

# Kraft-Wärme-Kopplung zur effizienten energetischen Nutzung von Biomasse

## Kraft-Wärme-Kopplung – eine Einführung

Mit dem Begriff Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bezeichnet man Prozesse zur Bereitstellung elektrischer Energie, bei denen die dabei entstandene Wärme zumindest teilweise genutzt wird. Obwohl der Begriff KWK die ausschließliche Verwendung von Kraftprozessen vermuten lässt, hat es sich eingebürgert, auch Prozesse mit Brennstoffzellen, Thermophotovoltaik oder ähnlichen Aggregaten ohne zwischengeschaltete mechanische Kraftprozesse hiermit zu belegen, wenn Abwärme genutzt wird. Wird mit der Abwärme zusätzlich ein Kälteprozess angetrieben so spricht man von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK).

## Wozu braucht man KWK ?

Die Grundidee der KWK basiert auf der Überlegung, dass die bei der Wandlung in elektrische Energie stets freiwerdende Wärme sinnvoll genutzt werden kann, um so die bereitgestellte Primärenergie (Kraftstoffe) effizienter zu nutzen. Erzielt werden dabei Gesamtnutzungsgrade um 90 %, wodurch Primärenergieeinsparungen bis ca. 30 % möglich werden, die dann entsprechend zu einer Verminderung von Treibhausgasen führen. Aus diesem Grund wird diese Technologie über das sogenannte KWK-Gesetz gefördert. Mit diesem Gesetz wird KWK-Strom gefördert, der in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist wird. KWK-Anlagen, die nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert werden, erhalten eine andere Vergütung (KWK-Bonus) [1].

Die Wärme kann bei diesen Prozessen in vielfältiger Weise genutzt werden wie z. B. zu Heizzwecken, als Prozessenergie aber auch zu Kühlzwecken.

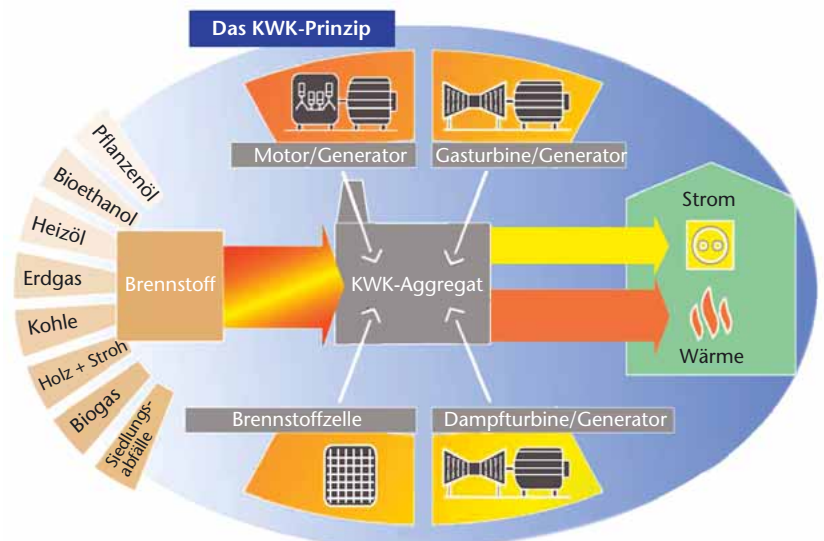
Es steht hierzu eine Vielzahl an Aggregaten zur Verfügung (Kolbenmaschinen mit innerer und äußerer Wärmezufuhr, Gasturbinen, Dampfmaschinen, Brennstoffzellen, Thermophotovoltaik). Diese können wiederum mit einer Vielzahl von Kraftstoffen betrieben werden. Eine Übersicht über die gebräuchlichsten Verfahren findet man in [2] und [3]. Die verschiedenen Prozesse unterscheiden sich teilweise erheblich in der Art der verarbeitbaren Kraftstoffe, dem Verhältnis zwischen elektrischer und thermischer Leistung, aber auch dem Temperaturniveau, auf dem die Wärme zur Verfügung gestellt wird [4]. Da meist nicht die gesamte Wärme genutzt werden kann, kommt dem Verhältnis zwischen Nettostromerzeugung und Nutzwärmeerzeugung (Stromkennzahl) eine besondere Bedeutung zu, da diese letztendlich die Wirksamkeit der Kopplung beziffert.

