

Smart Bioenergy Concept – Aufgaben der Bioenergie im Energiesystem der Zukunft



UFZ
Prof. Dr. Daniela Thran
daniela.thraen@ufz.de
Dr. Sabine Kleinstauber
sabine.kleinstauber@ufz.de

DBFZ
Dr. Jan Liebetrau
jan.liebetrau@dbfz.de

DLR
Dr. Sonja Simon
sonja.simon@dlr.de

IWES
Dr. Bernd Krautkremer
bernd.krautkremer@iwes.fraunhofer.de

IZES
Prof. Frank Baur
baur@izes.de
Hermann Guss
guss@izes.de

Bioenergie stellt bisher eine entscheidende Größe beim Übergang von der fossilen in eine erneuerbare Energieversorgung dar. Wärme-, Strom- und Kraftstoffbereitstellung wurden in den vergangenen Jahren umfassend ausgebaut und stellen in 2015 mit 8,1% zwei Drittel der insgesamt 12,5% erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch in Deutschland dar (AGEE stat 2016).

Auch wenn die dadurch realisierten Treibhausgasersparungen einen zentralen Beitrag zum Klimaschutz im Energiesektor darstellen, ergeben sich hinsichtlich der Beibehaltung bzw. des Ausbaus bislang erzielter Effekte verschiedene zentrale Herausforderungen für die künftige Bioenergienutzung: Zum einen werden die künftig verfügbaren Biomassen aus der Land- und Forstwirtschaft zunehmend unterschiedlich bewertet, weil diese durch vielfältige kritische Größen beeinflusst sind (z. B. Nahrungsmittelbedarf, Möglichkeiten, Grenzen und Nebeneffekte einer Intensivierung der Landwirtschaft, offene Bewertungsfragen bei CO₂-Bindung der Agrar- und Forstflächen, Naturschutz, Landnutzungsänderungen etc.). Zum anderen werden in einem zunehmend mit fluktuierenden erneuerbaren Energien (Wind und Sonne) versorgten Energiesystem andere Anforderungen an den Einsatz von Biomasse gestellt als in einem fossil dominierten System.

Smart Bioenergy – Antwort auf sich ändernde Rahmenbedingungen

Als Antwort auf diese Herausforderungen und mit Blick auf die Erwartungen an eine weitgehend klimagasneutrale Wirtschaftsweise, ist die Bioenergiebereitstellung und -nutzung umfassend weiter zu entwickeln (siehe *Abbildung 1*).

An künftige „smarte“ Bioenergiekonzepte werden die folgenden Anforderungen gestellt:

- Sicherstellung einer nachhaltigen Rohstoffbasis
- kontinuierliche Weiterentwicklung der Prozesseffizienz und Emissionsreduktion
- flexible, nachfrageorientierte Energiebereitstellung in Anlagen, die umfassend steuer- und regelbar sowie lernfähig in Bezug auf künftige Anforderungen des Energiesystems sind
- zunehmende Kombination von stofflicher und energetischer Nutzung, wie auch – in der längerfristigen Perspektive – als CO₂-Quelle für Power-to-X-Konzepte oder CO₂-Speicherung

Die Forderung nach einer nachhaltigen Rohstoffbasis bedarf zum einen der ständigen Überprüfung der Biomasseverfügbarkeit für Bioenergie, zum anderen aber auch geeigneter Zertifizierungssysteme für

