergaser etc. [2]) erreicht werden. Die hohen Temperaturen sind nur bei der Vergasung mit reinem Sauerstoff erreichbar. Aufgrund der hohen Investitionskosten (Sauerstoffzerlegungsanlage!) werden diese Konzepte nur in sehr großen Anlagen eingesetzt.

2. Konzepte mit Kaltgasreinigung und Gasmotor

Da für die Nutzung von Schwachgasen aus der Luftvergasung nur Kolbenmotoren (Diesel- oder Ottomotoren) eingesetzt werden können, schlagen die meisten Konzepte eine Abkühlung und Reinigung der Brenngase mit Nasswäschern (mit Wasser oder organischen Lösungsmitteln), Katalysatoren oder Elektrofiltern vor. Aufgrund hoher Investitions-, Betriebs- und vor allem Entsorgungskosten (belastetes Abwasser, toxische Filterstäube) konnte sich seit 70 Jahren kein Verfahren etablieren.

3. Konzepte mit Heißgasreinigung, Gasturbinen und Hochtemperaturbrennstoffzellen

Die einfachste Möglichkeit, die Teerproblematik zu umgehen besteht darin, das Brenngas nicht unter die Kondensationstemperatur der Teere abzukühlen. Die Kohlenwasserstoffe bleiben dann in der Gasphase und verbessern mit hoher Wahrscheinlichkeit sogar die

Gaseigenschaften bei der Verbrennung in Gasturbinenbrennkammern. Diese Konzepte verlangen allerdings Gase mit höheren Heizwerten und deshalb eine *allotherme Vergasungsführung*. Die allotherme Wasserdampfvergasung (Reformierung) unterscheidet sich von der autothermen Luftvergasung dadurch, dass die Reaktionswärme für die endothermen Vergasungsreaktionen nicht durch eine partielle Oxidation im Vergaser bereitgestellt wird und dadurch höhere Heizwerte realisiert werden können (Abb. 3). Um die höheren Heizwerte und Wasserstoffkonzentrationen zu realisieren, muss die für die endothermen Vergasungsreaktionen notwendige Wärme also aus externen Wärmequellen in den Vergasungsreaktor eingebracht werden, ohne - wie bei der herkömmlichen autothermen Vergasung - das entstehende Brenngas mit Rauchgas und Stickstoff aus der zugeführten Verbrennungsluft zu verdünnen.

Besonders interessant ist die allotherme Vergasung besonders deshalb, weil sie durch die Erzeugung heizwertreicher Gase auch den Einsatz von Gasturbinen (z.B. Microturbinen) und Brennstoffzellen erlaubt.

Biomass Heatpipe Reformer

Ein Konzept, dass die allotherme Vergasung auch in einfachen Anlagen im Leistungsbereich von einigen 100 kW ermöglicht ist der Biomass Heatpipe-Reformer, der derzeit im Rahmen nationaler und internationaler Entwicklungsvorhaben unter Federführung der Technischen Universität München entwickelt wird.

Die wesentliche Innovation des Heatpipe-Reformer Konzeptes besteht darin, dass das Kernproblem des Wärmeeintrags besonders einfach und kosten-

