

Raumbezogene Analyse des Technologiefads Biogaseinspeisung durch Einsatz von Geoinformationssystemen

Michael Jandewerth
Wolfgang Urban

1 Das BMBF-Verbundprojekt „Biogaseinspeisung“

Knapper werdende fossile Ressourcen, internationale Klimaschutzverpflichtungen, die Gewährleistung der Versorgungssicherheit sowie eine gebotene Diversifizierung der Energieversorgung bestimmen die Energieversorgung der Zukunft. Die energetische Nutzung von Biomasse gilt mittelfristig als ein wichtiges Standbein im Energiemix. Eine interessante Option stellt dabei die Erzeugung und Verwertung von Biogasen dar. Biogase werden heute vorwiegend dezentral in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet. Entstehende Abwärme wird dabei häufig unzureichend genutzt. Bei entsprechender Aufbereitung ist aber auch eine Einspeisung in das vorhandene Erdgasnetz möglich. Auf diese Weise kann das Biomasseangebot von der Energienachfrage räumlich sowie zeitlich entkoppelt und ein deutlich größerer Anteil des Biomassepotenzials klimaschonend erschlossen werden. Mit der Einspeisung des veredelten Biogases (Biomethan) eröffnen sich neue Nutzungspfade, wie die Verstromung in modernen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die Verwendung als alternativer Kraftstoff oder die Nutzung in privaten Haushalten.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)¹ geförderte Verbundprojekt „Biogaseinspeisung“ sollte das Klimaschutzpotenzial der Biogaseinspeisung realitätsnah evaluieren und die Hemmnisse analysieren, die einer Aktivierung des Klimaschutzpotenzials im Wege stehen. Dazu wurden die Biomassebereitstellung sowie die Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung und Verteilung von Biogas über das Erdgasnetz grundsätzlich unter den konkreten räumlichen Gegebenheiten betrachtet.

Diese Analyse erforderte die Berücksichtigung des Raumbezugs verschiedenster Informationen und Daten entlang der Prozesskette vom Substratanbau bis zur Ein-

speisung in das Erdgasnetz. Die räumlichen Bezüge bei der Realisierung von Einspeiseprojekten beginnen bereits bei der Wahl des Standorts aus genehmigungsrechtlicher Sicht. Hier werden u.a. Belange des Natur- und Landschaftsschutzes berührt. Weiterhin ist ein Standort von infrastrukturellen Begebenheiten wie dem Anschluss an das Gasnetz sowie seiner verkehrlogistischen Anbindung abhängig. Letztlich ist die Verfügbarkeit von landwirtschaftlichen Flächen zur Biomasseproduktion ein räumlicher Aspekt, der die Wahl des Standorts maßgeblich beeinflusst. Zentrale Punkte des Projekts waren entsprechend die räumliche Modellierung des Technologiefads und der Aufbau eines Geoinformationssystems (GIS).

Im Rahmen des Projekts wurde ein GIS-Werkzeug entwickelt, das der Entscheidungsunterstützung im Planungsprozess von Biogaseinspeiseanlagen für unterschiedliche Zielgruppen (u.a. Projektentwickler, Energieversorger, Landwirte, Investoren, Ingenieur- und Planungsbüros, Anlagenbauer) dient. Hierzu verbindet das System Geodaten zu Biomassepotenzialen, zur Standortsuche für einspeisende Biogasanlagen und zur Biomassetransportlogistik mit Analysetools zur Planung und Auslegung von Biogasanlagen. Dies erfolgt auf der Basis der aktuellen Flächennutzung sowie der vorhandenen Infrastruktur. Das offene System erlaubt die Integration von Expertenaussagen und Modellabschätzungen zu nachhaltig verfügbaren Biomassen. Mit Hilfe der gewählten Methodik lässt sich die Erschließung einer Region unter Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der Anbauflächen und einer eingeschränkten Transportwürdigkeit der Biogassubstrate über die Platzierung einer Vielzahl von Einzelanlagen im betrachteten Gebiet theoretisch abbilden. Der Einsatz von GIS-Technologien ermöglicht hierbei eine modellhafte Verteilung der Anlagen sowie eine anlagenbezogene Bilanzierung der Treibhausgasemissionen (THG), der verfügbaren Biogaspotenziale und der Kosten für deren

Michael Jandewerth
Wolfgang Urban
Fraunhofer UMSICHT
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen
E-Mail: michael.jandewerth@
umsicht.fraunhofer.de

Erschließung. Darüber hinaus können damit nicht nur einzelnen Anlagen bilanziert, sondern auch das THG-Minderungspotenzial, das Biogaspotenzial sowie der nötige Investitionsbedarf für ganze Regionen ermittelt werden. Anwendung fanden die GIS-Werkzeuge in den zwei Modellregionen Niederrhein und Altmark. Für diese wurde das regionale Klimaschutzpotenzial unter Betrachtung verschiedener Szenarien errechnet.

Auf Basis detaillierter, großmaßstäbiger Analysen zur Standortwahl und zur räumlichen Verteilung von Biomassen in den Modellregionen lieferte das Projekt eine Abschätzung des nachhaltig erschließbaren Biogaseinspeisepotenzials für Deutschland bis 2050. Ferner lieferte es Aussagen zur Emissionsminderung von Treibhausgasen in Abhängigkeit der Verwendung des Biomethans (Kraft-Wärme-Kopplung, Kraftstoff oder Wärmemarkt) bis 2050. Letztendlich entscheidend für die erreichbare Emissionsminderung ist der Vergleich mit der jeweils substituierten Referenztechnik. Dabei ist neben den Änderungen auf der Angebotsseite im Bereich der Biomassepotenziale auch die Nachfrageseite – das sich ändernde Energiesystem – zu beachten. Konkret bedeutet dies, dass sich die Technologien zur Strom- und Wärmeerzeugung im dynamischen Energiesystem bis 2050 ändern und somit der Einsatz von Biomethan im Strom-, Wärme- oder Mobilitätssektor vor diesem Hintergrund betrachtet werden muss.

Weitere Aufgaben des Projekts umfassten die Betrachtung unterschiedlicher Technologien der Biogaserzeugung und der Gasaufbereitung, der zugehörigen Kosten und Margen sowie die Auswirkungen der Biogaseinspeisung auf den Netzbetrieb. Rechtlichen Fragen bezüglich des Netzanschlusses, zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), zur Erdgasbilanzierung und zum Raumordnungsrecht waren ebenfalls Bestandteile des Projekts.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Einblick in die gewählte Methodik und beschreibt exemplarische Ergebnisse der GIS-gestützten Analyse zum THG-Minderungspotenzial durch den Technologiepfad Biogaseinspeisung.²

2 Räumliche Grundlagen der Biogaseinspeisung

Die Ausweitung der energetischen Nutzung von Biomasse ist ein wichtiger Baustein in der Entwicklung nachhaltiger Energiesysteme. Im Gegensatz zur Wind- oder Sonnenenergie hat Biomasse den Vorteil, dass sie in der Regel speicherbar ist und viele Verwendungsmöglichkeiten bietet.

