



IFEU -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH



Biomasse und Effizienz

Vorschläge zur Erhöhung der Energieeffizienz von §8 und §7- Anlagen im Erneuerbare-Energien- Gesetz

Arbeitspapier Nr. 1 im Rahmen des Projektes

“Energiebalance – Optimale Systemlösungen für
Erneuerbare Energien und Energieeffizienz”

in Zusammenarbeit mit dem Projekt „Optimierung für
einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und
-nutzung in Deutschland“

Dr. Martin Pehnt, Regine Vogt

IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung
Heidelberg

Wilckensstr. 3

D-69120 Heidelberg

martin.pehnt@ifeu.de; regine.vogt@ifeu.de

Heidelberg, Mai 2007

Inhalt

1	Vorbemerkung	4
2	Effizienzvorgaben im EEG und Verbesserungsmöglichkeiten	4
3	Wichtige Einflussparameter auf die THG-Bilanz bei Biogas und Holz	7
3.1	Biogas.....	7
3.2	Feste Biomasse	13
4	Konkrete Modifikationsvorschläge	14
4.1	Vorbemerkung	14
4.2	Verschiebung der ersten Vergütungskategorie auf Anlagen < 75 kW mit erhöhtem Vergütungssatz	15
4.3	Erhöhung des KWK-Bonus, ggf. Senkung der Grundvergütung, Mindestkriterien/Nachweis der Wärmenutzung	15
4.4	Modifikation des Technologiebonus (verstärkte Berücksichtigung von Netzen).....	17
4.5	KWK-Bonus und Netzbonus auch für Altanlagen	18
4.6	Ökologische Qualifizierung des Nawaro-Bonus.....	18
4.7	Gasdichte Gärrestabdeckung mit Restgasnutzung.....	18
4.8	KWK-Bonus und Netzbonus auch bei Klärgas, Deponiegas, Grubengas...	19
4.9	Nachrüstungsförderung für Kompostierungsanlagen auf Biogas z. B. im Rahmen des MAP	19
4.10	Mikro-KWK-Förderung ins MAP.....	20
5	Literatur.....	21
6	Annahmen für die Berechnung von Abbildung 2.....	21

Zusammenfassung der Modifikationsvorschläge

- Anhebung des KWK-Bonus für §8-Anlagen (z. B. um 1 Ct/kWh)
- Ggf. Absenkung der Grundvergütung in einem geringeren Ausmaß (z. B. 0,5 Ct/kWh)
- Eine Positiv/Negativliste weist akzeptierte und nicht akzeptierte Wärmenutzungen aus. Bei Anschluss an Nah/Fernwärme gilt vollständige Wärmenutzung als gegeben. Die Höhe der Wärmenutzung ist nachzuweisen. Für Wärmenutzungen, die nicht auf der Positivliste stehen, ist die Gleichwertigkeit der Wärmenutzung bezüglich der Klima- und Ressourcenschonung nachzuweisen.
- Aufnahme von Mikro-Biogasnetzen in den Technologiebonus; Mindestvoraussetzungen: Eigenwärmebedarf wird regenerativ bereitgestellt; Mindestlänge 500 [1000] Meter; der wesentliche Biogasanteil wird über das Netz geführt und das Gas wird in einem BHKW mit vollständiger Wärmenutzung genutzt
- Mindestanforderung an Gasaufbereitung (maximaler Energieverlust und Methanschluß, KWK-Nutzung, Prozesswärme regenerativ decken) für die Gewährung des Technologiebonus für Gasnetzeinspeisung
- Verbesserung der Förderung von Nahwärmenetzen im Markt-Anreiz-Programm
- Anerkennung der in ORC (Kalina-) Anlagen genutzten Wärme in Höhe des 2,7fachen Stromertrags als KWK-Wärme
- Anhebung der Vergütungshöhe für die kleinste Anlagenkategorie, Absenkung der Leistungsgrenze von 150 auf 75 kW_{el}
- Forderung einer gasdichten Gärrestabdeckung mit Restgasnutzung als Grundanforderung an die Vergütung von Biogasanlagen > 75 kW_{el}
- Forderung eines nachweislichen Mindestwirkungsgrades für Anlagen < 2MW_{el} bei Gewährung des KWK-Bonus, um Missbrauch bei der KWK-Vergütung durch niedrigen thermischen Nutzungsgrad zu unterbinden
- Gewährung eines KWK-Bonus auch bei wärmeseitiger Nachrüstung von Altanlagen
- Gewährung eines KWK-Bonus auch für Klär- und Deponiegas (auch bei wärmeseitiger Nachrüstung von Altanlagen)
- Förderung von (biogener) Mikro-KWK im MAP
- Förderung der Nachrüstung von Kompostierungsanlagen auf Vergärungsanlagen

1 Vorbemerkung

Angesichts eines zwar beachtlichen, aber dennoch begrenzten Potenzials an biogenen Reststoffen und an Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe kommt einer effizienten Nutzung von Biomasse eine hohe Priorität zu.

Im Rahmen des BMU-geförderten Forschungsprojektes „Energiebalance“ ist das Ziel eine Verzahnung von Erneuerbaren Energie-Systemen und Energieeffizienz. Eine konkrete Fragestellung taucht im Zusammenhang mit den Anpassungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes EEG auf: Welche Effizienz-Anforderungen müssen an Biomasse-Anlagen – oder allgemeiner: an Biomasse-Nutzungssysteme – gestellt werden, damit sie einen maximalen Minderungsbeitrag bezüglich erschöpflicher Energieressourcen und bezüglich der Emission von Treibhausgasen (THG) leisten können?

Dieses Thesenpapier fasst Berechnungen zusammen, die in Abstimmung mit dem Projekt „Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland“ durchgeführt wurden, und formuliert darauf aufbauend Vorschläge für eine modifizierte Vergütungsstruktur bzw. Zusatzanforderungen im Rahmen des EEG und einige weitere Vorschläge u. a. im Rahmen des MAP.¹

Dabei fokussiert dieses Papier auf die Klimateffizienzwirkungen (und damit zugleich auf den Verbrauch fossiler Energieressourcen). Anderweitige Vorschläge mit stärkerem Bezug zu weiteren umweltrelevanten, agrar-, forst- oder naturschutzfachlichen Fragestellungen werden hier nicht thematisiert (z. B. Gentechnisch veränderte Organismen, Stickstoffbilanz, Ammoniakemissionen, Eignungsflächen für die Ausbringung der Biogasgülle).

2 Effizienzvorgaben im EEG und Verbesserungsmöglichkeiten

Das EEG bzw. die Biomasse-Verordnung machen bereits gewisse Vorgaben bezüglich der Effizienz der eingesetzten Konversionsanlagen, beispielsweise:

- Die Vergütungshöhe der §8-Anlagen macht bereits eine Optimierung des Stromertrags durch Effizienzmaßnahmen wirtschaftlich.
- Mindestkriterien für den elektrischen Wirkungsgrad von Altholzanlagen in der BiomasseV
- Gewährung des KWK-Bonus mit Bezug auf §3 Abs. 4 des KWKG
- Gewährung des Technologiebonus für innovative, potenziell ressourcen- und klimaschonende Technologien
- Gewährung des Technologie-Bonus nur bei Anlagen, die auch in KWK betrieben werden

¹ Diese Vorschläge gingen ein in die Beratungen zum EEG-Erfahrungsbericht am 2.5.2007.

Die bisherige EEG-Bonusstruktur hat mit dem KWK-Bonus einen zusätzlichen und u. E. wirksamen Anreiz geschaffen, die ausgekoppelte Wärme auch zu nutzen. Im Vergleich zu vor dem Jahr 2000 realisierten Anlagen hat sich der Wirkungsgrad der Anlagen durch die schnellere Amortisation von Effizienz-Maßnahmen gesteigert (IE 2005:20).

Exkurs: Der Effizienzbegriff

„Effizient“ im klassischen technischen Verständnis bezieht sich auf den Quotienten von Endenergie (elektrisch, thermisch oder Kraftstoff) und Biomasse-Input (beispielsweise „9/5“ in Abbildung 1).² In einem erweiterten ökologischen Verständnis sollte die Endenergie aber auch auf die in Anspruch genommene Fläche oder auf die eingestrahlte Sonnenenergie bezogen werden. In einem solchen Effizienz-Verständnis gehen dann auch Prozessverluste bei der Ernte, nicht vollständig genutzte Pflanzenbestandteile, unterschiedliche Erträge etc. ein (Abbildung 1).