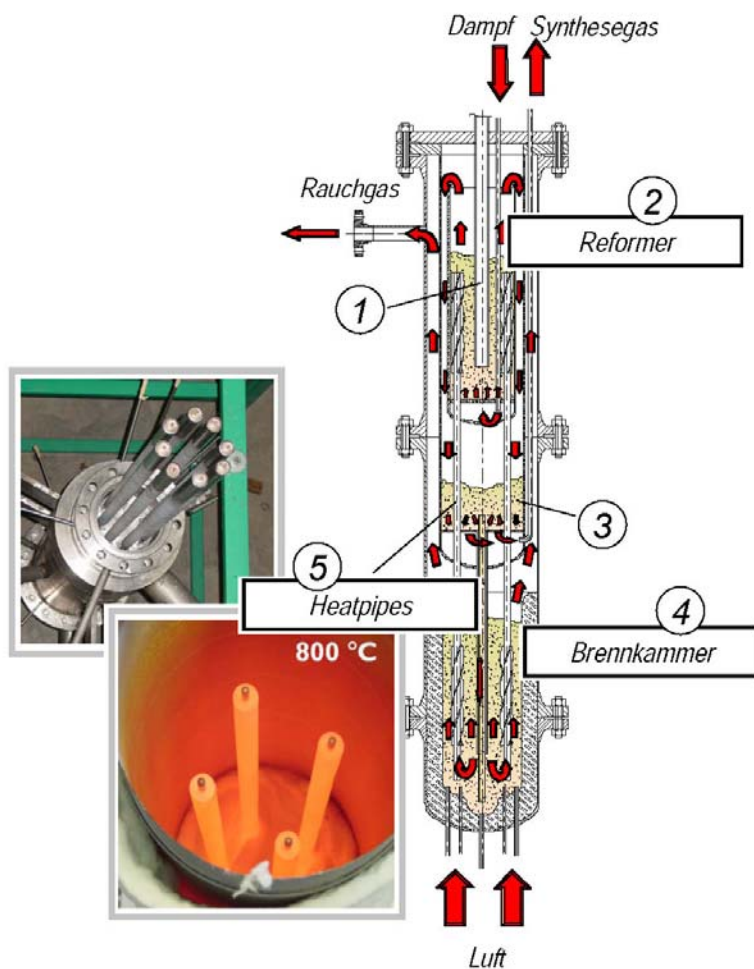


Abb. 3: Konzept des Biomass Heatpipe Reformers

günstig mit so genannten Heatpipes¹ gelöst wird. Die in Heatpipes auftretenden Wärmeübergangskoeffizienten sind um Größenordnungen höher als in rauchgasdurchströmten Rohren, so dass der Wärmeeintrag in einen Wirbelschicht-Vergaser nur noch durch den ohnehin guten Wärmeübergang von der Rohroberfläche in die Wirbelschicht limitiert wird. Mit der Heatpipe-Reformer-Technologie ist es möglich, die erforderlichen Wärmeströme selbst bei den geringen Temperaturdifferenzen zwischen Wärmequelle und Vergaser zu übertragen. Damit können allotherme Vergaser besonders einfach und kostengünstig realisiert werden.

¹ Heatpipes (Wärmerohre) sind in sich geschlossene Rohre, die mit einem Arbeitsfluid gefüllt sind. Das Arbeitsfluid – beispielsweise Natrium oder Kalium – verdampft in der Heizzone und kondensiert in der Kühlzone des Wärmerohrs.

Der Vergaser selbst besteht aus insgesamt drei Komponenten (Abb. 3):

Die Festbrennstoffe werden über einen Fallschacht (1) in den eigentlichen Vergaser eingebracht (2). Dort wird der Brennstoff zunächst pyrolysiert und teilweise in CO und H₂ umgesetzt. Die nicht umgesetzten Teere strömen mit dem erzeugten Brenngas in eine Filterkammer (3), in der mitgerissene Restkoks und Aschepartikel an einem Sandbett abgetrennt werden.

Die Regenerierung des Sandbettes und der Ascheaustrag werden über die Fluidisierung eines Siphons so geregelt, dass der Druckverlust des Filterbettes weitgehend konstant gehalten wird. Der mit der Asche in die Brennkammer (4) ausgetragene Restkoks wird in der Brennkammer verbrannt, und stellt so

einen Teil der benötigten Wärme bereit. Das im Vergaser erzeugte Brenngas wird in der Filterschicht aufgeteilt. Ein Teil wird in die Brennkammer geleitet und dort für die Wärmeerzeugung genutzt. Ein Teil der dabei freigesetzten Wärme wird mit den Heatpipes (5) in die Vergaserkammer übertragen.

Der Rest des vorgereinigten Brenngases wird nach außen abgeführt und kann in Gasturbinen oder in Brennstoffzellen genutzt werden.

Durch das gewählte Konzept kann auf vollständigen Umsatz im Vergaser verzichtet werden, da nicht umgesetzte Kohlenstoffpartikel oder Teere in der Brennkammer des Vergasers verbrannt werden. Dadurch werden die erforderliche Wirbelschicht-Bethöhe und somit auch Investitions- und Betriebskosten (Druckverluste, Katalysatoren) reduziert.