Eine bedeutende Option der Verwendung von Biomasse ist die Erzeugung von Biogas. Die Erzeugung von Biogas aus Wirtschaftsdüngern (Gülle) und Bioabfällen ist bereits seit längerem etabliert. Die Potenziale bei diesen Rückständen sind jedoch begrenzt.³ Insbesondere seit Einführung des NawaRo-Bonus (Bonus für die Erzeugung von Strom aus nachwachsenden Rohstoffen) im EEG 2004 hat die Erzeugung von Biogas aus Energiepflanzen einen erheblichen Schub erhalten. Neben der Ausweitung der Substratbasis ergeben sich auch neue Perspektiven für die Biogaserzeugung, wenn das Gas aufbereitet und in das konventionelle Erdgasnetz eingespeist wird. Potenziale für die Einspeisung sind erkannt und im Integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP) der Bundesregierung beziffert. So gehen aus den Beschlüssen von 2007 die ambitionierten Ziele von 6 bzw. 10 Mrd. m³ eingespeistem Biomethan für das Jahr 2020 bzw. 2030 hervor. Wichtige Voraussetzung für das Erreichen dieser Ziele ist die Erleichterung der Einspeisung in das Erdgasnetz, die mit der Novelle der Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) und des EEG auf gesetzgeberischer Seite erreicht werden soll.

Bis Ende 2010 sind in Deutschland ca. 69 Anlagen mit einer jährlichen Produktionsmenge von 0,36 Mrd. m³ aufbereitetem Biogas (Biomethan) am Netz.⁴ Damit wird deutlich, dass ein stärkerer Ausbau der Kapazitäten und Anlagen zur Erreichung der politischen Ziele notwendig ist. Gleichzeitig stellt sich auch die Frage der raumplanerischen Steuerung, denn sowohl die Wahl des Anlagenstandorts als auch die Substratversorgung der Anlage geht mit raumbedeutsamen Fragen einher.

Grundsätzlich lässt sich der Technologiepfad der Biogaseinspeisung und -nutzung in die Phasen Substratbereitstellung, Biogasgewinnung und -aufbereitung sowie Einspeisung in das Erdgasnetz einteilen. Jeder einzelne Prozesskettenabschnitt setzt

sich aus vielen Einzelprozessen zusammen, beginnend von der Auswahl und Bearbeitung der Fläche im Bezugsgebiet über Ernte, Transport, Gaserzeugung, Einspeisung, Durchleitung bis zur letztendlichen energetischen Nutzung. Bei Letzterer wird die gewonnene Primärenergie in End- und Nutzenergie umgewandelt.

Mit der Verankerung dieser Prozesskette im (ländlichen) Raum ist eine Reihe von raumbezogenen Fragen aus unterschiedlichen Bereichen zu beantworten, z. B.:

- Landwirtschaftliche Potenziale
 - Wo sind landwirtschaftliche Flächen für die Produktion von Biomasse für die Biogasanlagen im Raum verteilt?
 - Wo lassen sich relevante Mengen Wirtschaftsdünger erschließen?
 - Welche Standorte für Konversionsanlagen lassen sich aus der räumlichen Verteilung des Biomassepotenzials für die Regionen ableiten?
- Substratlogistik
 - Wie sieht ein optimierter Biomasse-transport von der Fläche zur Biogasanlage aus?
 - Gibt es räumliche, infrastrukturelle Hemmnisse für den Transport von Biomasse?
 - Wie hoch ist das Transportaufkommen? Welche Belastungen für das Umfeld treten auf?
 - Lassen sich aus der Biomasetransportlogistik Vorzugsräume für Biogasanlagenstandorte ableiten?
- Anlagengenehmigung
 - Welche räumlichen Kriterien lassen sich aus der Raumordnung, der Bauleitplanung und dem Genehmigungsrecht sowie der aktuellen Flächennutzung für die Standortfindung ableiten?
 - Gibt es rechtlich-raumbezogene Ausschlusskriterien für den Bau von Biogasanlagen?
 - Welche Auswirkungen haben die Anlagen auf die Schutzgüter des Bundesnaturschutzgesetzes?

Lassen sich aus den rechtlich-raumbezogenen Ausschlusskriterien Schwerpunkträume entwickeln?

- Gasnetzinfrastruktur
 - Wo gibt es potenzielle Einspeisepunkte in das Erdgasnetz?
 - Welche Biogasmengen fallen am Einspeisepunkt an?
 - Kann es ökonomisch bzw. gasnetztechnisch sinnvoll werden, die Gasnetzinfrastruktur zur Erschließung von Biogaseinspeisepotenzialen auszubauen?
- Welche Suchräume für Biogasanlagen ergeben sich aus der Kombination der Ergebnisse der beschriebenen Fragestellungen?

Zur Realisierung des Ausbaus der Biogaseinspeisung gemäß den politischen Zielen und der genannten Fragen steht die Raumplanung vor Herausforderungen, die auf regionaler Ebene zu lösen sind. Zu ihrer Lösung bzw. zur Beantwortung der genannten Fragen bedarf es Methoden und Werkzeuge, die der Steuerung, Nachhaltigkeitsanalyse und Konfliktminimierung dienen. Erste methodische Ansätze und Werkzeuge auf Basis von Geoinformationstechnologien liefert das hier vorgestellte BMBF-Projekt „Biogaseinspeisung“.

3 Geoinformationssysteme zur Betrachtung raumbezogener Aspekte der Biogaseinspeisung

Voraussetzung für eine realitätsnahe Betrachtung wesentlicher Fragestellungen bei der Biogaseinspeisung ist die Berücksichtigung ihres Raumbezugs. So finden sich die Elemente der Prozesskette als Objekte auf der Erdoberfläche wieder – begonnen bei den landwirtschaftlichen Flächen oder Tierhaltungsstandorten über die Transportrouten der Substrate hin zu den potenziellen Biogasanlagenstandorten sowie Einspeisepunkten in das Gasnetz.