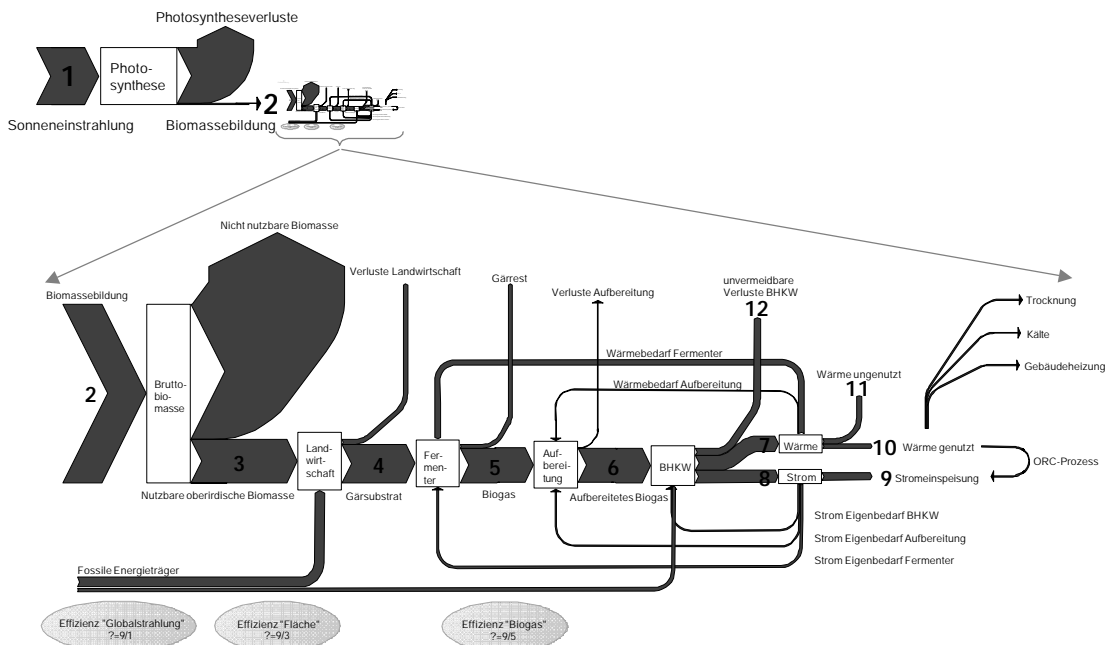


Abbildung 1: Schematisches Sankey-Diagramm der Biomasse-Nutzung am Beispiel einer Biogas-Anlage

Desweiteren muss der Begriff „Effizienz“ nicht nur auf die Energieströme bezogen sein (im Sinne eines „Nutzungsgrades“), sondern kann auch auf andere Umweltwirkungen bezogen werden, insbesondere auf die Minderungseffizienz bezüglich des Treibhauseffektes; in dieser erweiterten Interpretation wäre eine optimale Treibhausgas (THG)-Minderungseffizienz die netto, also unter Berücksichtigung anfallender Treibhausgase eingesparte Menge an THG pro Hektar, pro GJ Biogas oder anderer Bezugsgrößen.

Im Bereich der vom EEG geförderten Biomasse gibt es dennoch verschiedene Prozessschritte, die hinsichtlich ihrer Effizienz Optimierungsmöglichkeiten aufweisen:

² „Effizienz (v. lat.: efficere „bewirken“) ist das Verhältnis eines in definierter Qualität vorgegebenen Ziels zu dem Aufwand, der zur Erreichung dieses Ziels nötig ist.“ (Anonym. 2007)

- **Rohstoff-Einsatz**

Der eingesetzte Rohstoff geht in die gesamte Energie- und THG-Bilanz ein. Zum einen ist der Hilfsenergieaufwand für die Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe für Anbauverfahren, Ernte, Aufbereitung und Transport i. d. R. wesentlich höher als für die Bereitstellung von Reststoffen. Außerdem treten in der landwirtschaftlichen Prozesskette THG auf (insbesondere N_2O), die die THG-Effizienz wesentlich mindern. Bei der Produktion von Biogas aus Mais und anderer Anbaubiomasse ist zu berücksichtigen, dass die daraus produzierten Gärreste als potenzielle zusätzliche Methanquelle agieren können, während Gülle aus tierischen Exkrementen sowieso anfallen würde. Zudem unterscheiden sich die Bereitstellungspfade hinsichtlich des Anteils nutzbarer Biomasse (z. B. Ganzpflanzennutzung).

- **Anlagentechnik**

Auch im Bereich der Anlagentechnik unterscheiden sich die verschiedenen Biomasse-Nutzungskonzepte. Wichtige Parameter sind hier beispielsweise:

- elektrischer und thermischer Nutzungsgrad sowie die Stromkennzahl der Anlage
- Art und Höhe des Hilfsenergiebedarfs
- bei Biogas-Anlagen: Gärrestabdeckung, Silageverluste; Methanverluste der Gasstrecke, ggf. Energiebedarf und Methanschlupf bei der Aufbereitung

- **Wärmenutzung**

Neben dem thermischen Nutzungsgrad ($(10+11)/5$ in Abbildung 1) ist entscheidend für die Energie/THG-Bilanz, welcher Anteil ($10/(10+11)$) davon genutzt wird und welcher Anteil hiervon wiederum tatsächlich fossile Energiebereitstellung substituiert.

Insgesamt ist der Anteil der genutzten Wärme je nach Brennstoff und Kraftwerksgröße trotz der oben genannten Anreize immer noch außerordentlich gering. Der KWK-Bonus geht insgesamt nur an 12 % der Nutzer (mit zunehmender Tendenz) (IE 2006). Über die tatsächlich ausgekoppelte Wärme gibt es nur Schätzwerte. Zwar nutzt bei Biogasanlagen ein Großteil der Anlagenbetreiber (> 80 %) einen Teil der Wärme; der Anteil der genutzten Wärme schwankt allerdings zwischen 5 und 100 % der anfallenden Wärme (IE 2005). Fichtner schätzt, dass der Anteil der genutzten Abwärme, gemittelt über den gesamten Anlagenbestand, bei fester Biomasse zwischen 15 und 25 % beträgt, bei Biogas 5 bis 10 % und bei Pflanzenöl 20 bis 25 % (Jahraus 2007). Gerade auch bei großen Holzheizkraftwerken gibt es Beispiele ohne jegliche Wärmenutzung. Zudem kommt es zum Missbrauch dieses Bonus sowie zu Einsatzfällen, deren ökologische Sinnhaftigkeit in Frage gestellt werden muss.

Verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich der Wärmenutzung bieten sich an:

- ein verstärkter Ausbau von Nahwärmenetzen (vgl. Anteil Nah-/Fernwärme in Dänemark 46 % des Raumwärmebedarfs für Haushalt und Dienstleistungen)

- ORC- oder Kalina-Anlagen, die einen Teil der Abwärme zusätzlich verstromen
- Technologien mit höherer Stromkennzahl, beispielsweise Brennstoffzellen
- Absorptions-Kältemaschinen
- verschiedene Varianten von Trocknungsverfahren
- Kopplung mit landwirtschaftlichen Produktionsverfahren (z. B. Hygienisierung, Pasteurisierung, Eindampfanlagen, Verpackungsmittelproduktion, Waschen, Brennerei)
- Wärmespeicherung zur besseren Synchronisation von Wärmeerzeugung und -bedarf
- (Mikro-)Biogasnetze, die das Biogas zu Wärmesenken transportieren und dort eine KWK-Nutzung ermöglichen
- Einspeisung in das Erdgasnetz und dito.

Zugleich stehen dem Probleme bei der Erschließung zusätzlicher Wärmesenken entgegen, beispielsweise:

- Kein KWK-Bonus für Altanlagen
- Räumliche Disparität Wärmequelle/Wärmesenke
- Zeitliche Disparität Wärmequelle/Wärmesenke
- Informationsdefizite
- Zu geringer finanzieller Anreiz