Im Jahr 2002 wurde ein erster Prototyp des Vergasers erfolgreich in Betrieb genommen. Wesentlicher Milestone eines EU-Vorhabens war ein 72h-Test, bei dem der Vergaser über mehrere Tage bei verschiedenen Betriebsparametern kontinuierlich betrieben werden konnte. Ein zweiter Prototyp soll noch im Jahr 2004 in Betrieb genommen werden. Das erzeugte Brenngas soll schließlich im Jahr 2004 in einer Mikroturbine genutzt werden. Im angestrebten Leistungsbereich sind elektrische Wirkungsgrade um 20% realistisch (Abb. 4).

Nächstes Entwicklungsziel ist die Realisierung standardisierter KWK-Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von 600 kW. Damit könnte der Markt für die Nahwärmeerzeugung in einem Leis-

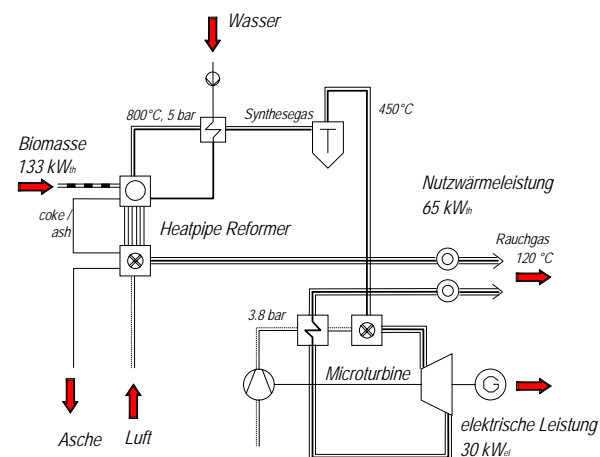


Abb. 4: Möglicher Aufbau einer Heatpipe-Reformer KWK-Anlage (Brennstoffausnutzungsgrad ca. 70 %, elektrischer Wirkungsgrad ca. 21 %)

tungsbereich bedient werden, in dem derzeit die meisten Biomasse-Heizwerke realisiert werden. Besonders interessant ist die Heatpipe-Reformer-Technologie auch für kleine, dezentrale Entsorgungsanlagen, da mit diesen Anlagen auch eine dezentrale, energetische Nutzung von Reststoffen nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz ohne Wärmeabnehmer möglich wird. Der wesentliche Vorteil besteht darin, dass sich dadurch beispielsweise für Anlagen zur Klärschlamm Entsorgung das Genehmigungsverfahren wesentlich vereinfacht. Gerade größere Entsorgungsanlagen lassen sich aufgrund der geringen Akzeptanz in der Öffentlichkeit oft nicht mehr realisieren (s.u.).

Kostenstruktur der dezentraler KWK

Die Kostenstruktur kleiner Anlagen für die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung unterscheidet sich nicht wesentlich von der Kostenstruktur konventioneller Heizwerke. Zusätzliche Stromerlöse und vor allem auch eine verbesserte Anlagenauslastung sind geeignet, die Wirtschaftlichkeit eines Standorts signifikant zu verbessern.

In Abbildung 5 ist die Kostenstruktur konventioneller Heizwerke dargestellt. Dieser Vergleich zeigt, dass die Investitionskosten für die eigentliche Anlagentechnik, neben den erheblichen Kosten für die Infrastruktur, den Personalkosten und den Betriebskosten nicht die entscheidende Rolle spielen, die ihnen im Allgemeinen zugesprochen wird. Geht also eine Erhöhung der Anlagenkosten mit einer Verbesserung der Einnahmesituation einher, können die Mehrkosten in der Regel gut kompensiert werden.

In Abb. 6 ist die Erlössituation eines potentiellen Betreibers einer KWK Anlage mit Heatpipe-Reformer, Heißgasreinigung und Mikroturbine bei vorgegebenen Randbedingungen der Erlössituation eines Heizwerks mit vergleichbarer Nutzwärmeleistung gegenübergestellt

Trotz der deutlich höheren Investitionskosten sind die zusätzlichen Stromerlöse ausreichend, um bei üblichen Wärme- und Brennstoffpreisen die Erlössituation des Betreibers signifikant zu verbessern. Eine zusätzliche Verbesserung kann sich dann ergeben, wenn die Anlage beispielsweise zusätzlich auch bei niedrigem Wärmebedarf im Sommer betrieben werden kann, und sich dadurch die Anlagenauslastung verbessert.