Zur Modellierung der Prozesskette Biogaseinspeisung und zur softwaregestützten Verarbeitung räumlicher Daten und nicht räumlicher Daten eignen sich Geoinformationssysteme (GIS) in besonderer Weise. In Abgrenzung zu sonstigen Informationssystemen ist ein Geoinformationssystem auf Geodaten spezialisiert, womit jeder beliebigen geometrischen Form der Erdoberfläche kontextspezifische Sachinformationen

unterschiedlichster Art zugeordnet werden können.⁵ Üblicherweise werden Geodaten in einem Geoinformationssystem als Themen bzw. Schichten organisiert. Bei gleichem Raumbezug lassen sich die einzelnen Schichten überlagern und in einem gemeinsamen Kontext analysieren. Durch die Überlagerung bzw. Kombination mehrerer Schichten lässt sich somit ein Informationsgewinn ableiten, so z.B. die Verschneidung von Ackerflächen mit Wasserschutzgebieten, in den Auflagen für die landwirtschaftliche Produktion gelten.

Zur Abbildung der Prozesskette im Raum (Abb. 1) sind (Geo-)Daten aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen in die GIS-Applikation eingeflossen. Dazu zählen insbesondere Daten aus den Bereichen

- Landwirtschaft (landwirtschaftliche Flächen und Tierhaltungsstandorte),
- Verkehr (Straßennetzwerke),
- Flächennutzung sowie zum Natur-, Landschafts- und Gewässerschutz,
- Gasnetzinfrastruktur sowie Einspeisepunkte und
- Kosten- und Technologiedatenbanken.

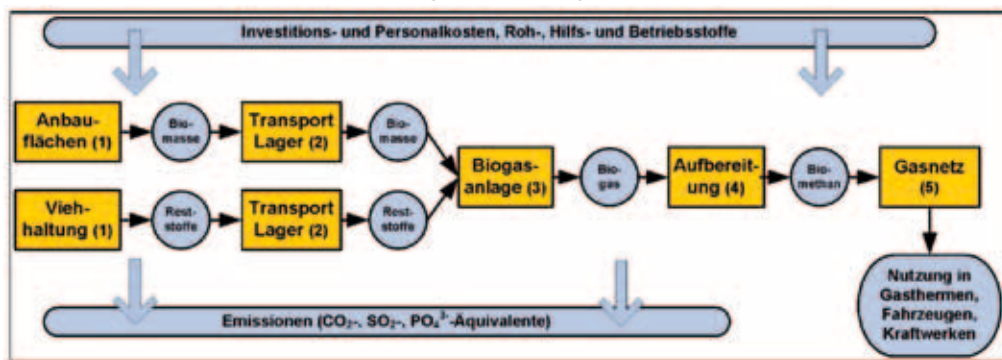
4 Methodik der GIS-gestützten Regionalanalyse

Das Klimaschutzpotenzial einer Region für den Technologiepfad Biogaseinspeisung bestimmt sich über die Biomassepotenziale und die Erschließbarkeit der Potenziale in einer Region (Abb. 2). Methodisch verläuft die Analyse einer Gesamtregion zunächst in zwei parallel verlaufenden Arbeitsschritten: der Standortrestriktionsanalyse und der Biomassepotenzialermittlung. Deren Ergebnisse werden in einem Folgeschritt miteinander verschritten.

Standortrestriktionsanalyse

Die Standortwahl für Biogasanlagen erfolgte in den Modellregionen nach dem Prinzip einer Restriktionsanalyse und umfasste im Wesentlichen (genehmigungs-)rechtliche und infrastrukturelle Aspekte. Dazu wurden Geodaten aus dem Natur- und Landschaftsschutz (z.B. Naturschutzgebiete) und zu weiteren Schutzgütern (z.B. Wasserschutzgebiete) herangezogen und diese Flächen als nicht verfügbar für die Errich-

Abbildung 1
Räumliches Modell der Prozesskette Biogaseinspeisung



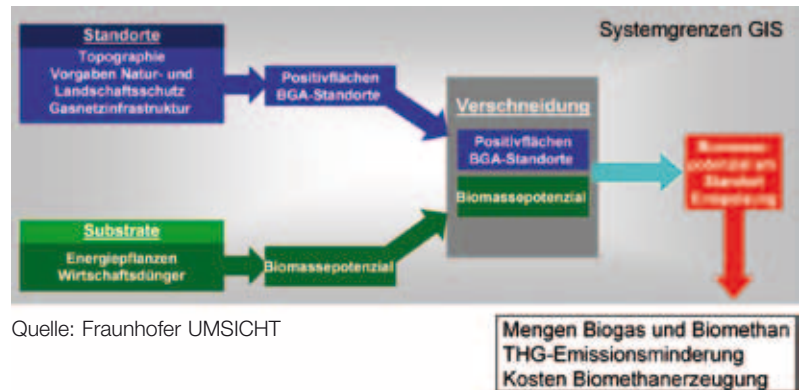
Quelle: Fraunhofer UMSICHT

tung von Biogasanlagen gekennzeichnet. Des Weiteren erfolgte eine Analyse der aktuellen Flächennutzung auf Basis digitaler Landschaftsmodelle (DLM) des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS). Das DLM beschreibt die Erdoberfläche über geotopographische Objekte und besteht aus mehreren Objektklassen zur Beschreibung der aktuellen Flächennutzung, z. B. Siedlungsflächen, Waldflächen, Gewässer und Straßen.

Alle Objektklassen wurden entsprechend ihrer Eignung als Biogasanlagenstandort attribuiert (nicht geeignet, geeignet, Einzelfallprüfung) und zum Teil mit einem räumlichen Puffer versehen (Vorgehensschema s. Abb. 3). Siedlungsflächen wurden beispielsweise entsprechend gesetzlicher Vorgaben (TA Luft) mit einem Puffer von 300 m versehen. Auf Basis dieser Analyse ergeben sich somit Bereiche, in denen die Installation einer Anlage möglich ist, und Bereiche, in denen aus (umwelt-)planerischer Sicht die Errichtung einer Biogasanlage mit Zielkonflikten einhergeht oder generell nicht möglich ist. In Kombination mit den Analyseschritten zum Natur- und Landschaftsschutz liefert diese Vorgehensweise eine Auswahl an Standortsuchräumen (Positivflächen).