3 Wichtige Einflussparameter auf die THG-Bilanz bei Biogas und Holz

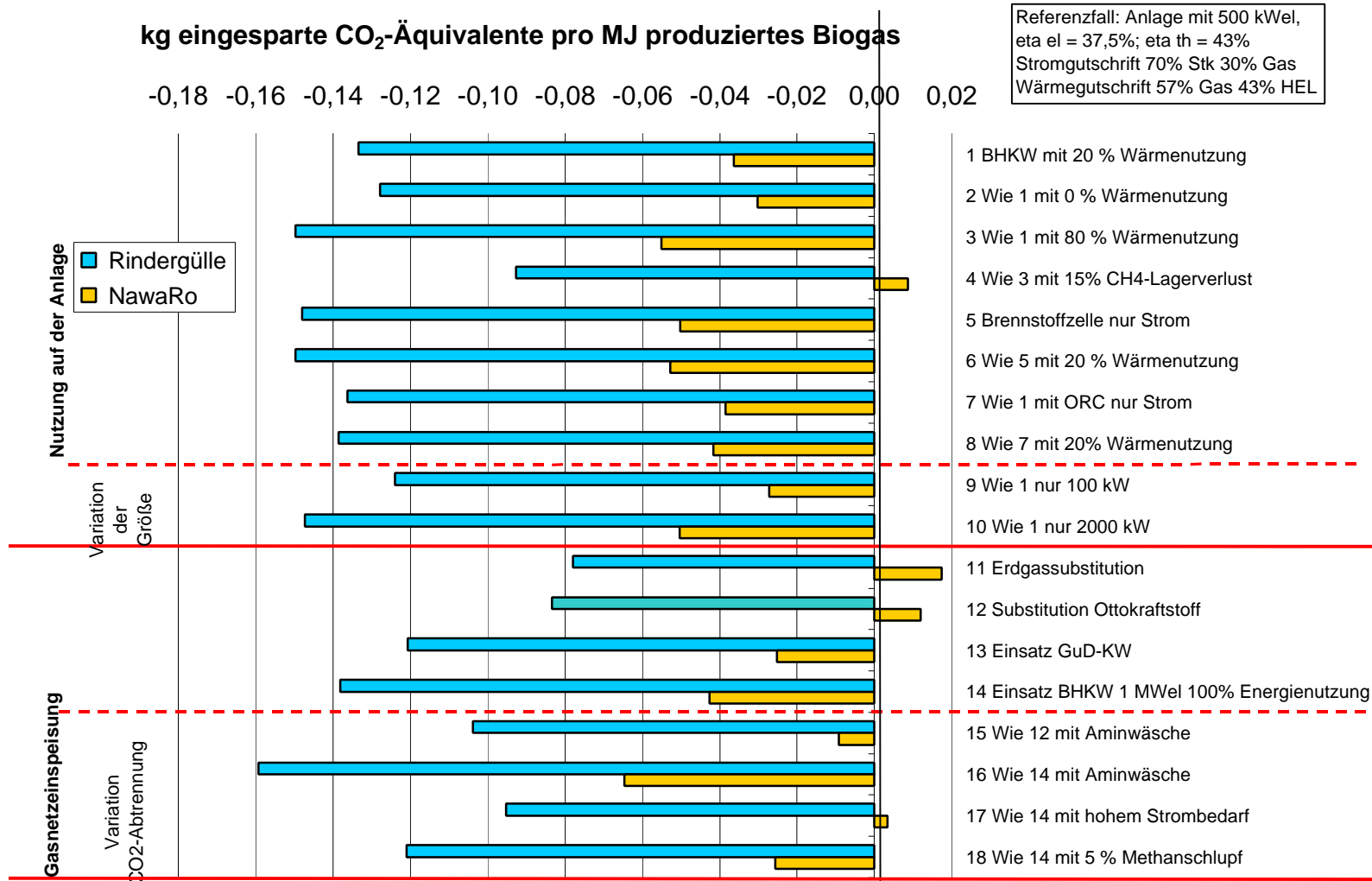
Um die wesentlichen Stellschrauben für eine gesteigerte Energie- und Klimateffizienz zu identifizieren und die oben geschilderten Optionen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit zu bewerten, wurden eine Reihe von Treibhausgasbilanzen mit Ökobilanz-Methodik erstellt. Die wesentlichen zu Grunde liegenden Annahmen sind im Anhang (Kapitel 6) dokumentiert.

3.1 Biogas

Treibhausgas (THG)- Entlastungen

Die wesentliche THG-Entlastung ergibt sich aus den substituierten Strommengen und – nur bei Gülle-Anlagen – aus den vermiedenen Emissionen der Rohgülle. Allerdings spielt die Wärmenutzung ebenfalls eine wesentliche Rolle bei der Gesamtentlastung an THG.

Abbildung 2: Nettoentlastung des Treibhauseffektes durch Biogasnutzung mit Gülle- und NawaRo-Anlagen (Annahmen siehe Anhang)



Bereits ohne Wärmenutzung kann mit einem MJ produziertem Biogas über 125 g THG in einer Rindergülle-Anlage vermieden werden (Fall 2 in Abbildung 2). Dieser Wert steigert sich bei nahezu vollständiger Wärmenutzung (Fall 3) auf 150 g THG. Dies ist eine relevante, allerdings nicht ergebnisentscheidende Steigerung. Der vergleichsweise kleinere Beitrag der Wärmesubstitution an den gesamten THG-Minderungen hat zum einen mit dem Wärmeeigenbedarf der Anlage zu tun (nur 70 (Gülle) bzw. 80 % (Nawaro) der produzierten Wärme stehen für externe Anwendungen zur Verfügung) sowie mit dem deutlich niedrigeren THG-Faktor der konventionellen Wärmebereitstellung im Vergleich zur Stromerzeugung.³

Bei Rindergülle stehen den Emissionen der Lagerung und der Ausbringung die durch die Vergärung vermiedenen Emissionen der Rohgülle gegenüber. Dies ist für Fall 3 in Abbildung 3 aufgeschlüsselt. Die THG-Minderung durch vermiedene Rohgülle-Emissionen ist dabei in etwa in derselben Größenordnung wie die THG-Einsparung durch Strom- und Wärmesubstitution. Dabei wurden die Methanemissionen aus der Lagerung von Rohgülle, die rd. 80 % der vermiedenen Emissionen bedingen, nach BMVEL/UBA 2002 (S.151) berechnet; die Unsicherheit dieser vermiedenen Emissionen ist hoch; es kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese überschätzt sind.⁴

Bei der Bewertung der Bedeutung zusätzlicher Wärmenutzung ist außerdem zu berücksichtigen, dass die in Abbildung 2 gezeigten Ergebnisse für Gülle-Anlagen auf Berechnungen für Rindergülle beruhen. Andere Güllesorten führen zu anderen Methangutschriften (siehe Anhang Kapitel 6); die Verwendung von Festmist beispielsweise bekommt eine wesentlich niedrigere Gutschrift für das unvergorene Substrat. Damit relativiert sich die Höhe der erzielbaren Roh-Substrat-Gutschrift.

Bei Nawaro-Anlagen ist erkennbar (vergleiche Fall 3 mit 2), dass die Wärmenutzung die THG-Einsparung nahezu verdoppeln kann.

³ Die Wärmenutzung wird hier allerdings mit einem Mix an Gas- und Ölbrennern berechnet. Im ländlichen Raum kann es angebracht sein, diese Wärmegutschrift zu variieren. Bei einem hohen Ölanteil beispielsweise fällt die Wärmegutschrift größer aus.

⁴ Zu den detaillierten Annahmen siehe Anhang Kapitel 6.

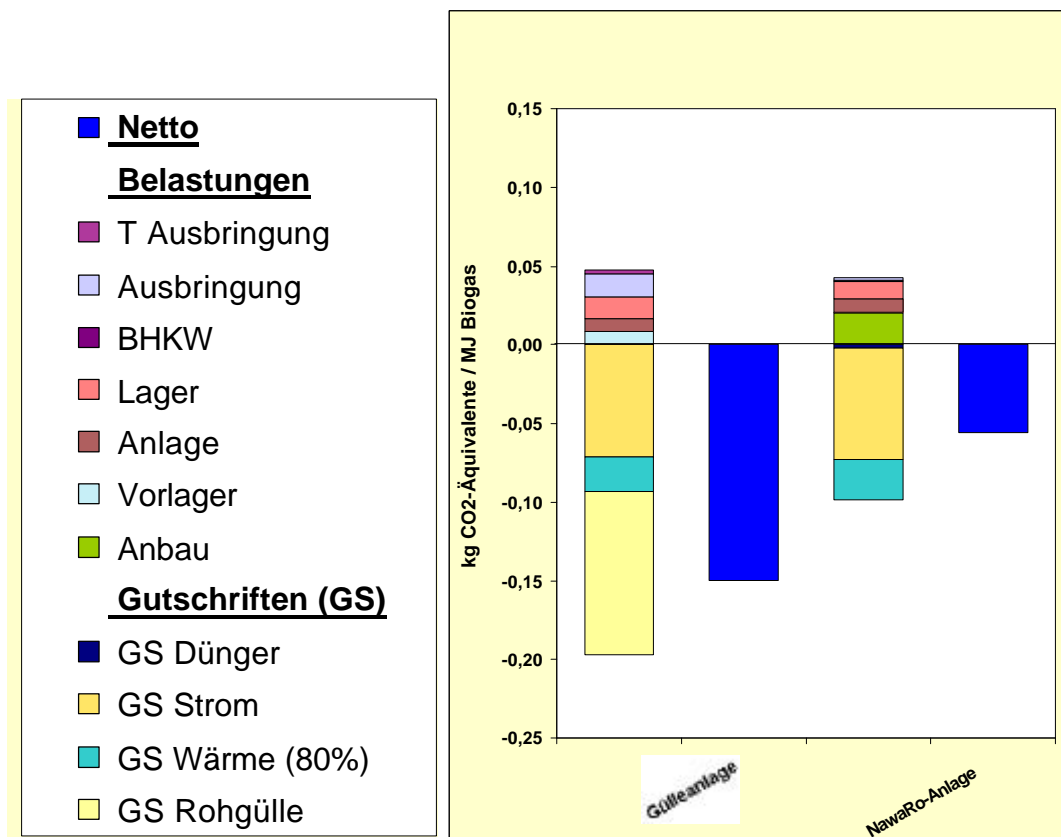


Abbildung 3: Übersicht THG-Emissionen aus der Bereitstellung und Nutzung von Biogas aus Rindergülle oder aus NawaRo für eine "500 kW_{el} Anlage" bei 80 % Wärmenutzung (entsprechend Fall 3 in Abbildung 3)

Daraus ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

(Schlussfolgerung 1) Der Bau von Biogas-Anlagen sollte insgesamt, unter Beachtung bestimmter Mindestanforderungen, vorgebracht werden, selbst wenn keine optimalen Rahmenbedingungen z. B. bezüglich der Wärmesenken gegeben sind.