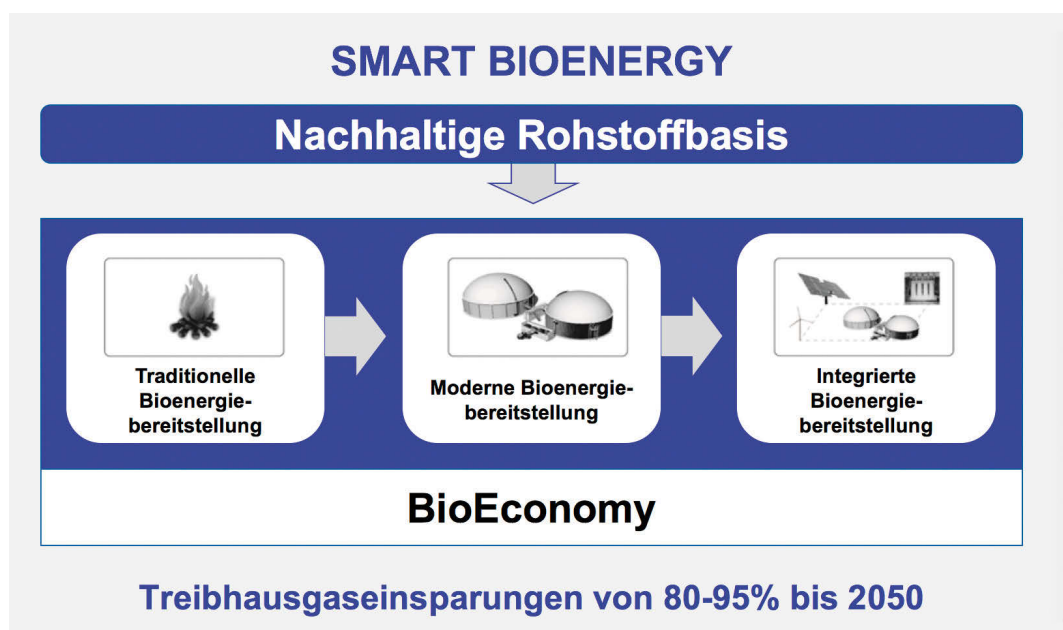


Abbildung 1
**Entwicklungsperspektive
Bioenergie**
(Quelle: Thran: Smart Bioenergy,
Springer-Verlag)

nachhaltige Biomasse. In beiden Bereichen wurden in den letzten Jahren deutliche Fortschritte erzielt. Als Basis für nachhaltige Biomassenutzung wurde beispielsweise ein langfristiges heimisches Potenzial von rund 1 EJ/a an Reststoffen ermittelt (Brosowski et al. 2015), wovon etwa 60% bereits genutzt werden (eigene Berechnungen nach (BMWi and AGEE-Stat 2016)). Vorwiegend bei Holz, Stroh und Exkrementen bestehen noch ungenutzte Potenziale, deren Einsatz für zusätzliche Flexibilität des Energiesystems und als Kohlenstoffquelle optimiert werden muss. Mit dem Anbau von 2 Mio. ha Energiepflanzen in Deutschland wird ebenfalls der wesentliche Teil des Potenzials bereits genutzt. Auch global sind die nachhaltigen Biomassepotenziale auf 100–180 EJ/a begrenzt (Thrän, Seidenberger et al. 2010) und teilweise genutzt (oft in ineffizienten traditionellen Anwendungen). Biomasseimporte können nur bei Sicherstellung der Nachhaltigkeit z. B. hinsichtlich Landnutzungsänderungen und Umweltwirkungen zu einem erneuerbaren Energiesystem beitragen. Daher müssen neben neuen Nutzungspfaden für Biomasse auch bestehende Nutzungen ertüchtigt und in smarte Bioenergiesysteme integriert werden.