Dr. Bernd Krautkremer  
ISET  
bkrautkr@iset.uni-kassel.de

Helmut Böhnisch  
ZSW  
helmut.boehnisch@zsw-bw.de

Dr. Ahmet Lokurlu  
SOLITEM GmbH  
a.lokurlu@solitem.de

Abbildung 1  
Das KWK-Prinzip [5].  
Als KWK-Aggregat können verschiedene Techniken eingesetzt werden.



## Herausforderungen der KWK in der Praxis

Abbildung 2  
Einbaugerät  
Mikro-KWK [6]

Im praktischen Betrieb von KWK-Anlagen besteht das Hauptinteresse darin, die zur Verfügung stehende Wärme auch möglichst vollständig zu nutzen. Das kann schwierig sein, weil es nicht selbstverständlich ist, dass sich Bedarfe an Strom und Wärme im selben Verhältnis einstellen, wie sie vom KWK-System zur Verfügung gestellt werden. Zudem unterliegen die Absolutbeträge, aber auch die Verhältnisse der Bedarfe teilweise starken zeitlichen Schwankungen.

KWK-Anlagen müssen ihre, im Vergleich zu konventionellen Systemen, höheren Investitionskosten über die Vergütung des eingespeisten Stromes kompensieren. Neben einer möglichst günstigen Relation zwischen Brennstoffpreis und Stromvergütung ist dabei immer eine hinreichend große Menge an eingespeister elektrischer Arbeit nötig. Daher müssen KWK-Anlagen möglichst hohe jährliche Nutzungsdauern aufweisen (> 4000h/a). Der hieraus resultierende Zielkonflikt zwischen Wärme- und Stromproduktion wird in der Regel dadurch gemildert, dass die Einheiten nur so groß dimensioniert werden, dass sie die Grundlast des Wärmebedarfs decken können. Für die Abdeckung von Bedarfsspitzen sind dann Speicher und/oder Spitzenlastkessel erforderlich.

Typische Standorte, in denen die KWK zur Anwendung kommt, sind daher meist Objekte mit hohen, möglichst gleichmäßigen Wärmebedarfen. Dies sind z. B. Schwimmbäder, Hotels oder Krankenhäuser. Aufgrund der geringen Grundlasten bei privaten Haushalten scheiden bisherige KWK-Lösungen aus. Es zeichnen sich jedoch auch hier neue Lösungen ab:

Mikro-KWK zeichnet sich durch eine elektrische Leistung um 1 kW und eine thermische Leistung um 3 - 4 kW aus. Dadurch sind auch in diesem Anwendungsfall hinreichende Laufzeiten erreichbar. Verfügbar sind zurzeit verschiedene Maschinen, die auch als Einbaugeräte im Küchenbereich zum Einsatz kommen können (Abb. 2). Da es keine allgemeine Definition für den Begriff Mikro-KWK gibt, werden daneben auch größere Maschinen ebenfalls mit diesem Begriff belegt [7].



## KWK zur energetischen Nutzung von Biomasse

Wie Abb. 1 zeigt, ist es denkbar und durchaus üblich KWK-Systeme auch mit biogenen Brennstoffen zu betreiben. Beispiele für ausgeführte KWK-Anlagen zur energetischen Nutzung von Biomasse sind:

- Nutzung von fester, trockener Biomasse in Feuerungsanlagen mit nachgeschalteten Dampfprozessen mit Wasser oder organischen Lösungen als Arbeitsmedium
- Nutzung fester, trockener bis feuchter Biomasse in thermischen Vergasungsanlagen mit nachgeschalteten Verbrennungskraftmaschinen
- Nutzung von nasser Biomasse zur anaeroben Faulung in Biogasanlagen mit nachgeschalteten, konventionellen Verbrennungskraftmaschinen sowie Mikrogasturbinen Stirlingmotoren und Brennstoffzellen
- Nutzung von Alkoholen, die aus Biomasse gewonnen wurden in Verbrennungskraftmaschinen und Brennstoffzellen
- Nutzung von Pflanzenölen, direkt oder verestert in Verbrennungskraftmaschinen
- Feuerung von Holzpellets zum Betrieb von Stirlingmotoren

Aufgrund ihrer im Vergleich zu konventionellen Brennstoffen oft geringeren Energiedichte (Heizwert) ist in vielen Fällen eine dezentrale Nutzung sinnvoll. Dies ergänzt sich theoretisch in idealer Weise mit dem ebenfalls dezentralen Charakter der KWK. Ein weiterer Grund für eine Symbiose dieser Technologien ist das Streben nach einem möglichst hohen Nutzungsgrad, was bei der Verwendung knapper Ressourcen wie der Biomasse ohnehin empfehlenswert ist. Entscheidend ist aber, dass dadurch der Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtenergieversorgung mit dem gleichen Einsatz an Rohbiomasse deutlich gesteigert werden kann.