Die so ermittelten Standortsuchräume (Positivflächen) werden abschließend auf ihre Eignung (z. B. Mindestgröße, Geometrie) zur Errichtung von Biogasanlagen geprüft. Die Eignungsprüfung von Standortsuchräumen erfolgte auch hinsichtlich einer Anbindung an das Erdgasnetz. Fragestellungen

Abbildung 2
Methodik der Regionalanalyse



Quelle: Fraunhofer UMSICHT

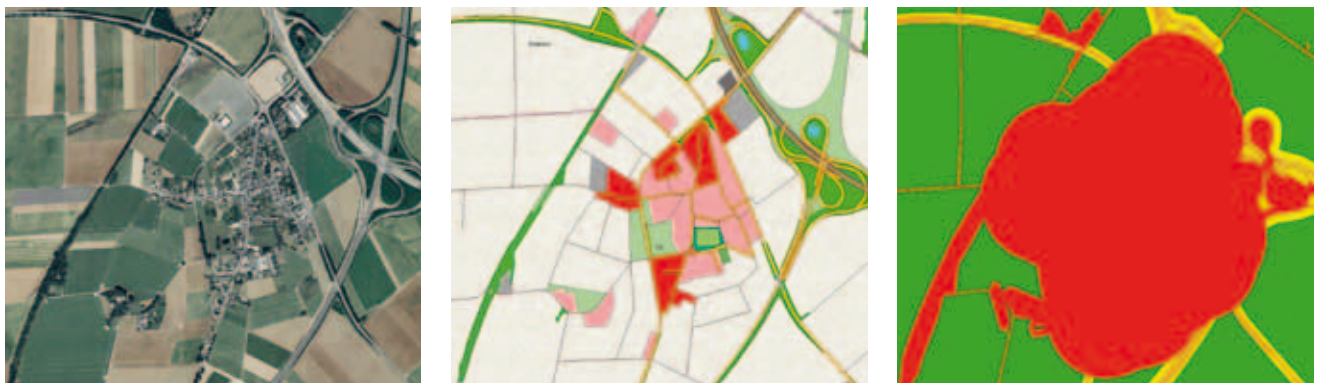
zum Gasnetz wurden über Web Service-Technologien in das System eingebunden: Im Projekt konnten über eine definierte Schnittstelle die Standortsuchräume an eine Auskunftskomponente beim Gasnetzbetreiber gesandt werden und um Attribute zur Entfernung, Richtung, Druckstufe und Gasqualität der nächsten Gasleitung ergänzt werden.

Das Ergebnis der regionalen Standortrestriktionsanalyse ist eine Menge potenzieller Standorte, die für Biogaseinspeiseprojekte bezüglich der beschriebenen Methodik geeignet sind. Attributiv sind diese potenziellen Standorte mit Informationen zum Gasnetz gekennzeichnet.

Bestimmung der Biomassepotenziale

Parallel zur Standortrestriktionsanalyse erfolgte die Bestimmung der Biomassepotenziale auf Basis landwirtschaftlicher Flächendaten, kombiniert mit kreissspezifischen Durchschnittshektarerträgen. Die

Abbildung 3
Schematische Darstellung der Standortrestriktionsanalyse



Quelle: Fraunhofer UMSICHT

Vom Luftbild zum Standortsuchraum: Die aktuelle Flächennutzung (Luftbild links) wird hier exemplarisch anhand der DLM-Objektklasse Siedlungsfläche (altrosa, Mitte) attribuiert. Diese ist mit einem Puffer von 300 m versehen, so dass sowohl die Siedlungsflächen als auch der Puffer im rechten Teil der Abbildung als Ausschlussfläche (rot) für den Bau von Biogasanlagen gekennzeichnet werden. Alle Objektklassen des DLM wurden entsprechend attributiv gekennzeichnet. Grüne Flächen stehen als potenzielle Anlagenstandorte (Standortsuchräume) für weitere Analysen zur Verfügung.

räumliche Verteilung des Wirtschaftsdüngeraufkommens wurde über verschiedene Statistiken (z.B. Datenbanken aus dem Genehmigungsverfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz) erfasst. Für jedes Biogassubstrat bzw. jede Feldfrucht kann eine Substratdichtekarte abgeleitet werden (Abb. 4). Die frei definierbare Kombination und Gewichtung der jeweiligen Substratdichtekarten ermöglicht die Herausarbeitung von Substratschwerpunkträumen in Form von Potenzialdichtekarten. Hierbei ist zu beachten, dass die Potenzialdichtekarte keinerlei Aussagen über die tatsächliche Verfügbarkeit bestimmter Biogassubstrate enthält, jedoch einen deutlichen Hinweis auf die regionale Verteilung der in der Vergangenheit angebauten Feldfrüchte bzw. der entsprechend bebauten Flächen gibt. Abgeleitet sind die Substratdichtekarten aus landwirtschaftlichen Flächendaten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS), verschnitten mit durchschnittlichen Ernteerträgen (veröffentlicht durch die Landesstatistikämter).

Die Prüfung der Substratverfügbarkeit bzw. die Implementierung agrarökonomischer Randbedingungen⁶ erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen der Standortbilanzierung. In einem abschließenden Schritt wurden die Standortsuchräume

mit den Potenzialdichtekarten verschnitten. Dadurch erfahren die Standorte eine Gewichtung bezüglich des örtlichen Biomassepotenzials. Der Standort mit dem höchsten Biomassepotenzial kann nachgelagerten Einzugsgebietsanalysen zur Standortbilanzierung übergeben werden. Ausgangspunkt dieser Überlegungen ist, das gesamte Biomassepotenzial einer Region systematisch zu erschließen und zunächst die besten Standorte zu ermitteln.

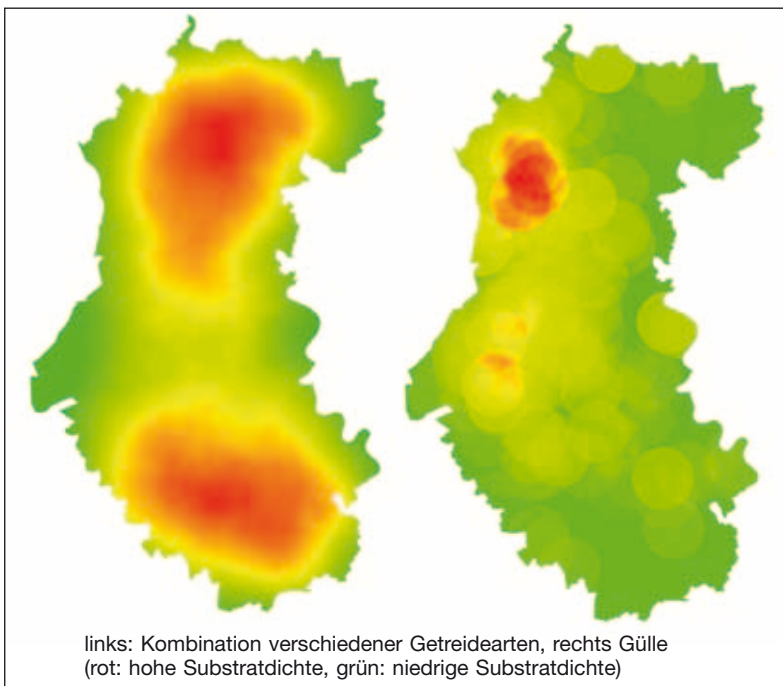
5 Methodik der Standortbilanzierung – Einzugsgebietsanalyse