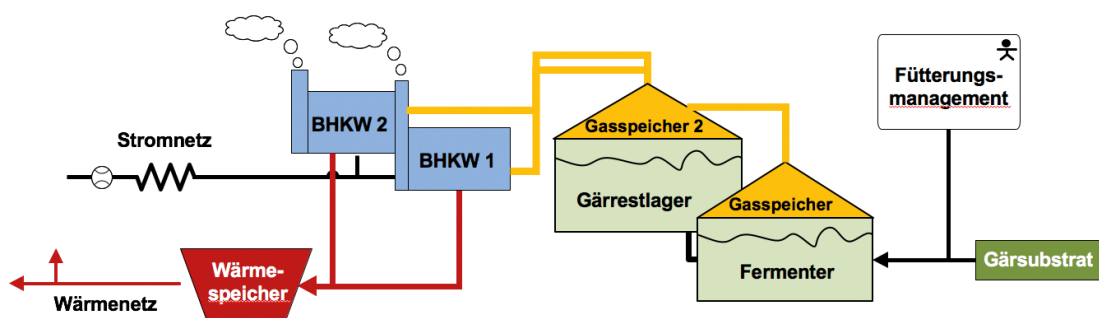
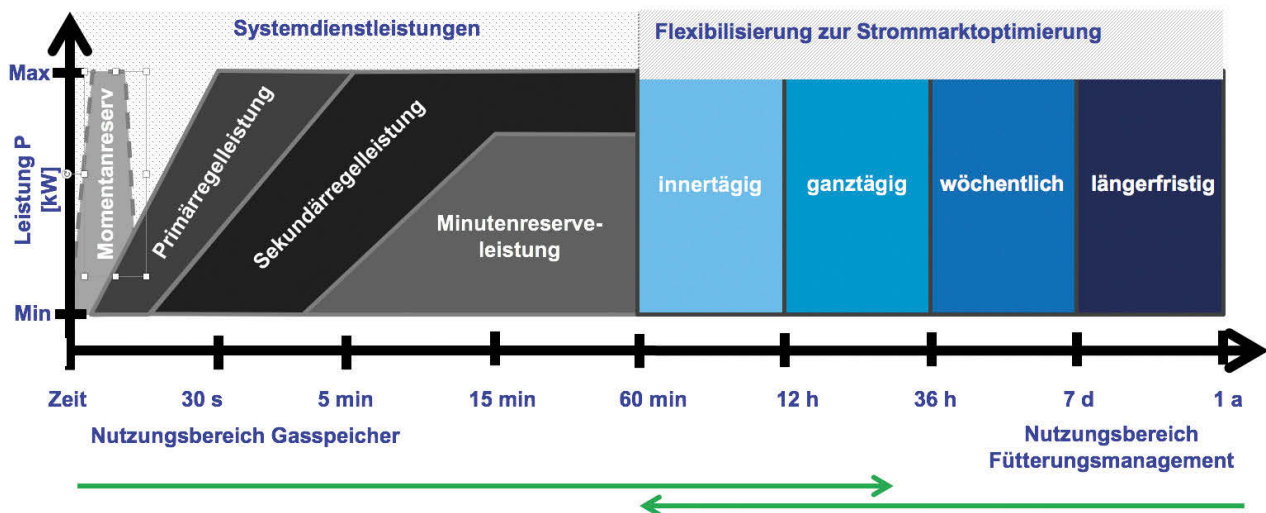
Flexibler Einsatz im Stromsystem als Vorreiter

Während die Herausforderungen der Rohstoffbasis und der Effizienzsteigerung für Wärme, Strom und Kraftstoff aus Biomasse in gleichem Maße gelten, ergeben sich insbesondere bei der Integration ins Energiesystem zeitliche Prioritäten im Stromsektor, weil hier der Umbau auf fluktuierende erneuerbare Energieträger bereits in vollem Gange ist.

Strom aus Biomasse, insbesondere in Form von Biogas, kann bedarfsgerecht bereitgestellt werden und damit von kurzfristigen Notwendigkeiten vor Ort bis hin zur Bereitstellung von langfristigen, für das nationale Stromsystem relevanten Kapazitäten verschiedene Funktionen übernehmen. Dazu gehören

- lokale Spannungsstützung
- Blindleistungsbereitstellung in der Fläche
- Hilfestellung beim Netzwiederaufbau
- Notstromfunktion
- Vermeidung von Netzausbau
- Reduktion von fossilen Must-Run-Units