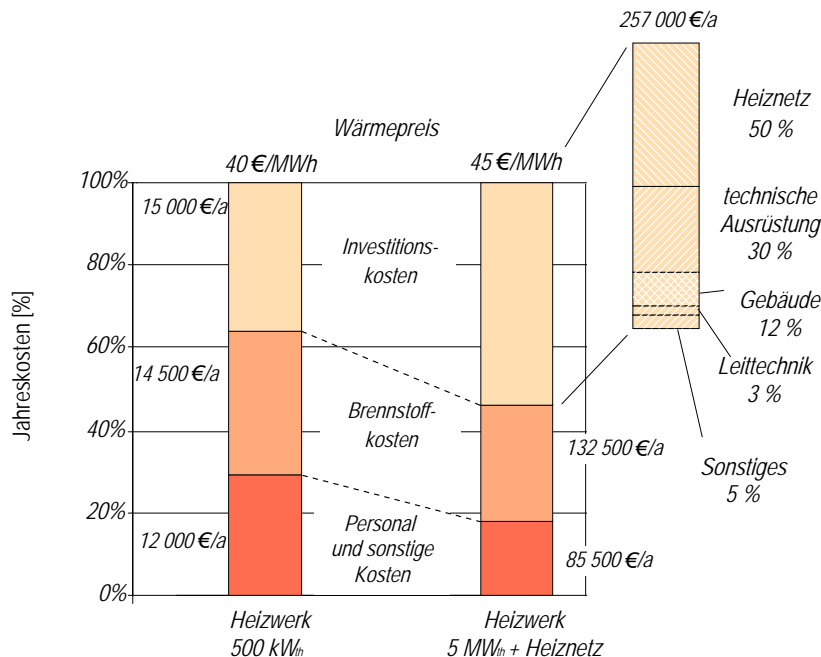


Abb. 5: Vergleich der Kostenstruktur (Jahreskosten nach VDI 2067) typischer Biomasse-Heizwerke (ohne Stromerzeugung) nach [1]

Selbstverständlich hängt die Wirtschaftlichkeit der dezentralen KWK mit Vergasungsanlagen von den spezifischen Randbedingungen eines Standorts ab. Auch Heizwerke lassen sich derzeit nicht an allen Standorten wirtschaftlich realisieren.

Sind die Mehrkosten der thermischen Vergasung gegenüber einfachen Feuerungssystemen allerdings im Rahmen, erhöht sich folgerichtig die Anzahl möglicher Standorte. Entscheidend dabei ist allerdings, dass die Zusatzkosten für die Gasreinigung gering bleiben, und beispielsweise keine unzulässig hohen Zusatzkosten beispielsweise für die Entsorgung teerbelasteter Stäbe oder Abwasser anfallen. Bei allothermen Vergasungsverfahren mit Heißgasreinigung ist dies gewährleistet.

Bedeutung der thermischen Vergasung

Die Vergasung von Festbrennstoffen ist nicht nur eine Schlüsseltechnologie für die energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen.

Die Vergasung ist auch eine Schlüsseltechnologie für die Herstellung von Treibstoffen aus den regenerativen Energieträgern Biomasse und Reststoffe. So kann Wasserstoff in großem Umfang nur durch die Vergasung bzw. Reformierung kohlenstoffhaltiger

Brennstoffe gewonnen werden. Auch für die Herstellung von Methanol oder synthetischen Treibstoffen aus biogenen Rohstoffen muss aus Festbrennstoffen erst ein wasserstoffreiches Synthesegas erzeugt werden, das dann in Methanol oder synthetisches Benzin weiterverarbeitet werden kann. Zwar wird heute in Deutschland mit Raps-Methyl-Ester (RME) bereits ein geringer Anteil des bundesweiten Dieselverbrauchs gedeckt, die Potentiale der Gewinnung von Rapsöl sind, wie die Produktion von Ethanol, allerdings sehr begrenzt.