Entsprechend ihrer Gewichtung über die Substratdichte erfolgt die Einzugsgebietsanalyse der einzelnen Standorte. Der limitierende Faktor bei der Definition des Einzugsgebiets ist die geringe Transportwürdigkeit der Biogassubstrate. Das Einzugsgebiet einer Anlage ist als der Bereich zu beschreiben, aus dem die Substrate für die Vergärung zur Verfügung gestellt werden können (Abb. 5). Im Regelfall wurden maximale Transportentfernungen von 25 km für Energiepflanzen (rote Flächen aus InVeKoS) und 5 km für Wirtschaftsdünger (orange Punkte: Tierhaltungsstandorte aus dem Kataster der Kreisveterinärämter) unterstellt, wobei sich die Transportkilometer auf das reale Straßennetz (Geodaten von TeleAtlas) beziehen. Die Transportentfernungen lassen sich im Rahmen von Szenariobetrachtungen beliebig variieren.

Innerhalb eines Einzugsgebiets wird die gesamte Prozesskette vom Acker bis zur Einspeisestelle (vgl. Abb. 2) hinsichtlich der Stoffströme, Kosten und Treibhausgasemissionen bilanziert. Dazu wurde jedes einzelne Prozesskettenelement mit Daten zu Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen hinterlegt. Die Summe der einzelnen Elemente führt zur Gesamtbilanz des Anlagenstandorts. Das Ergebnis umfasst somit Aussagen zu Mengen einspeisbaren Biomethans, zu den Kosten ihrer Erzeugung sowie zur Treibhausgasbilanz des Gesamtpfads.

In der Bilanzierung ist jeder Standort individuell zu betrachten, da sich die Charakteristik des Einzugsgebiets zwischen den einzelnen Gebieten unterscheidet. Wesentliche Unterschiede liegen im Zuschnitt der landwirtschaftlichen Flächen (Größe, Form), den standortkundlichen Gegeben-

Abbildung 4
Substratdichtekarten für die Modellregion Niederrhein



Quelle: Fraunhofer UMSICHT

heiten und somit im Ertragspotenzial oder im Ausbaugrad der Verkehrsinfrastruktur.

Besonders deutlich wird dieser Unterschied zwischen den beiden Modellregionen des Projekts. Die Altmark im Norden von Sachsen-Anhalt ist geprägt durch relativ große Ackerschläge mit einem eher geringen Ertragspotenzial und dünnen Verkehrsweernetz. Die Region Niederrhein (Nordrhein-Westfalen) hingegen hat historisch bedingt kleinere Ackerschläge, jedoch höhere landwirtschaftliche Erträge als die Altmark. Zusätzlich ist in dieser Region ein verdichtetes Verkehrsweernetz vorzufinden. Mit dieser unterschiedlichen Charakteristik ist auch der Einsatz von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen zwischen den Regionen unterschiedlich.

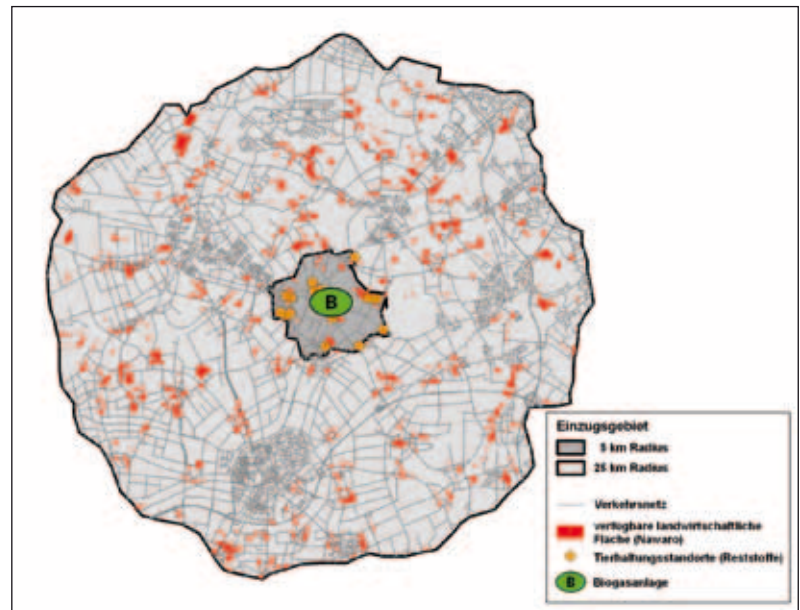
Der entscheidende Parameter für die Ermittlung von Biomethanmengen ist die Flächenverfügbarkeit, da innerhalb einer Region und auch eines Einzugsgebiets nicht alle landwirtschaftlichen Flächen gleichermaßen für die Produktion von Energiepflanzen zur Verfügung stehen. Konkurrenzen um landwirtschaftliche Flächen haben einen regionalen, kleinräumigen Bezug und sind nur schwer abzubilden. Das System wird daher über externe Annahmen (Expertenaussagen, Agrarsektormodelle, Potenzialstudien) mit Werten für die Flächenverfügbarkeit parametrisiert. Die Parametrisierung kann auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen erfolgen (Region, Kreis, Gemeinde, Gemarkung).

6 Ausgewählte Ergebnisse der Standortbilanzierungen und Regionalanalysen

Für die hier vorgestellten Beispielrechnungen wurden maximale Transportentfernungen von 5 km für Gülle bzw. 25 km für Energiepflanzen angenommen. Als weitere Annahme wurde davon ausgegangen, dass Mais als Substrat für die Vergärung verwendet wird; das bedeutet, dass verfügbare Flächen im Modell mit Mais als Biogassubstrat belegt worden sind. Bei der Standortfindung sind maximal 10 km als Entfernung zum Gasnetz angenommen.

Mit diesen Annahmen wurde für die Modellregionen eine Vielzahl potenzieller Standortsuchräume über die Standortrestriktionsanalyse ermittelt. Bei der Prüfung

Abbildung 5
Ergebnis der Einzugsgebietsanalyse



Quelle: Fraunhofer UMSICHT

der Entfernung der Standorte zur Gasnetzinfrastruktur traten keine nennenswerten infrastrukturellen bzw. räumlichen Hemmnisse zur flächendeckenden Erschließung der Regionen auf. Alle landwirtschaftlichen Flächen sind innerhalb der maximal zulässigen Transportdistanz zu erreichen. Da durch das Modell eine Überlappung der Einzugsbereiche ausgeschlossen ist, sind die Potenziale aus der Tierhaltung jedoch nicht vollständig für den Technologiepfad Biogaseinspeisung zu erschließen.