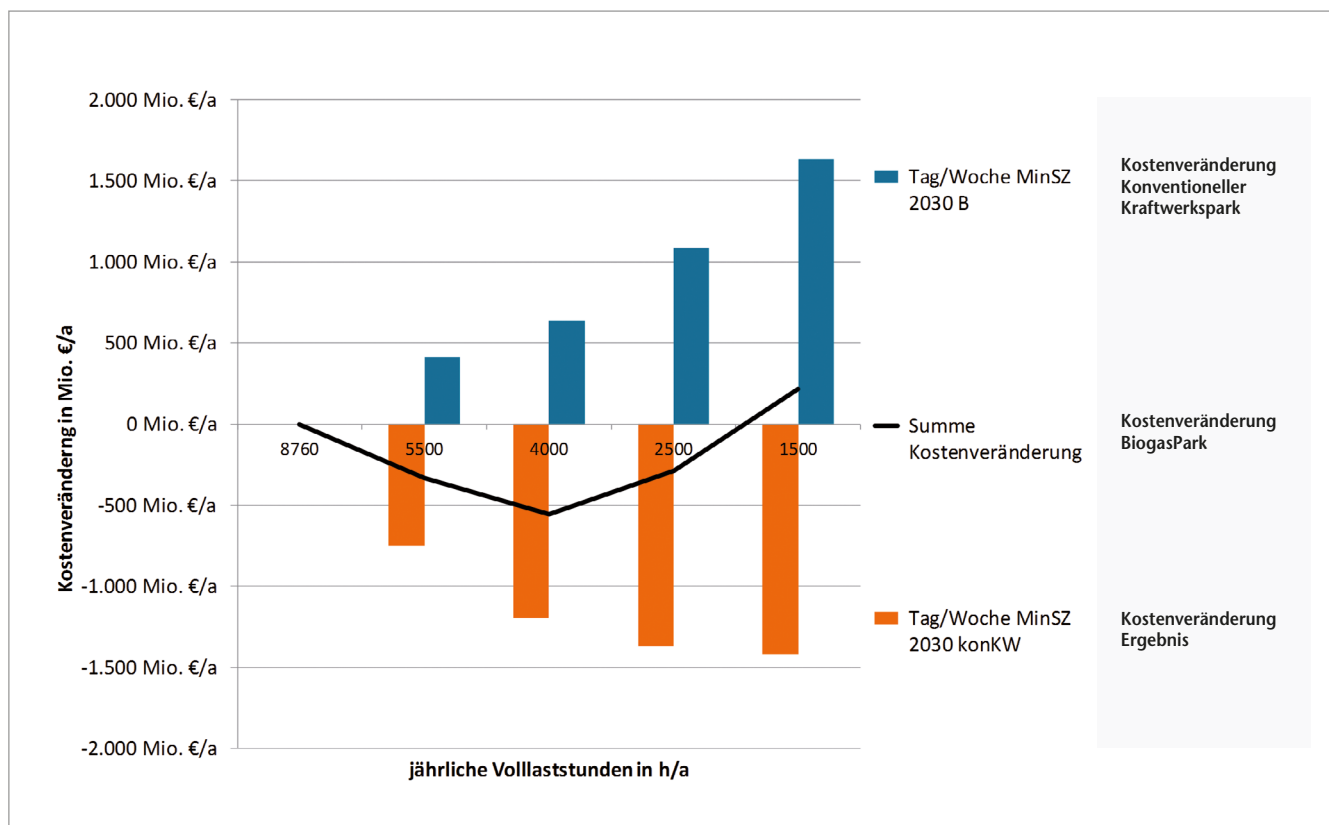
Abbildung 2
Flexible Stromerzeugung – Beispiel Biogas
(Quelle: angepasst nach Krautz et al., 2013)



Hier werden und wurden durch die Institute des Forschungsverbundes (IWES, DBFZ, IZES) vielfältige theoretische und praktische Untersuchungen durchgeführt und die Umsetzbarkeit demonstriert. Auf Seiten der Biogastechnologien gibt es bereits aktuell die Möglichkeit kurzer Reaktionszeiten und Puffer-eigenschaften von Gasspeichern, zum Ausgleich sowohl kurz- als auch langfristiger Schwankungen (Abb. 2). Bei einem ausreichend dimensionierten Gasspeicher und der Verfügbarkeit ausreichender Verstromungskapazitäten (also höhere BHKW-Kapazitäten als Biogasproduktionskapazitäten) sind Lastgangschwankungen innerhalb eines Tages gut regulierbar, was speziell zu einem guten Zusammenspiel mit Photovoltaik führt. Längere, saisonale Perioden mit schwankender Anlagenleistung sind Anpassungen im Fütterungsregime oder eine Aufbereitung von Biogas in Biomethan und dessen Speicherung im Erdgasnetz notwendig. Für Biogasanlagen wurde gezeigt, dass mit einer Regelung der biologischen Prozesse ein hohes Maß an Flexibilität erreicht werden kann. Anlagen mit entsprechendem Fütterungsregime können die Biogasproduktionsrate um bis zu $\pm 50\%$ der durchschnittlichen Rate variieren, ohne dass es zu Instabilitäten im Prozess kommt (Mauky et al. 2016). In neuen Reaktorkonzepten lässt sich die Gasproduktion von Teilströmen in kürzester Zeit um den Faktor 8–10 steigern, ohne dass die biologische Stabilität gefährdet ist (Hahn, 2015).