(Schlussfolgerung 2) Die Erschließung der Güllepotenziale sollte besonders gefördert werden, da sie eine doppelte Dividende versprechen: vermiedene Methanemissionen der Rohgülle und Strom/Wärmesubstitution.

(Schlussfolgerung 3) Die Erschließung der produzierten Wärme sollte verstärkt angereizt werden. Eine KWK-Pflicht ist allerdings nicht sinnvoll.

Methanverluste der Lagerung von Gärresten (vergleiche Fall 4 mit 3)

Bei der offenen Lagerung von Gärrest können signifikante Restgasemissionen von Methan auftreten. Deren Höhe korreliert mit der vorangegangenen Verweilzeit im Fermenter; je kürzer die Verweilzeit, desto höher das Restgaspotenzial und damit die potenziellen Methanemissionen aus der Gärrestlagerung. Die Bandbreite für Restgasemissionen liegt bei etwa 2,5% - 15% der insgesamt produzierten Biogas-Methanmenge.

Legt man den oberen Wert dieser Bandbreite zu Grunde, so würde sich bei Nawaro-Anlagen sogar eine zusätzliche THG-Belastung ergeben.

(Schlussfolgerung 4) Mindestanforderungen an die Lagerverluste sind aus Klimasicht wesentlich und müssen entweder im Rahmen des Immissionsschutzes oder der EEG-Anforderungen festgelegt sein.

Biogas-Aufbereitung auf Erdgasqualität (vergleiche Fälle 11-14 mit 1-8)

Wird Biogas zusätzlich auf Erdgasqualität aufbereitet und in das Gasnetz eingespeist, so entstehen zusätzliche Umweltwirkungen: zum einen ein Methanschluß, zum anderen ein zusätzlicher Strombedarf für die Gasaufbereitung (Abbildung 4).

Bisherige Werte für Methanverluste nach Herstellerangaben lagen bei bis zu 5% Methan bezogen auf die eingesetzte Methanmenge ("Max"). Aktuell werden Werte von etwa 2% Methanverlusten garantiert ("Min"), für Verfahren mit Aminwäsche kann davon ausgegangen werden, dass Verluste <0,1% garantiert werden ("Amin") (Angebote zur Bestätigung sind angefragt). Nach älteren Literaturangaben beträgt der Strombedarf für die CO₂-Abtrennung etwa 0,5 kWh/m³ Rohgas ("Strom Aufbereitung Min"), als oberer Wert fand sich etwa 2 kWh/m³ Rohgas ("Strom Aufbereitung Max"). Für die Aminwäsche ergibt sich aus älteren Literaturangaben ein Strombedarf von 0,1 kWh/m³ Rohgas und ein Wärmebedarf von etwa 0,077 kWh/m³ Rohgas (mit der Annahme installierter Wärmetauscher mit einem Wirkungsgrad von 90%). Aktuelle Daten für den Energiebedarf der CO₂-Abtrennungsverfahren liegen noch nicht vor, diese wurden mit den Angebotsaufforderungen abgefragt.

Damit ergeben sich insgesamt die in Abbildung 4 gezeigten THG-Emissionen für die Aufwendungen.

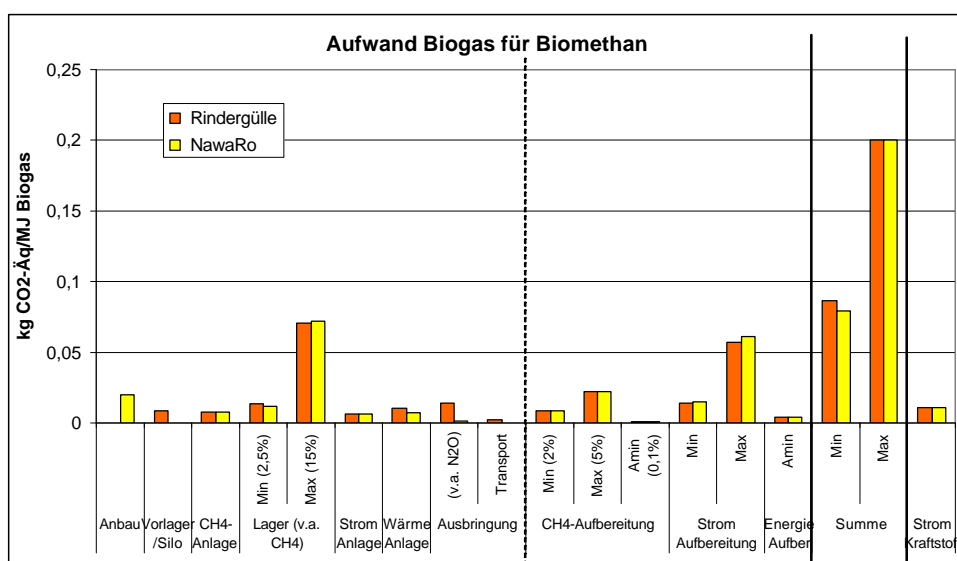


Abbildung 4: Übersicht THG-Emissionen (inkl. Bandbreiten) aus der Bereitstellung von Biomethan aus Rindergülle oder aus NawaRo für eine "500 kW_{el} Anlage"

Berücksichtigt man zusätzlich die Gutschriften durch die produzierten Güter, wird die höchste Entlastung bei Einsatz des Biomethans in einem zentralen BHKW (1 MW_{el}, eta el 40%, eta th 43%) mit 100% Strom- und Wärmenutzung erreicht (Abbildung 2, Fall 14).

Unter den gegebenen Randbedingungen kann der Einsatz von Biomethan aus NawaRo als Kraftstoff auch unter den jeweils als minimal angenommenen Verlusten und Aufwendungen nicht die entstehenden Lasten durch die Gutschrift für die Benzinsubstitution kompensieren (vgl. Abbildung 2, Fall 12), selbst dann nicht, wenn Erdgas bzw. Biomethan die gleiche Leistung erbringen würde wie Benzin. Eine Kompensierung wäre nur möglich, wenn als Aufbereitungsverfahren zur CO₂-Abtrennung die Aminwäsche eingesetzt würde (vgl. Fall 15 Abb. 4), vorausgesetzt die Daten zu Verlusten und Energieaufwand bestätigen sich.⁵ Die Fälle 15 bis 18 belegen, dass die THG-Minderungswirkung wesentlich vom Gasaufbereitungskonzept abhängt, dass aber bei optimierten Systemen die Gaseinspeisung durchaus eine hohe Attraktivität aufweist.

(Schlussfolgerung 5) Die Gasnetzeinspeisung von Biogas sollte zwingend mit Mindestanforderungen vor allem an den Strom/Endenergiebedarf verknüpft sein, zusätzlich an einen maximalen Methanschlupf und eine regenerative Deckung des Wärme-Eigenbedarfs.

(Schlussfolgerung 6) Die Einrichtung von Mikrobiogasnetzen sollte ebenfalls gefördert werden, da hier kein/kaum Methanschlupf auftritt, der Strombedarf für den Kompressor deutlich niedriger liegt und außerdem die Wertschöpfung aus der Energiebereitstellung bei den Landwirten verbleibt.

Ökolandbau versus konventionellen Landbau

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen im Ökolandbau führt im Saldo zu geringeren THG-Emissionen als der konventionelle Anbau. Zwar sind die Aufwendungen z. B. an fossiler Energie für den Maschineneinsatz auf Grund der geringeren Erträge höher; die eingesparten THG durch die Einsparung von Kunstdünger und anderen Einsatzstoffen überwiegen aber in der Bilanz. Allerdings werden bestimmte Energiepflanzen, beispielsweise Mais, nicht im Ökolandbau angebaut.