Für die Standortbilanzierung ergibt sich eine Reihenfolge der Standorte über die Verschneidung der Standortsuchräume mit den Substratdichtekarten. Standorte mit der höchsten Substratdichte werden bevorzugt betrachtet und gehen entsprechend dieser Reihenfolge in die Einzugsgebietsanalyse ein. Nach erfolgter Analyse des Standorts mit der höchsten Substratdichte stehen die Flächen und Tierhaltungsstandorte innerhalb dieses Einzugsgebiets für die anderen Standorte nicht mehr zur Verfügung, so dass sich Substratdichten für die anderen Standorte reduzieren. Durch dieses methodische Vorgehen wird die Region modellhaft schrittweise erschlossen, bis ein entsprechendes Abbruchkriterium (Anlagengröße) erreicht wird. Entsprechend dieser Methodik ergibt sich für die beiden Modellregionen die in Abbildung 6 dargestellte räumliche Verteilung von Biogasanlagen.

In der Abbildung sind die Anlagenstandorte über das Symbol B gekennzeichnet. Die farbliche Unterscheidung (grün bzw. gelb) gibt einen ersten Hinweis über die Substratzusammensetzung am jeweiligen Standort: Bei gelb überwiegt der Einsatz von Wirtschaftsdünger (Gülle), bei grün werden vornehmlich nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) als Eingangssubstrat eingesetzt. Am Niederrhein wurden fünf Gülle-Biogas-anlagenstandorte und fünf NawaRo-Biogas-anlagenstandorte ermittelt. In der Altmark beträgt die Gesamtanzahl der Standorte 13. Von diesen sind ebenfalls fünf Gülle-Biogas-anlagenstandorte und acht NawaRo-Biogas-anlagenstandorte.

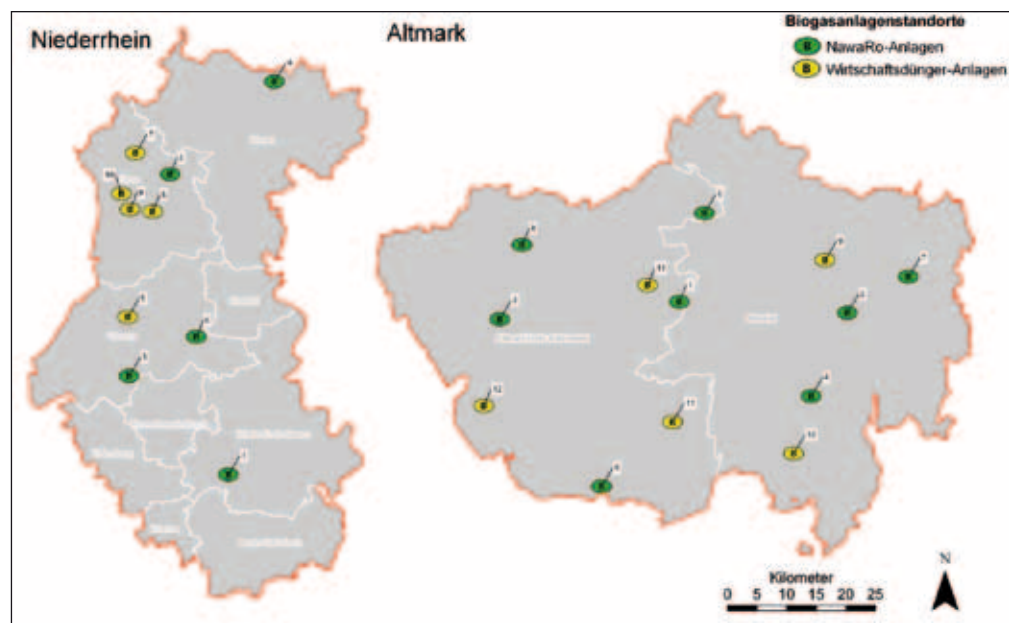
Jeder Standort und damit jedes Einzugsgebiet wird über die gesamte Prozesskette bilanziert, so dass als Ergebnis (Zielgrößen) erzeugbare Biomethanmengen, spezifische Gasgestehungskosten in ct/kWh und spezifische THG-Emissionen in g CO₂-Äquivalente je kWh, basierend auf einem anlagenspezifischen Substratinput, erhalten werden.

Die Auswahl der Ackerflächen innerhalb eines Einzugsgebiets, auf denen Biogassubstrate für den jeweiligen Anlagenstandort angebaut werden, erfolgt zufällig; die verfügbare Ackerfläche wird durch externe Vorgaben vorgegeben, im konkreten Beispiel über das Agrarsektormodell RAUMIS⁷.

Da es sich bei der Beispielanalyse um modellhafte Betrachtungen handelt, ist nicht bekannt, welche Flächen für die Bioenergieproduktion zur Verfügung stehen. Der Prozess der Zufallsselektion wird daher mehrfach durchlaufen, so dass für jeden Durchlauf unterschiedliche Flächen selektiert werden. Ferner wird durch die Zufallsselektion eine Fruchtfolge simuliert. Über die Bildung eines Mittelwerts der mehrfach bilanzierten Prozesskette lässt sich so eine durchschnittliche Aussage für das Einzugsgebiet hinsichtlich der o.g. Zielgrößen ableiten. Zusätzlich zu den landwirtschaftlichen Flächen werden die Tierhaltungsstandorte mit mehr als 50 Großvieheinheiten innerhalb des 5 km-Einzugsgebietsradius in die Einzugsgebietsanalyse integriert.

Die im jeweiligen Einzugsgebiet zufällig selektierten landwirtschaftlichen Flächen sowie Tierhaltungsanlagen stellen den Ausgangspunkt für die Prozesskettenbilanz dar. Die auf den einzelnen Ackerflächen potenziell erzielbaren Maiserträge (Erträge im langjährigen Durchschnitt) werden mit den verfügbaren Wirtschaftsdüngermengen (Gülle) im Einzugsgebiet einem Anlagenstandort zugeschlagen und aufsummiert. Für jede Ackerfläche erfolgt eine Berechnung der Kosten für Anbau, Pflege und Ernte. Ebenso wird über den Einsatz von Betriebsstoffen (Düngemittel, Saatgut,

Abbildung 6
Optimierte Verteilung von Biogaseinspeiseanlagen in den Modellregionen Niederrhein und Altmark



Quelle: Fraunhofer UMSICHT

Pflanzenschutz, Diesel) die THG-Bilanz berechnet und für alle Flächen aufsummiert. Der Biomasetransport wird ausgehend von den Ackerflächen und Tierhaltungsstandorten auf routingfähigen Geodaten (Straßennetzwerk) bilanziert. Die Bilanzierung der Transportaufwendungen beinhaltet auch eine GIS-gestützte Optimierung der Transportlogistik, um möglichst geringe Kosten und Emissionen (Minimierung des Dieselverbrauchs), aber auch möglichst wenig infrastrukturelle Belastungen (Vermeidung Ortsdurchfahrten) zu verursachen. Basierend auf diesen Daten werden die Stoffströme, Kosten und Emissionen von der Ackerfläche bzw. dem Tierhaltungsstandort bis zur Einspeisung für den jeweiligen Biogasanlagenstandort ermittelt, so dass im Ergebnis die aus dem verfügbaren Biomassepotenzial resultierende Anlagengröße (durchschnittliche Gasproduktionsleistung), die spezifischen Gasgestehungskosten und die THG-Emissionen entlang der Wertschöpfungskette berechnet werden können.