Damit wird die bereits durch die Gasverwertung und den Gasspeicher vorhandene Flexibilität der Anlagen noch einmal erheblich aufgewertet und somit können im Tages- bis Wochenverlauf starke Schwankungen der Strom- und/oder Wärmenachfrage kompensiert werden. Die kombinierte Regelung von Strom- und Wärmebedarf ist eine Optimierungsaufgabe, die sowohl der richtigen Dimensionierung der Komponenten als auch einer entsprechend leistungsfähigen Prozessregelung bedarf. Weiterhin muss die flexible Biogasproduktion in geeigneter Form ins Energiesystem eingebunden sein: Untersuchungen der notwendigen Eigenschaften eines Biogasanlagenparks für einen kostenoptimalen Einsatz im Energiesystem haben beispielsweise gezeigt, dass etwa bei einer Verdopplung der installierten BHKW-Leistung die Flexibilisierungskosten durch Einsparungen im konventionellen Kraftwerkspark überkompensiert werden, die Kosten im Gesamtenergiesystem somit sinken (Abbildung 3) (Holzhammer et al 2016). Weitere Optionen für die Bereitstellung von flexibler Bioenergie werden gegenwärtig erprobt für Biomasseheizkraftwerke und MikroKWK. Simulationen zeigen, dass die größten Effekte und Kosteneinsparungen für das im Umbau befindlichen Stromsystem etwa in den 2030er Jahren erreicht werden dürften. Außerhalb des Strombereiches werden smarte Bioenergiekonzepte z. B. für den „Flaschenhals“ saisonale

Abbildung 3
Gesamtkostenoptimierung eines Kraftwerksparks durch Flexibilisierung mit Bioenergie
 (Quelle Fraunhofer IWES)



Wärmespeicher, Hybridlösungen mit Power-to-X, zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe, aber auch für den Wärmebereich (SmartBiomassHeat) entwickelt und erprobt.

Damit zeigt sich in allen Energiesektoren, dass durch eine Hybridisierung der Biomasse mit anderen erneuerbaren Energien eine effizientere Ausnutzung des biogenen Kohlenstoffs und damit eine Erweiterung der Potenziale erreicht werden kann.

Kombination mit stofflicher Nutzung als weiteres wesentliches Forschungsfeld

In der Mittelfristperspektive erhält darüber hinaus die kombinierte stofflich-energetische Nutzung von Biomasse eine zunehmende Bedeutung, denn nur wenn es gelingt auf Basis von Biomasse auch die Nachfrage nach Stoffen und Materialien zu decken, die heute auf Erdölbasis bereitgestellt werden, und die Biomasse in Kaskadennutzungen und Kreisläufe zu integrieren, dürfte das „kleiner 2°-Ziel“ erreichbar sein. Gekoppelte stofflich-energetische Nutzungen sind in verschiedener Hinsicht möglich. Während die Holzkaskade, die eine erst rohstoffliche, dann werkstoffliche und schließlich energetische Nutzung vorsieht, bereits vielfach etabliert ist, bestehen bei der Bereitstellung flüssiger und gasförmiger Energieträger weitere Möglichkeiten zur gekoppelten Erzeugung neuer Stoffe, die zum Teil noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium sind.

Ein Beispiel ist die Nutzung von Zwischenprodukten des Biogasprozesses für die stoffliche und/oder energetische Nutzung je nach Bedarf: Zweistufige Biogasanlagen produzieren in der Hydrolyse/ Acidogenese-Stufe organische Säuren, die als Plattformchemikalien für die chemische Industrie genutzt werden können (Carboxylat-Plattform, z.B. zur Herstellung von biobasierten Schmierstoffen, Tensiden, Futtermittelzusätzen und Kosmetika oder nach elektrochemischer Konversion zu Drop-in-Kraftstoffen). Diese Zwischenprodukte sind speicherfähig und können bei Bedarf auch in der Methanogenese-Stufe der Biogasanlage in Biogas umgewandelt werden, so dass die gekoppelte stofflich-energetische Nutzung gleichzeitig zur Umsetzung flexibler Fütterungsregime dient. Neben der Carboxylat-Plattform bietet auch die Vergasung trockener Biomasse-Reststoffe zu Bio-Syngas die Möglichkeit zur gekoppelten stofflichen und energetischen Nutzung (Syngas-Plattform).