Ein weiterer positiver Aspekt für die Verwendung biogener Brennstoffe in KWK-Anlagen ist die Möglichkeit, die Abwärme zur Aufbereitung der Brennstoffe zu nutzen. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Wärme für den eigenen oder für fremde Prozesse genutzt wird. Eine interne Nutzung ergibt sich beispielsweise, wenn bei der Nutzung von Alkoholen die Abwärme für die Destillation genutzt wird. Eine externe Nutzung ist z. B. die Trocknung von Holzhackschnitzeln mit der Abwärme einer mit Biogas betriebenen KWK-Anlage. Mit Biomasse betriebene KWK-

Systeme besitzen das Potenzial, Energie dann bereit zu stellen, wenn sie benötigt wird. Damit können sie eine bedeutende Rolle in zukünftigen Energieversorgungsstrukturen spielen, da sie zumindest teilweise die Versorgungslücken fluktuierender Quellen wie Windkraft und Photovoltaik schließen und Bedarfsspitzen mindern können.

### Probleme bei der energetischen Nutzung von Biomasse in KWK-Anlagen

Es eignet sich nicht jedes Aggregat für jeden biogenen Brennstoff. Die verschiedenen biogenen Brennstoffe unterscheiden sich neben dem Aggregatzustand hinsichtlich ihres Heizwertes, ihrer Verbrennungseigenschaften (Zündverhalten, Flammgeschwindigkeiten, Ausbrand usw.) aber auch hinsichtlich ihrer unerwünschter Begleitstoffe und Verbrennungsrückstände (Teer, Asche). Weiterhin besteht das Problem, dass die Qualität biogener Brennstoffe oftmals Schwankungen unterlegen ist.



Abbildung 3  
Pilotprojekt Biogasbetriebene Mikrogasturbine im ISET [8]

Hier müssen dann unter Umständen Aufbereitungsverfahren zwischengeschaltet werden. Aus diesen Gründen gilt es, für jede der möglichen Kombinationen einen technischen und wirtschaftlichen Kompromiss zu finden. Die Optimierung der Systeme bewegt sich dann im Spannungsfeld zwischen maximalem Aufwand zur Kraftstoffaufbereitung und maximalem Aufwand zur Ertüchtigung der Aggregate für einen spezifischen Brennstoff. Dabei ist es meist sinnvoll, einen hochwertigen, standardisierten Brennstoff einzusetzen, wenn die KWK-Anlagen nur kleine Leistungen haben, weil dann auch Standardmaschinen zum Einsatz kommen können. Bei größeren Einheiten kann man jedoch oft auf eine weitergehende Brennstoffaufbereitung verzichten, da es sich hier lohnen kann, dass Aggregat für den jeweiligen Brennstoff zu ertüchtigen.

Ein weiteres Problem ist die Sicherung einer langfristigen Brennstoffversorgung. Viele biogene Kraftstoffe verfügen noch nicht über eine langfristig gesicherte Versorgungsstruktur. Außerdem entwickeln sich die Märkte noch und sind auch abhängig von den jeweils geltenden rechtlichen Randbedingungen. So führte beispielsweise die Zulassung von Biodiesel als Beimischung in konventionellen Kraftstoff zu einer sehr großen Nachfrage. In diesem Zusammenhang sollte man jedoch nicht verschweigen, dass auch die Versorgung mit fossilen Kraftstoffen durchaus nicht mehr so sicher ist wie man es gewöhnt war.