Die einzelnen Anlagenstandorte weisen in Abhängigkeit der lokalen Gegebenheiten im Einzugsgebiet unterschiedliche Charakteristika auf, da sowohl die landwirtschaftlichen Flächen als auch die Tierhaltungsstandorte und damit auch das Wirtschaftsdüngeraufkommen sowie deren Zusammensetzung schwanken. Folglich ist die Substratzusammensetzung (Verhältnis bzw. Mengen von NawaRos und Wirtschaftsdünger) für jeden Anlagenstandort unterschiedlich. Abhängig von den Stoffströmen (Mengen und räumliche Verteilung) ergeben sich dann auch unterschiedliche Gestehungskosten und THG-Emissionsminderungsbeiträge. Die Abbildungen 7 und 8 zeigen das Ergebnis der standortbezogenen Bilanzierung für Kosten, Gasmengen und Emissionen der in Abbildung 6 dargestellten Anlagenstandorte.

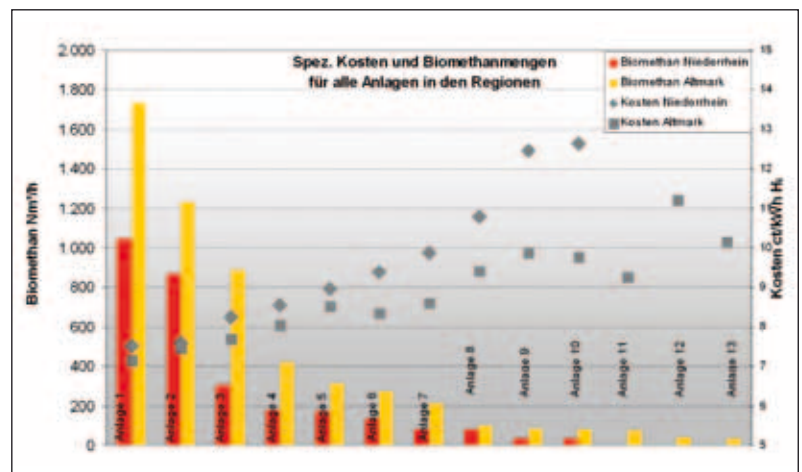
Die dargestellten Bilanzierungsergebnisse der einzelnen Anlagenstandorte in der jeweiligen Modellregion wurden für die Bilanzierung der gesamten Region zusammengefasst. Auf diese Weise ist eine Ermittlung des Biogaspotenzials, der Kosten und des THG-Minderungspotenzials für die beiden Modellregionen Niederrhein und Altmark möglich.

Für die hier betrachteten Beispielrechnungen können am Niederrhein rund 22,3 Mio. und in der Altmark 43,4 Mio. Nm³/a Bio-

methan nachhaltig erzeugt werden. Diesem Biogaseinspeisepotenzial wurde ein Grenzkostensatz von 10 ct/kWh frei Einspeisestelle unterstellt. Damit wurden Anlagen, die zu noch höheren Kosten produzieren, nicht mehr berücksichtigt. Der hier genannte Grenzkostensatz ist allerdings weniger betriebswirtschaftlich begründet, sondern eher unter Abwägung klimaschutzpolitischer Forderungen und längerfristiger Marktentwicklungen gewählt worden.⁸

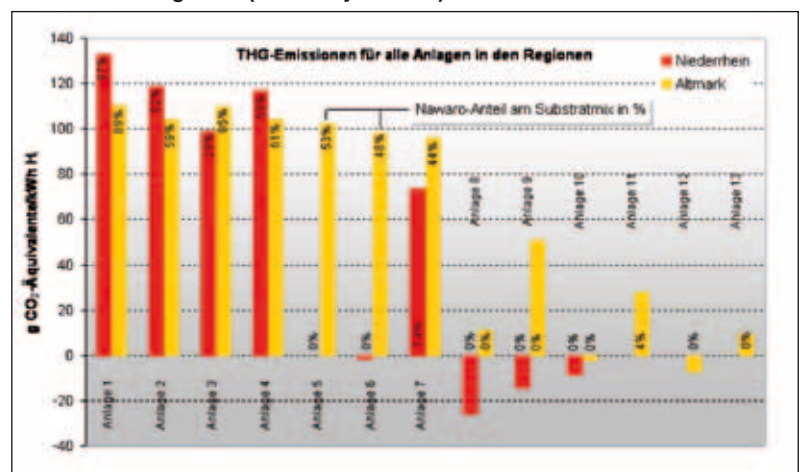
Die Ergebnisse machen deutlich, dass hauptsächlich NawaRo-Biogasanlagen substantielle Beiträge zum regionalen Biogaseinspeisepotenzial bereitstellen und dass in den Modellregionen derzeit noch nachhaltig verfügbares Biogaspotenzial mit we-

Abbildung 7
Spezifische Kosten und Biomethanmengen für jeden Anlagenstandort in den Modellregionen (Referenzjahr 2008)



Quelle: Fraunhofer UMSICHT

Abbildung 8
Spezifische THG-Emissionen für jeden Anlagenstandort in den Modellregionen (Referenzjahr 2008)



Quelle: Fraunhofer UMSICHT

nigen Anlagenstandorten erschlossen werden kann. In der Modellregion Niederrhein können beispielsweise bereits 90 % des gesamten NawaRo-Potenzials und ca. 21 % der verfügbaren Wirtschaftsdüngermengen über drei Anlagen und weitere 44 % über zwei Gülle-basierte Biogasanlagenstandorte erschlossen werden. In der Altmark sind ca. 78 % des gesamten NawaRo-Potenzials und ca. 24 % der verfügbaren Wirtschaftsdüngermengen über drei Anlagen erschließbar.