Gleichzeitig wird aus Abbildung 3 deutlich, dass der THG-Reduktionseffekt des Anbaus selbst bei Mais (grüner Staffebalken bei „Nawaro-Anlage“) keine dominierende Rolle in der Bilanz spielt, die Minderungspotenziale aus Klimasicht daher begrenzt sind.

⁵ Nach derzeitigem Diskussionsstand ist vorgesehen, die Quotenerfüllung für Biokraftstoffe an ihre THG-Minderungswirkung zu koppeln, die in konkreten Zahlen in die Nachhaltigkeitsverordnung eingehen. Mit den hier ermittelten Zahlen könnte danach Biomethan als Kraftstoff nur dann zur Quotenerfüllung beitragen, wenn die Aminwäsche als Aufbereitungsverfahren eingesetzt wird.

3.2 Feste Biomasse

Abbildung 5 zeigt eine analoge Betrachtung für die Energiebereitstellung aus fester Biomasse (Bsp. Holz).

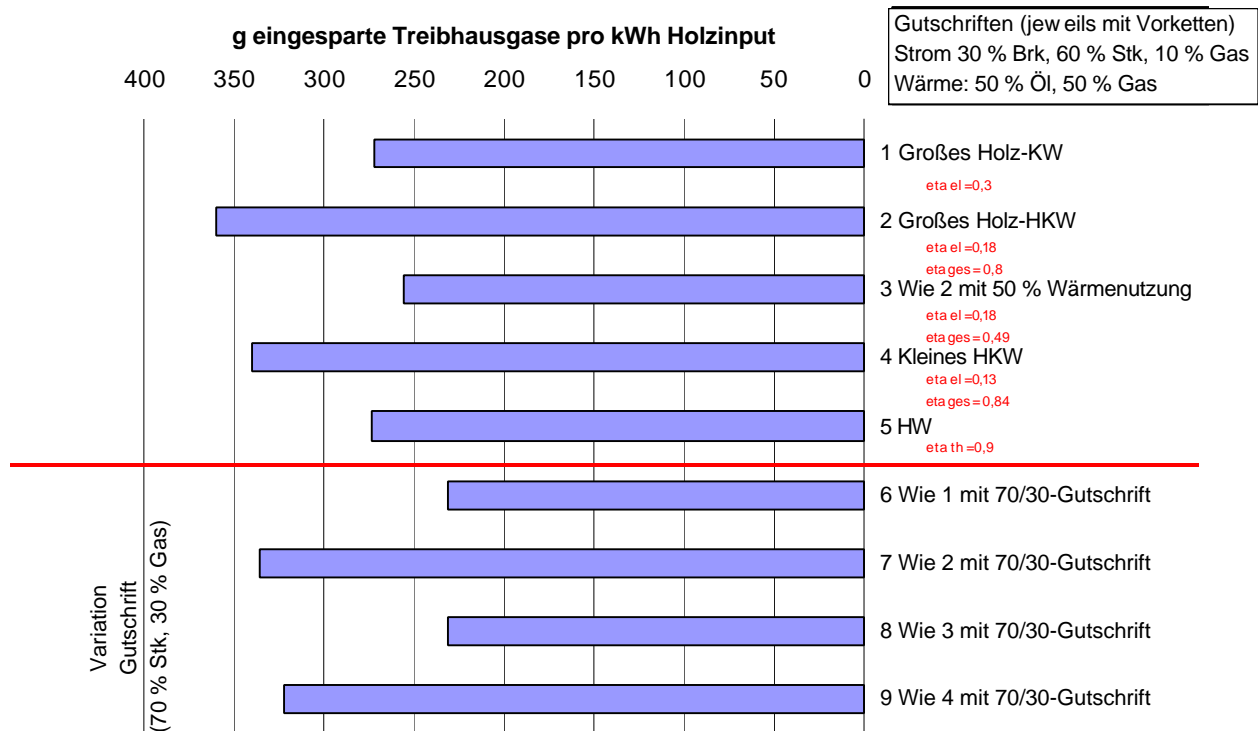


Abbildung 5: Nettoentlastung des Treibhauseffektes durch Holznutzung (70/30-Gutschrift: 70 % Steinkohle, 30 % Erdgas)

Abbildung 5 zeigt, dass bei vollständiger Wärmenutzung KWK-Anlagen besser abschneiden als ein großes Holz-KW im Kondensationsbetrieb oder ein reines Heizkraftwerk. Sobald aber nur ein Anteil der Wärme genutzt werden kann, sinkt dieser Vorteil und kann sich umkehren. Dies hängt damit zusammen, dass sich im Unterschied zu Biogas-Anlagen (bei Ottomotoren hat eine zusätzliche Wärmenutzung keine Minderung des elektrischen Nutzungsgrads zur Folge) bei Holz-HKWs der fallende Wirkungsgrad bei steigender Wärmeauskopplung bemerkbar macht. Dieser Effekt tritt bei Biogas-BHKW nicht auf.

Abbildung 5 zeigt auch, wie sensitiv die Ergebnisse auf die gewählte Gutschrift reagieren. In den Fällen 6-9 wurde statt einer Gutschrift eine 60/20/10-Mixes wie auch bei Biogas Steinkohle und Gas (70/30) gutgeschrieben. Damit werden die Unterschiede zwischen Holz-KW und Holz-HKW zugunsten von letzterem kleiner, während das Heizwerk nun seinen leichten Vorteil gegenüber dem reinen Kondensationskraftwerk etwas ausbaut.

Mit diesen Ergebnissen im Hintergrund **erscheint eine allgemeine KWK-Pflicht nicht zielführend**, da auch reine Kondensationskraftwerke nicht übermäßig negativ abschneiden. Eine maximale Wärmeausbeute sollte vielmehr mittels KWK-Bonus angereizt werden.

Es gelten analog die Schlussfolgerungen (1) und (3) auch für feste Biomasse.

4 Konkrete Modifikationsvorschläge

4.1 Vorbemerkung

Verschiedene Änderungsoptionen im EEG wurden angedacht und können ggf. noch genauer untersucht werden, wurden allerdings in einem ersten Screening verworfen, beispielsweise:

- Mindest-Anforderungen an Exergie (beispielsweise exergetischer Mindest-Wirkungsgrad $> x \%$ ⁶)
- Mindest-Anforderungen an primärenergetisch gewichteten Wirkungsgrad (analog zur EU Waste Directive)⁷
- KWK-Pflicht⁸
- Gestaffelter „Klimabonus“, je nach prozentualer Einsparung gegenüber einer Standardanlage (beispielsweise die Referenzfälle im EEG-Erfahrungsbericht) (z. B. 2 Ct/kWh bei 20 % Einsparung gegenüber Standardanlage, 3 Ct/kWh bei 35 % und 4 Ct/kWh bei 50 %)⁹

Im Folgenden werden die verbliebenen Modifikationsvorschläge vorgestellt.

Ansatzpunkt der Modifikationsvorschläge insgesamt ist eine Beibehaltung der Vergütungsstruktur, aber Verschiebung der Höhe und Gewährungskriterien für Grundvergütung und Bonus. Dabei findet vor allem der Beitrag der Anlage zum Klimaschutz und die Kompatibilität mit Erfordernissen des Natur- und Landschaftsschutzes Berücksichtigung.

⁶ Der exergetische Wirkungsgrad könnte vereinfacht berechnet werden als: $E_{\text{Strom}} + \text{Carnotfaktor} * E_{\text{Wärme}} / \text{Heiz (oder Brenn-) wert des zugeführten Biogases}$, wobei der Carnotfaktor das Temperaturniveau der ausgekoppelten Wärme berücksichtigt. Er liegt bei rund 0,17 für typische Wärmenetze (Vor-/Rücklauf-temp.).

⁷ Dort wird in der Definition von „Energieeffizienz“ Strom mit 2,6 und Wärme mit 1,1 gewichtet gemäß durchschnittlicher primärenergetischer Verluste bei der Bereitstellung derselben.

⁸ Eine allgemeine KWK-Pflicht wird von den Autoren nicht befürwortet, da sie nicht nur schwer definierbar ist, sondern auch Standortentscheidungen vorprägt. Zudem geht der vornehmliche Klimaschutzimpuls von EEG-Anlagen von der Stromerzeugung aus (Substitution v. a. von Strom aus Steinkohle- und Gaskraftwerken). Die zusätzliche Wärmenutzung ist stark erwünscht – und sollte mit entsprechenden Maßnahmen angereizt werden (siehe Abbildung 5) -, aber nicht klimaschutzentscheidend.