Beide Konversionspfade (Carboxylat- und Syngas-Plattform) eignen sich ebenso wie biochemische Power-to-X-Konzepte zur Integration in bestehende Biogastechnologien und könnten damit neue Geschäftsfelder für Betreiber von Biogasanlagen nach Auslaufen der EEG-Förderung erschließen.

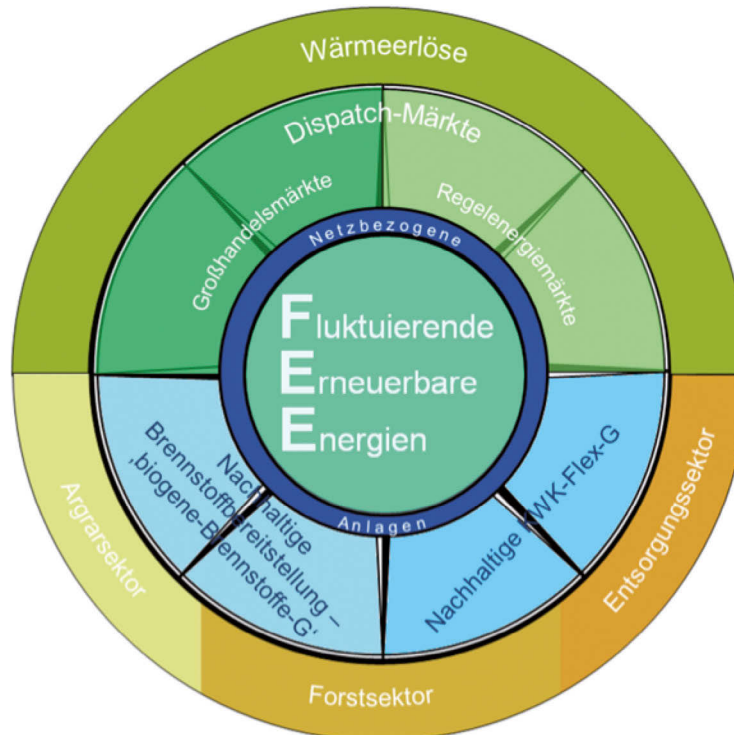
Als eine weitere Option für die stofflich-energetische Nutzung ist z.B. auch die CO₂-Abtrennung und Verwertung bei der Bioenergiebereitstellung und Nutzung zu thematisieren. So besteht z.B. Biogas aus einem Gemisch von ca. 35–45 % CO₂ und 55–65 % Biomethan, so dass bei einer Aufbereitung von Biogas zu Biomethan eine konzentrierte CO₂-Quelle nutzbar wäre. Eine relevante Anwendung im Rahmen der Energiewende könnte der Einsatz dieses CO₂ in Power-to-X-Konzepten sein. Dies ist technisch zwar einfach zu realisieren, jedoch besteht bei den organisatorischen und logistischen Fragen, bei der Frage der CO₂-Verwertung und auch bei der Bewertung dieser Konzepte noch erheblicher Forschungsbedarf.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit Blick auf die klimapolitischen Beschlüsse aus Paris sind also umfassende Veränderungen notwendig. Bioenergie kann einen substanziellen Beitrag zu den angestrebten Wirtschaftssystemen leisten, wenn die neuen Systemanforderungen aus Energiewende- und Klimaschutzbestrebungen aufgenommen werden. Notwendige Elemente für smarte Bioenergiekonzepte sind in der Untersuchung, Entwicklung und Demonstration. Neben der weiteren Entwicklung und Erprobung in Deutschland ist der internationale Transfer der Konzepte und Technologien eine weitere wichtige Maßnahme. Denn im globalen Kontext hat Biomasse als Energieträger einen sehr hohen Stellenwert – mit vielfach noch ineffizienten und emissionsreichen Technologien. Zentrale Schwierigkeit für die Weiterentwicklung in Deutschland sind zum einen die kontroversen Erwartungen an die künftige Rolle der Bioenergie, die sich auch in einer sehr großen Szenarienvielfalt für die langfristige Nutzung der Bioenergie widerspiegeln (Szarka et al 2016); hier ist die Interessengruppen übergreifende Erarbeitung einer besser abgestimmten Langfriststrategie für Biomasse dringend notwendig.