Das theoretische Potenzial, dass auf Biomasse basierende Systeme Energie dann bereitstellen können, wenn sie benötigt wird, kommt in der heutigen Praxis leider noch kaum zum Tragen. Bioenergiesysteme wie z. B. Biogasanlagen werden möglichst lange mit maximaler Leistung betrieben, so dass sie hauptsächlich zur Stromerzeugung im Grundlastbereich beitragen. Dies begründet sich in der Tatsache, dass durch das geltende EEG die Zielenergieform Strom bevorzugt und durch Abrechnung der eingespeisten elektrischen Arbeit vergütet wird. Es kommt noch hinzu, dass die Anlagen meist ortsfrem liegen, so dass eine Nutzung der Abwärme bis auf die Beheizung der Fermenter der Biogasanlagen in der Regel ausbleibt. Es ist daher fraglich, ob der Begriff KWK hier noch

seine Berechtigung hat. Die Gründe hierfür finden sich auch in den momentan gültigen Richtlinien des Baurechts und in der Raumordnung. Hier ist sicher Aufklärungs- und Nachbesserungsbedarf.

## Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Zur weiteren Verbreitung von KWK-Anlagen, die biogene Brennstoffe einsetzen, müssen geeignete System-Brennstoffkombinationen identifiziert werden, die wirtschaftlich, effizient und emissionsarm sind. Zur Erreichung dieser Zielsetzungen müssen folgende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt werden:

- Existierende Systeme müssen hinsichtlich des gesamten Konversionspfades optimiert werden.
- Neue Systemkombinationen müssen geprüft, ertüchtigt und ihre Funktion demonstriert werden.
- Biogene Kraftstoffe müssen hinsichtlich ihrer Verbrennungseigenschaften detailliert untersucht werden. Aus diesen Untersuchungen müssen Standards abgeleitet werden.
- Zur Aufbereitung der Brennstoffe müssen vorhandene Verfahren verbessert und neue entwickelt werden. Dies vor allem im Hinblick auf die Verwendung in Brennstoffzellen und zur Einspeisung in vorhandene Versorgungsstrukturen.
- Systeme zur bedarfsgerechten Bereitstellung von Energie müssen erprobt werden.

Neben diesen Forschungsaufgaben müssen noch weitere Schritte erfolgen, die die Grundlage für eine Einbindung in zukünftige Energieversorgungsstrukturen bilden. Dazu gehört neben der gesetzlichen Grundlage der Einspeisung auch eine Vergütungsstruktur, die den spezifischen Eigenschaften dieser Systeme gerecht wird. Nur so kann das hohe Potenzial zur Einsparung fossiler Ressourcen ausgeschöpft werden, das KWK-Systeme bieten, die mit Biomasse betrieben werden.

## Zusammenfassung

Die positiven Eigenschaften von KWK-Systemen, die zu deutlichen Energieeinsparungen führen können, lassen sich in der Praxis leider nicht immer vollständig umsetzen. Dies gilt auch für KWK-Systeme, die mit Biomasse betrieben werden. Hier kommt hinzu, dass biogene Brennstoffe sich in ihren Eigenschaften deutlich von Standardbrennstoffen unterscheiden. Trotzdem werden auch heute schon KWK-Systeme mit Biomasse erfolgreich betrieben. Der dezentrale Charakter der energetischen Nutzung von Biomasse, die Möglichkeit die Abwärme für den Aufbereitungsprozess zu nutzen und die Chance die benötigte Energie dann bereit zu stellen, wenn sie gebraucht wird, machen mit Biomasse betriebene KWK-Systeme äußerst interessant für zukünftige Energieversorgungssysteme. Um eine weitere Verbreitung dieser Systeme zu ermöglichen sind neben verschiedener Forschungsaktivitäten, unter anderen auch im Forschungsverbund Sonnenenergie, auch die Verbesserung der gesetzlichen und marktbezogenen Randbedingungen nötig.

## Literatur

- [1] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. ASUE, KWK-Gesetz 2002
- [2] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. ASUE, BHKW Kenndaten 2005
- [3] [www.bhkw-info.de](http://www.bhkw-info.de)
- [4] J. Bard, Dezentrale Kraftwärmekopplung, Konversionstechnologien und Einsatzmöglichkeiten, FVS Themen 2001
- [5] Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V., Kraft-Wärme-Kopplung, Chance für Wirtschaft und Umwelt, [www.bkwk.de](http://www.bkwk.de)
- [6] [www.microgendirect.com](http://www.microgendirect.com)
- [7] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. ASUE, Mikro-KWK
- [8] [www.mikrogasturbine.de](http://www.mikrogasturbine.de)