⁹ Dieser Vorschlag wurde vor allem fallengelassen, weil der KWK-Bonus eine mit der KWK-Stromproduktion lineare Steigerung der Vergütung erlaubt und somit ein „kontinuierlicher“ Anreiz zur Steigerung der Wärmeauskopplung gegeben wird, anders als bei einer Klimastaffelung. Vorteil dieses Ansatzes wäre, dass auch andere klimaschonende Maßnahmen aufgenommen werden könnten.

4.2 Verschiebung der ersten Vergütungskategorie auf Anlagen < 75 kW mit erhöhtem Vergütungssatz

Vorteile:

- Die Erhöhung der Vergütung wird zu einer besseren Gülleerschließung beitragen, da gerade in kleinen Anlagen kostenfrei verfügbare Güllepotenziale erschlossen werden können. Damit ist auch eine Emissionsminderung verbunden, weil insbesondere die Lagerung von unvergorener Gülle mit höheren Methan-Emissionen verbunden ist.
- Tendenziell bessere Wärmenutzung wegen höherer anteiliger Bedeutung der Wärmesenken (Wohngebäude im Hof etc.)
- Bessere Biogaserschließung in kleinräumig strukturierter Landwirtschaft (Süddeutschland, Ökolandbau; bei letzterem ohne Zukauf konventioneller Rohstoffe)
- Erwünschter Nebeneffekt: auch für biogene Mikro-KWK ergibt sich hierdurch eine Erhöhung der Vergütung (siehe Kapitel 4.10)

Nachteile:

- Suboptimale (zu kleine) Anlagenauslegung, damit zusammenhängend die Nachteile kleinerer Anlagen (geringerer Stromwirkungsgrad, ggf. höherer Wärmeeigenbedarf und mehr Methanverluste durch einfachere technische Ausführung (Dichtigkeit und offene Gärrestlager))

Im Saldo gehen wir aber dennoch davon aus, dass die Vorteile die Nachteile überwiegen und es (beispielsweise in Norddeutschland) nicht zu einer Fehlauslegung von Anlagen kommt, weil die Economies of Scale die Staffelung der Vergütungssätze überkompensieren und es deshalb nach wie vor günstiger sein wird, größere Anlagen zu bauen.

Bezüglich der Treibhausgas-Bilanz kleiner versus großer Anlagen ist der Effekt nicht so ausgeprägt (siehe Fall 9 versus 1 in Abbildung 2) und spiegelt i. w. die unterschiedlichen elektrischen Wirkungsgrade der Anlage wider, da der Stromeigenbedarf nach dem FNR-Messprogramm nicht signifikant variiert und der Wärmeeigenbedarf insgesamt sehr stark streut (Tendenz allerdings Abnahme des Eigenbedarfs mit steigender Größe). Berücksichtigt wird in Abbildung 2 der bei Gülle gegenüber NawaRo höhere Wärmeeigenbedarf.

4.3 Erhöhung des KWK-Bonus, ggf. Senkung der Grundvergütung, Mindestkriterien/Nachweis der Wärmenutzung

Dieser Vorschlag zielt auf eine Erhöhung der Attraktivität der Wärmeauskopplung ab. Der KWK-Bonus sollte angehoben werden (z. B. um 1 Ct/kWh). Sollte insgesamt eine solche Erhöhung nur realisierbar sein bei einer Aufkommensneutralität der Gesamtänderungen, so sollte die Grundvergütung asymmetrisch abgesenkt werden

(beispielsweise um 0,5 Ct/kWh für alle Anlagen), um zu vermeiden, dass Anlagen auf Grund dieser Modifikation gar nicht gebaut werden können.

Um die missbräuchliche Inanspruchnahme des KWK-Bonus zu verhindern, werden zusätzlich folgende Modifikationen vorgeschlagen:

- Eine **Positiv-/Negativliste** weist ausdrücklich anerkannte und nicht anerkannte Wärmenutzungen aus.
- Ausdrücklich ausgeschlossen werden auf dieser Liste folgende Wärmenutzungen:
 - o Gärresttrocknung (keine belegten ökologischen Vorteile gegenüber direkter Feldausbringung; lange Transportdistanzen sollten grundsätzlich vermieden werden)
 - o Wärmespeicher ohne Nutzungsnachweis (s. u.)
 - o Beheizung von Wirtschaftsgebäuden (außer bei Nachweis der Notwendigkeit z. B. durch Nachweis einer vorherigen fossilen Beheizung, s.u.)
 - o Beheizung von Prozessschritten der Biogasanlage (beispielsweise Fermenter und Hygienisierung). Auf diese Weise kann auch der „künstliche“ Überkreuz-Verkauf von Wärme an eine benachbarte Biogasanlage ausgeschlossen werden.
- Ausdrücklich aufgenommen werden
 - o die Einspeisung in ein Nah-/Fernwärmenetz unter bestimmten Bedingungen und
 - o die Beheizung von Gebäuden im Geltungsbereich von §1 EnEV.
- Bei Wärmenutzungen, die nicht auf der Liste stehen, ist die **Gleichwertigkeit** bezüglich der Klima- und Ressourcenschonung nachzuweisen.
- Zur Bestimmung der Höhe des KWK-Bonus ist dem Netzbetreiber der **Nachweis** vorzulegen, dass durch die KWK-Wärme Energie einspart wird. Dazu sind der Einsatzzweck und die vormalige Nutzung von Energieträgern z. B. durch Vorlage von früheren Rechnungen (über z. B. mind. 2 Jahre) nachzuweisen. Handelt es sich bei den substituierten Energieträgern um regenerative Energieträger, so ist plausibel zu machen, dass diese durch den zusätzlichen Einsatz der KWK-Wärme nun effizienter genutzt werden (z. B. bei Umwandlung eines Holz-Heizwerkes in ein Holz-Heizkraftwerk) oder für andere Anwendungen zur Verfügung stehen. Alternativ kann, beispielsweise bei der erstmaligen Beheizungen von Neubauten, ein zertifizierter Energieberater die „virtuelle Substitution“ von fossiler Energie in der entsprechenden Höhe bestätigen.
- Für **kleine Anlagen** < 2 MW_{el}, die nach §8 Abs. 3 mit geeigneten Unterlagen des Herstellers den KWK-Bonus abrechnen können, ist die Forderung eines

Mindestgesamtwirkungsgrades zu fordern, um zu vermeiden, dass durch eine anlagentechnisch bedingte niedrigere Wärmeauskopplung der Anteil des KWK-Stroms hochgerechnet wird.

4.4 Modifikation des Technologiebonus (verstärkte Berücksichtigung von Netzen)

Der Technologiebonus in seiner jetzigen Form ist nur von untergeordneter Bedeutung. Lediglich 2 % der Anlagen nutzen ihn, überwiegend für Trockenfermentation (IE 2006).

- Trockenfermentation sollte nicht mehr als Innovation gefördert werden, da vielfach nur die Prozessführung bestehender Technik angepasst wird und keine ökologischen Vorteile gegenüber der Nassfermentation nachgewiesen werden konnten.
- Die anderen in §8 Abs. 4 genannten Innovationen sollten weiterhin gefördert werden.
- ORC-Anlagen bestehen bisher nur sehr vereinzelt. Für Wärmesenken-ferne Anlagen können ORC-Anlagen einen Beitrag zur Erhöhung des Stromertrags leisten. Je nach Anlagenkonzept und Temperaturniveau der genutzten Abwärme ist ihr Stromertrag allerdings begrenzt. Um zu vermeiden, dass ein Fehlanreiz zum Bau niedereffizienter ORC-Anlagen besteht, wird vorgeschlagen, nicht die komplette in ORC- (und Mehrstoffgemisch-) Anlagen genutzte Wärme, sondern lediglich **das 2,7-fache des Stromertrags als KWK-Wärme anzuerkennen**. Dies entspricht der primärenergetisch (und klima-) bewerteten Substitutionswirkung zusätzlicher Stromerzeugung.

Da bei der **Aufbereitung von Biogas** auf Erdgasqualität zusätzlicher Energiebedarf und Methanemissionen entstehen (siehe Kapitel 3.1), wird empfohlen, zusätzlich reine Biogasnetze in den Bonus aufzunehmen sowie Zusatzerfordernungen an die Biogas-Aufbereitung zu formulieren.

Voraussetzung für die Gewährung des Bonus' für Anlagen mit **Mikro-Biogasnetz** sollten sein:

(1) Die **Prozesswärme (z. B. Fermenterwärme) wird vor Ort regenerativ bereitgestellt**. Damit ergibt sich ein gewisser Spielraum, ob sie beispielsweise mit einem Biogas-Teilstrom in einem Brenner, mit einem zweiten BHKW oder mit Holzhackschnitzel-Feuerungen o.ä. bereitgestellt wird. Angesichts der saisonalen Unterschiede (im Sommer muss der Fermenter mitunter gar nicht beheizt werden) ist ein zweites BHKW nicht in allen Fällen die beste Option.