Zum anderen sind die energiepolitischen Randbedingungen und Anreizmodelle (hier insbesondere das EEG) in den letzten Jahren zunehmend instabiler geworden und verhindern damit die für technische Entwicklungen notwendige langfristige Planungssicherheit. Die alleinige Reduzierung der Bioenergie auf ihre Wirkung im Bereich der Strompreisentwicklung berücksichtigt dabei nicht alle makroökonomischen Aspekte, die durch das zugrunde liegende Anreizmodell beeinflusst werden. Die z.B. durch das EEG bislang ausgelösten Impulse generieren direkt und indirekt – derzeit nur ansatzweise quantifizierbare – ökonomische Effekte in anderen Sektoren, tendenziell im Sinne einer Kostendämpfung bzw. höheren Wertschöpfung. Im Besonderen sind hier neben den Strom-/Wärmemärkten („Wert“ der bedarfs-

Abbildung 4
**Systemdienstleistung
 der Bioenergie**
 außerhalb des Energiesystems
 (Quelle: IZES)



gerechten Einspeisung) der Agrarsektor (THG-Minderung z.B. hinsichtlich der Gülleproblematik), der Entsorgungssektor (Sicherung einer hochwertigen Verwertung gemäß KrWG) sowie der Forstsektor zu nennen. Diese Sektoren verfügen jeweils für sich über eigene Finanzierungsgrundlagen, welche durch energiewirtschaftliche Vergütungen und hier insbesondere durch die des EEG potenziell entlastet wurden bzw. werden (siehe *Abbildung 4*). Eine gesamtökonomische Analyse ist somit gerade im Biomasse-Bereich angeraten.

Quellen

- BMWi and AGEE-Stat (2015). Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik.
- Brosowski, A., Adler, P., Erdmann, G., Stinner, W., Thrän, D., Mantau, U., Blanke, C., Mahro, B., Hering, T., Reinholdt, G., (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen: Status Quo in Deutschland. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe 36. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow-Prüzen
- Hahn, H. (2015); „Verbundvorhaben: Regelung der Gasproduktion von Biogasanlagen (ReBi); Teilvorhaben 1: Verfahrenstechnische und energiewirtschaftliche Analyse und Bewertung.“

Schlussbericht Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz BMELV, 22400611; ReBi, auch: Kassel: Fraunhofer IWES, VI, 41 pp.

- Holzhammer, U., Krautkremer, B., Jentsch, M., Kasten, J. (2016) „Beitrag von Biogas zu einer verlässlichen erneuerbaren Stromversorgung.“, Studie, Electronische Publication, Kassel: Fraunhofer IWES, 2016, 42 pp.
- IZES & ifeu (2016): Biogas – Quo vadis? – Schärfung anstehender Forschungsfragen hinsichtlich der langfristigen Klimaschutzwirkung von Biogasanlagen, gefördert durch das BMUB, FKZ UM16412120, Saarbrücken/Heidelberg
- Mauky E., Weinrich S., Jacobi H.F., Nägele H.J., Liebetrau J., Nelles M.; Demonstrating demand-driven biogas production by flexible feeding in full-scale – Process stability and potentials (submitted)
- Szarka, N.; Eichhorn, M.; Kittler, R.; Bezama, A.; Thrän, D. (2016). „Interpreting long-term energy scenarios and the role of bioenergy in Germany“. Renewable and Sustainable Energy Reviews (ISSN: 1364-0321). DOI: 10.1016/j.rser.2016.02.016.
- Thrän (Hrsg.) (2015). Smart Bioenergy. Technologies and concepts for a more flexible bioenergy provision in future energy systems. Springer-Verlag. Heidelberg. 181 pp. ISBN 978-3-319-16192
- Thrän, D., T. Seidenberger, J. Zeddies and R. Offermann (2010). „Global biomass potentials – Resources, drivers and scenario results.“ Energy for Sustainable Development 14(3): 200–205.