Ein dritter Bereich, für den die Vergasung eine der Schlüsseltechnologien darstellt, ist die Entwicklung CO₂-freier Kohlekraftwerke. Besonders in den USA wird die Abtrennung und anschließende Deponierung von CO₂ bei der Verstromung fossiler Brennstoffe diskutiert. Die meisten Verfahren für die CO₂-Abtrennung setzen allerdings eine vorherige Vergasung voraus, da der Kohlenstoff aus dem Brenngas mit weitaus geringerem Aufwand abgetrennt werden kann, wie aus dem Rauchgas.

Der entscheidende Vorteil kleiner dezentraler Anlagen wird sich zunehmend daraus entwickeln, dass sich alternative Konzepte mit Großanlagen nur schwer und mit hohen technischen und wirtschaftlichen Risiken realisieren lassen.

Fazit zur Wirtschaftlichkeit

Die wesentlichen Markteintrittsbarrieren konkurrierender Verfahren – das hohe Investitionsrisiko und Genehmigungs-Risiken – sind für Kleinanlagen ungleich einfacher zu tragen. Bereits heute scheitern viele Biomasse-Projekte am Widerstand von Anliegern. Besonders für die Errichtung neuer Entsorgungsanlagen, die beispielsweise durch die novellierte Klärschlammverordnung notwendig werden, wird sich in kleinen dezentralen Anlagen einfacher realisieren lassen. Die öffentliche Akzeptanz gegenüber dezentralen, unmittelbar kleineren Kläranlagen zugeordneter Klärschlammvergasungsanlagen wird stets deutlich besser sein als die Akzeptanz gegenüber einzelnen, zentralen Großanlagen. Dadurch wird sich in vielen Fällen eine „Economy-of-Scale“ in umgekehrten Sinne einstellen – dezentrale Kleinanlagen sparen nicht nur Transport- und Logistikkosten sondern mindern gleichzeitig Planungsrisiken und hohe Projektierungsosten.

Die Entwicklung des Heatpipe-Reformers wurde von der Europäischen Kommission im 5. Rahmenprogramm im (EU-Projekt BioHPR, Projekt-Nr. ENK5-2000-00311 und vom Forschungsverbund BayFORREST Vorhaben F218 gefördert.

Schrifttum

[1] Karl, J., Dezentrale Energiesysteme, Oldenbourg-Verlag, München, 2004

[2] Starlfinger, J., Flugstromvergaser im IGCC-Kraftwerksprozess, BWK 55 (2003), Nr. 6, S. 48-52

[3] Hofbauer, H. Rauch, R., Biomasse Kraft-Wärme-Kopplung mit Wirbelschichtvergasung, Euroheat & Power, 32. Jg. (2003), Heft 9

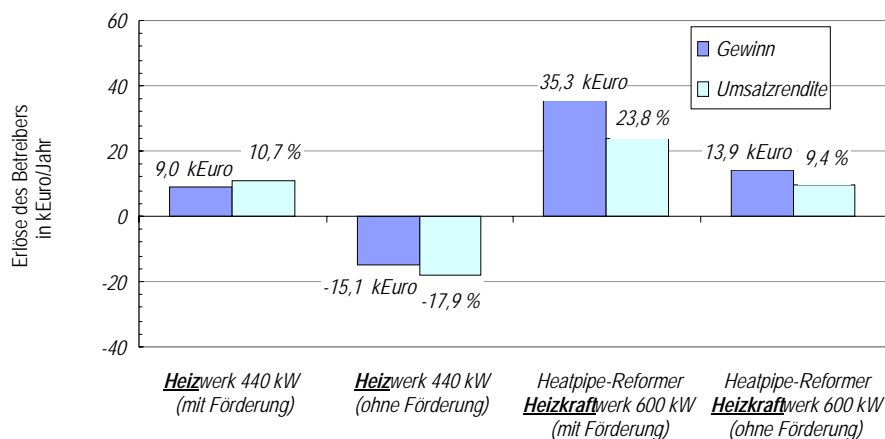


Abb. 6: Vergleich des Betriebsergebnisses eines Heizwerks (Anlagenkosten 220 k€) und eines Heizkraftwerks auf Basis der HPR-Technologie (Anlagenkosten 520 k€) bei vergleichbaren Randbedingungen. (Berechnung nach VDI 2067, Annahmen: 4500 Jahresvollaststunden, 5% Zins, Nutzungsdauer 18 Jahre, Brennstoffe 50% Waldhackgut zu 40 €/t 50% Sägereestholz zu 10 €/t)