(2) Das Mikro-Biogasnetz ist **mindestens 500 [1000] Meter** lang.

(3) Das durch das Mikro-Biogasnetz geleitete Biogas wird in **KWK mit einer vollständigen Wärmenutzung** genutzt. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn die Wärme in ein Nahwärmenetz eingespeist wird.

(4) **Mindestens 50 Prozent** des produzierten Biogases wird durch das Gasnetz geleitet. [diskutieren, ob diese Forderung notwendig ist]

Voraussetzung für die Gewährung des Bonus für die Gasnetzeinspeisung sollten sein:

(1) ein **maximaler Methanschlupf** von xx % [Vorschlag: 1,5] und ein **maximaler parasitärer Stromverbrauch** von xx kWh/Nm³ [Vorschlag 0,5 kWh/Nm³ Rohgas].

(2) Der **KWK-Bonus** wird gewährt.

(3) Die **Prozesswärme (z. B. Fermenterwärme) wird vor Ort regenerativ bereitgestellt**. Damit soll ausgeschlossen werden, dass eine allfällig erforderliche Prozesswärme (etwa bei der Aminwäsche) beispielsweise mit Heizöl oder Erdgas gedeckt wird, damit eine maximale Menge Biogas eingespeist wird.

4.5 KWK-Bonus und Netzbonus auch für Altanlagen

Eine Ausweitung des KWK-Bonus auch auf Altanlagen, die mit zusätzlicher Wärmenutzung nachgerüstet werden, mit den oben beschriebenen Mindestkriterien/Nachweisanforderungen würde zu einer beträchtlichen Steigerung des KWK-Anteils beitragen, da eine Nachrüstung vielfach möglich ist.

4.6 Ökologische Qualifizierung des Nawaro-Bonus

Das Ziel aus Klimaschutzsicht muss eine optimale Erschließung der Gülle- und Reststoffpotenziale sein, da diese mit den geringsten THG-Emissionen verbunden ist.

Im Rahmen der EEG-Diskussion werden bezüglich der Anpassung des Nawaro-Bonus verschiedene Diskussionsstränge verfolgt, die neben der prinzipiellen Sinnhaftigkeit auch die Umsetzungsmöglichkeit und Relevanz einer zusätzlichen Binnendifferenzierung des Nawaro-Bonus in den Blickpunkt nimmt (beispielsweise maximale Fruchtanteile, ökobilanzielle Beurteilung verschiedener Substrate, Differenzierung nach Landschaftspflegereesten (Grünschnitt) oder Ökolandbau).

Diese Diskussion wird zwar auch im Rahmen des Projektes „Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland“ geführt, aber an dieser Stelle nicht verfolgt.

4.7 Gasdichte Gärrestabdeckung mit Restgasnutzung

Als Minderungsmaßnahmen für die Methanverluste aus den Gärrestlagern kommen hier vorgeschriebene Mindestverweilzeiten oder eine gasdichte Abdeckung der Gärrestlager mit Restgasnutzung in Frage oder eine Kombination der beiden Anforderungen. Grundsätzlich könnte die Minderungsanforderung nach Substratart

unterschieden werden: Bei der Vergärung von Gülle ergeben sich aus der Gärrestlagerung gegenüber der Lagerung unvergorener Gülle tendenziell geringere Methanemissionen, so dass die Vergärung einer Minderungsmaßnahme gleichkommt. Dagegen stellt die Gärrestlagerung aller sonstigen Substrate eine neue Emissionsquelle dar.

Dennoch ist angesichts des Restgaspotenzials zur Erhöhung der THG-Effizienz eine grundsätzliche Anforderung an eine umfassendere Nutzung des Gaspotenzials dringend empfohlen. Als praktikable Maßnahme wird die Vorgabe einer gasdichten Abdeckung mit Restgasnutzung empfohlen, die als Nebeneffekt auch eine sehr effektive Minderungsmaßnahme für weitere Emissionen wie z.B. Ammoniak darstellt.

Die zusätzlichen Kosten für die gasdichte Abdeckung können durch die Restgasnutzung weitgehend kompensiert werden. Bei einem Restgaspotenzial von 10% können die Kosten unter den derzeitigen Randbedingungen auch bei Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 150 kW überkompensiert werden. Um jedoch für kleinere Anlagen und zur weiteren Erschließung von Gülle kein neues wirtschaftliches Hemmnis zu kreieren, könnten Anlagen unterhalb einer bestimmten Anlagengröße (z.B. $< 75 \text{ kW}_{\text{el}}$) von einer verpflichtenden Vorgabe der gasdichten Abdeckung mit Restgasnutzung ausgenommen werden.

Für die Grundanforderung einer gasdichten Gärrestabdeckung mit Restgasnutzung für alle Biogasanlagen ab einer bestimmten Anlagengröße ($> 75 \text{ kW}_{\text{el}}$) ist in erster Linie die Umsetzung im Rahmen des Immissionsschutzes („Stand der Technik“) sinnvoll. Diese dürfte allerdings nicht zeitnah machbar sein, insofern wird empfohlen, die gasdichte Gärrestabdeckung mit Restgasnutzung als Grundanforderung an die Vergütung von Biogasanlagen mit aufzunehmen.

4.8 KWK-Bonus und Netzbonus auch bei Klärgas, Deponiegas, Grubengas

Nach einer Befragung von Herstellern in diesem Marktsegment gäbe es auch bei § 7 EEG-Anlagen hin und wieder Möglichkeiten der Wärmeauskopplung, die aber oftmals nicht erschlossen werden. Aus systematischer Sicht ist daher auch für diese Anlagen ein KWK- und Netz-Bonus vorzusehen (KWK-Bonus aber bei ca. 2 Ct/kWh belassen).

Für Altanlagen gilt entsprechend Kapitel 4.5, dass eine Nachrüstung mit einer zusätzlichen Wärmenutzung der KWK-Bonus gewährt werden kann.

4.9 Nachrüstungsförderung für Kompostierungsanlagen auf Biogas z. B. im Rahmen des MAP

Mit der Nachrüstung von Bioabfall-Kompostierungsanlagen um eine Vergärungsstufe mit anschließender Biogasnutzung könnte ein erhebliches zusätzliches THG-Minderungspotenzial erschlossen werden. Mit einer solchen Umstellung könnte einer Minderung zwischen 200 (Pehnt 2002) und, bei optimaler Vergärung und

Wärmenutzung (Maximalpotenzial), 500 kg eingesparte THG (Knappe et al. 2006) pro Tonne Bioabfall erschlossen werden.

Von den in Deutschland derzeit rd. 8 Mio. Tonnen getrennt erfassten Bioabfällen wäre etwa die Hälfte für eine Vergärung geeignet. Damit könnten maximal bis zu 2 Mio. t THG/a vermieden werden. Für eine Nachrüstung kommen bis zu 200 der in Deutschland betriebenen Kompostierungsanlagen in Frage. Kompostierte Gärreste weisen gegenüber aerob erzeugten Komposten zwar ein geringeres Humus-Reproduktionspotenzial auf; dies bleibt jedoch ohne Einfluss auf den Humuszustand der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland.

Im Rahmen des Projektes „Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland“ wurde eine Quantifizierung eines Umstellungsbonus in Auftrag gegeben. Ergebnisse daraus werden für Mitte bis Ende Mai erwartet.

4.10 Mikro-KWK-Förderung ins MAP

Ursprüngliche Überlegungen, auch Mikro-KWK (Beispiel: Anlagen unter 20 kW_{el}) mit einer erhöhten Vergütung zu versehen, müssen auf Grund der aktuellen Marktentwicklungen der letzten Wochen modifiziert werden. Profitiert hätten davon vor allem Anlagen mit biogenen Flüssigbrennstoffen, während sich der Markt mit anderen biogenen Brennstoffen kürzlich äußerst unerfreulich entwickelt.

Verschiedene Stirling-Firmen haben in den letzten Wochen Konkurs angemeldet oder stehen kurz davor; andere Firmen müssen die Markteinführung noch verzögern. Es erscheint daher verfrüht, bereits jetzt eine zusätzliche EEG-Vergütung vorzusehen, da nur zwei deutsche Firmen im Lauf dieses Jahres eine Serienproduktion planen und außerdem die erforderlichen Vergütungssätze außerordentlich hoch sind.¹⁰

Andererseits ist die Entwicklung von Holz- oder Biogas-befeuerten Klein-BHKW sehr unterstützenswert. Es wird daher vorgeschlagen, diese Anlagen zukünftig im Rahmen des MAP zu fördern, wobei gewährleistet sein muss, dass eine parallele EEG-Vergütung möglich ist. Zusätzlich sollte sich das BMU dafür einsetzen, einen Teil der im Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Programm vorgesehenen F&E-Mittel für Hausenergieanlagen auch für diese Technologien (u. a. Stirling, Dampfexpansionsmaschinen) einzusetzen.

¹⁰ Notwendig wäre nach einer überschlägigen Rechnung für eine Vergütung zwischen 28 und 40 Ct/kWh_{el}.

5 Literatur

- Anonym. (2007): <http://de.wikipedia.org/wiki/Effektivit%C3%A4t>],
[<http://de.wikipedia.org/wiki/Effizienz>], Zugriff 24.4.2007.
- IE (2006): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse 2. Zwischenbericht. Leipzig, Institut für Energetik und Umwelt.
- IE (2005): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse - 1. Zwischenbericht. Leipzig, Institut für Energetik und Umwelt.
- B. Jahraus (2007): Fachworkshop EEG und Biomasse, Präsentation. Stuttgart, Fichtner.
- F. Knappe, A. Böß, H. Fehrenbach, J. Giegrich, R. Vogt, G. Dehoust, D. Schüler, K. Wiegmann und U. Fritsche (2006): Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Verwertung organischer Abfälle, im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ: 205 33 313). Heidelberg, Darmstadt, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Öko-Institut.
- M. Pehnt (2002): Ganzheitliche Bilanzierung von Brennstoffzellen in der Energie- und Verkehrstechnik. Düsseldorf, VDI Verlag Fortschritt-Berichte Reihe 6 Nr. 476 ISBN 3-18-347606-1.

6 Annahmen für die Berechnung von Abbildung 2

Wichtige Annahmen für die Berechnung von Abbildung 2:

Methanemissionen Vorlager. Die Methanemissionen aus dem Vorlager berechnen sich mit 10% der gesamten Methanemissionen, die aus der Lagerung von Rohgülle anfallen würden - dies ist eine Annahme, konkrete Messergebnisse hierzu sind nicht bekannt.

Lagerung der Rohgülle. Die Methanemissionen aus der Lagerung von Rohgülle sind nach BMVEL/UBA 2002 (S.151) berechnet. "Die Quantifizierung dieser Methan-Quelle ist mit großen Unsicherheiten behaftet". Es wird von einem Methanbildungspotenzial der Exkrememente ausgegangen (für Rinder 162 kg CH₄/Tier*a) und einem Konversionsfaktor (für Rinder-Flüssigmistsysteme 15%). Zur Umrechnung auf Emissionen pro Tonne Gülle wird der mittlere Gülleanfall pro Rind berechnet, aus Daten nach Rinderart (Kuh, Kalb, Bulle etc.) und dem Viehbestand in D nach StBA 2005. Daraus ergibt sich ein Methanemissionsfaktor für die offene Lagerung von Rindergülle von rd. 1,8 kg CH₄/m³ Rindergülle (bei Rinder-Festmist berechnen sich nur 0,3 kg CH₄/m³; bei Schweinegülle 1,4 kg CH₄/m³ Gülle, bei Geflügel 3,3 kg CH₄/m³ Geflügelmist). Es ist also ganz entscheidend, dass es sich bei den Berechnungen um Rinder-Flüssigmist handelt. Für die so berechneten Emissionen kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese überschätzt sind.

Methanemissionen Biogasproduktion (Anlage, Gasstrecke). 1,8% der produzierten Methanmenge

Methan- und Lachgasemissionen bei der Ausbringung. Im Vergleich zu den Methanemissionen der offenen Lagerung sind Methan- und Lachgasemissionen der Ausbringung von geringerer Bedeutung, insbesondere Methanemissionen spielen bei der Ausbringung nach bisherigen Erkenntnissen (Untersuchungen für Gülle und Kofermente aus Gülle mit Bioabfall bzw. Tierfett) kaum eine Rolle. Sie liegen bei der Ausbringung von vergorener Gülle gegenüber unvergorener Gülle nochmals niedriger. Der Hauptbeitrag zu klimawirksamen Emissionen der Ausbringung wird durch Lachgasemissionen verursacht.

Die Freisetzung von Lachgas ist stark abhängig von den örtlichen Randbedingungen für die am Bildungsprozess beteiligten Mikroorganismen. Die wesentlichen steuernden Größen sind pH, Temperatur, Nitrat- und Ammoniumkonzentration, Bodenfeuchte, Sauerstoffverfügbarkeit im Boden und Verfügbarkeit von organischem Kohlenstoff. Verschiedene Ausbringungstechniken ergeben keine nennenswerte Minderung der Lachgasemissionen. Allerdings führt umgekehrt die Injektion von Gärresten zu einer Erhöhung der Lachgasemissionen um den Faktor 2 bis 3, diese Ausbringungstechnik sollte entsprechend nicht angewandt werden. Darüber hinaus lassen sich aus Klimaschutzsicht keine weiteren Anforderungen ableiten. Die Vorgabe bestimmter Ausbringungstechniken ist dagegen aus Immissionsschutzsicht relevant zur Minderung von bei der Ausbringung in relevantem Umfang anfallenden Ammoniakemissionen. Hier empfiehlt sich eine direkte Einarbeitung ausgebrachter Gärreste (innerhalb einer Stunde) oder die Ausbringung mit Schleppschuh.

In den Ergebnisse in Abbildung 2 wurden die Lachgasemissionen der Ausbringung nach [IPCC 2007] mit 1% der ausgebrachten Stickstoffmenge ermittelt (berechnet als Stickstoffgehalt im Gärrest abzgl. Ammoniakverluste). Nach nationalen Untersuchungen zu Lachgasemissionen der Ausbringung (o.g. Untersuchungen für Gülle und Kofermente aus Gülle mit Bioabfall bzw. Tierfett) lagen Lachgasemissionen immer unterhalb 0,5% bezogen auf den ausgebrachten Stickstoff. Werden alternativ zu den IPCC-Werten diese nationalen Werte verwendet, würde sich die THG-Belastung aus der Ausbringung halbieren (bei Rindergülle von 0,015 auf 0,007 kg CO₂-Äq/MJ Biogas, vgl. Abbildung 4).

Biogasaufbereitung. Für die Aufbereitung des Biogases zu Biomethan kommen verschiedene CO₂-Abtrennungsverfahren in Frage: Druckwechseladsorption (PSA), Druckwasserwäsche (DWW) und Aminwaschverfahren (z.B. Fa. DGE oder Fa. Cirmac). Die CO₂-Abtrennung ist mit Methanverlusten verbunden ("CH₄-Aufbereitung") und benötigt weitere Energie.

Für den Einsatz von Biomethan als Kraftstoff muss das Gas komprimiert werden (von 1 auf 250 bar, 0,4 kWhel/Nm³), wird Benzin ersetzt, ist dieser Aufwand zu berücksichtigen.

Für die Aufbereitung zu Biomethan und externe Gasnutzung ist zur Deckung des Eigenbedarfs Fremdenergie gerechnet (Strom: Mix D, Wärme: HW Erdgas) (*Deckung durch ein kleines BHKW wird noch gerechnet*). Als Basis für die Aufbereitung zu Biomethan sind in den Vergleichsergebnissen 2% Methanschluß und 0,5 kWh/m³ Rohgas Strombedarf angesetzt (in Fall 17 mit hohem Strombedarf: 2 kWh/Nm³ Rohgas).

Gutschriften pro MJ produziertes Biogas: Basis der Strom und Wärmegutschrift ist der Marginalansatz nach ISI bzw. BMU-Methode (Strom: 70% Steinkohle und 30% Erdgas); Wärme: hier vereinfacht gerechnet mit 56,9% Erdgas und 43,1% HEL.

Brennstoffzelle: Die BZ ist in Anlehnung an Leonberg mit η_{el} 47% und η_{th} 23% gerechnet.

ORC: Der ORC Prozess nutzt nur die Abgaswärme (nicht Kühlwasserwärme), das angesetzte Modul hat nach Firmenangebot eine Klemmleistung 65 kW_{el}, Eigenbedarf 12 kW_{el}, Wärmeinput 300 kW_{th} und damit einen Nettonutzungsgrad von 0,177 kW_{el}/kW_{th}, dadurch erhöht sich der Stromwirkungsgrad des 500 kW_{el} BHKW (37,5%) um 3,9%.

Kleine/große BHKW: Das 100 kW_{el} Motor BHKW hat η_{el} = 32% und η_{th} = 52%; 80% Wärmegutschrift ergäbe Erhöhung der Netto-Entlastung bei GÜlle um 0,02 kg CO₂-Äq/MJ Biogas, bei NawaRo um 0,023 kg CO₂-Äq/MJ Biogas. Das 2000 kW_{el} Motor BHKW hat η_{el} = 41% und η_{th} = 43%.