Erwähnenswert sind auch die strukturellen Unterschiede zwischen den Regionen. In der Altmark sind im Vergleich zum Niederrhein deutlich größere Anlagen möglich, da sowohl die Betriebsstrukturen als auch die landwirtschaftlichen Nutzflächen deutlich großräumiger sind. Darüber hinaus führen regionale Unterschiede in der Tierhaltung zu unterschiedlichen Gasgestehungskosten.

Die durchschnittlichen spezifischen Gasgestehungskosten sind in der Region Niederrhein mit etwa 8,2 ct/kWh_{Gas} und in der Altmark mit etwa 7,8 ct/kWh_{Gas} anzunehmen. Die in der Altmark etwas geringer ausfallenden spezifischen Gasgestehungskosten sind im Wesentlichen auf die größeren Anlagen zurückzuführen.

Ergänzend wird deutlich, dass in den in den Modellregionen identifizierten NawaRo-Biogasanlagen je erzeugte kWh Biomethan maximal etwa 100 g CO₂-Äquivalente freigesetzt werden, eine gute fachliche Praxis mit abgedeckten Gärrestendlager etc. vorausgesetzt. Aufgrund der hohen THG-Gutschriften durch den Einsatz von Gülle weist die Biomethanproduktion in Gülle-Biogasanlagen bilanziell in der Regel keine THG-Emissionen auf; einige energieeffiziente Anlagen können sogar als THG-Senke bezeichnet werden. Im Vergleich zu den vorgenannten THG-Emissionen für die Biomethanproduktion werden bei der Verbrennung von fossilem Erdgas höhere THG-Emissionen (etwa 230 g CO₂-Äquivalente je kWh_{Gas})⁹ freigesetzt. Wie hoch der THG-Minderungs- bzw. Klimaschutzbeitrag des erzeugten Biomethans letztendlich ist, hängt entscheidend von der späteren Nutzung ab – Kraft-Wärme-Kopplung, Kraftstoff, Wärmeversorgung im häuslichen Bereich.

Bei genauer Analyse der THG-Emissionen zeigt sich, dass auch hier der Anlageneffizienz einhergehend mit der Größe eine

hohe Bedeutung zufällt. Der spezifische Strombedarf der technischen Komponenten mit hohen THG-Emissionen nimmt mit steigender Anlagengröße überproportional ab und führt z.B. auch zu einer Überkompensation der vergleichsweise gering steigenden Transportaufwendungen. Als Schlussfolgerung lässt sich ableiten, dass große Biogaseinspeiseanlagen mit Gasproduktionskapazitäten von 1 000 Nm³/h Biomethan und auch deutlich darüber hinaus nicht nur energieeffizienter, sondern auch spürbar klimafreundlicher arbeiten können. Diese Einschätzung gilt zumindest vor der aktuellen Zusammensetzung des Strommixes (Referenzjahr 2009).

7 Übertragung der regionalen Ergebnisse auf die Bundesebene und Integration in Energiesysteme

Die politische Motivation zur Ausweitung der Nutzung von Biomassen zur Energieerzeugung ist neben der Erhöhung der Versorgungssicherheit vor allem die Schonung fossiler Ressourcen und die Vermeidung von THG-Emissionen. Der Bestimmung des möglichen Beitrags des Technologiepfads Biogaseinspeisung zu diesen Zielen erfolgte durch das Wuppertal Institut auf Basis der oben beschriebenen GIS-gestützten Analysen. Dabei sind zur Beschreibung des THG-Emissionsminderungspotenzials der Verwendungspfad und die substituierte Referenztechnologie von entscheidender Bedeutung. Biomethan kann demnach sowohl im Strom- und Wärme- als auch im Kraftstoffsektor Verwendung finden.

Innerhalb des Projekts wurde daher die Frage gestellt, in welchem Sektor die höchste THG-Minderung erzielt werden kann. Diese Frage wurde vor dem Hintergrund eines sich über die Zeit ändernden Energiesystems gestellt. Es war zu untersuchen, wie sich die Rahmenbedingungen durch das Energiesystem im Ausblick (bis 2050) verändern werden. Erst durch diese Betrachtung wird es möglich zu bewerten, in welchem Sektor der Einsatz von Biomethan den größten Effekt auf den Klimaschutz durch Einsparungen von Treibhausgasen erreichen kann. Die Energiesystemanalyse ist dabei nicht als eine Prognose zu verstehen, sondern vielmehr als Abschätzung von Entwicklungen unter bestimmten angenommenen Voraussetzungen („Wenn

..., dann ...“). Die Bandbreite möglicher Entwicklungen wird durch das Leitszenario 2007¹⁰ als einem sehr ambitionierten THG-Minderungsszenario und einer Referenzentwicklung gemäß „Business as usual“ aufgespannt.

Die Betrachtungen bis 2050 zeigen, dass in beiden Szenarien viele Optionen zur THG-Minderung und damit zum Klimaschutz existieren. Für Deutschland wurde unter Beachtung der Nachhaltigkeitskriterien aus dem BMU-Leitszenario sowie agrarökonomischer Gegebenheiten ein Biomasseeinspeisepotenzial von 3,9 Mrd. m³/a für 2020 und 7 Mrd. m³/a für 2030 abgeleitet. Das hiermit verbundene THG-Minderungspotenzial liegt abhängig vom gewählten Nutzungspfad – KWK, Fahrzeugkraftstoff oder Wärmeerzeugung – zwischen 6 und 17 Mio. t CO₂-Äquivalenten im Jahr 2020 (2030: zwischen 9,7 und 30 Mio. t). Gelingt es nicht, das Wirtschaftsdüngerpotenzial zu erschließen, sinkt die erzeugbare Menge Biogas auf 2,1 Mrd. m³ (2030: 6,4 Mrd. m³) sowie das Klimaschutzpotenzial auf Werte zwischen 4 und 15 Mio. t CO₂-Äquivalente (2030: zwischen 7 und 25 Mio. t).

Als wichtige Randbedingung hierfür gilt, dass Biomethan, das nach der Biogasaufbereitung und der Einspeisung ins Erdgasnetz zur Verfügung steht, nur dort zur Stromerzeugung eingesetzt wird, wo auch der größte Teil der anfallenden Abwärme sinnvoll zur Substitution von fossiler Wärme genutzt werden kann. Als Konsequenz ergibt sich, dass die Einspeisung nicht zwingend der vorteilhafteste Pfad ist. Findet sich eine ortsnahe effiziente Nutzung der Abwärme, so kann durch die Verstromung von Biogas auch ohne Aufbereitung und Einspeisung ein hoher Beitrag zum Klimaschutz erreicht werden. Das Projekt zeigt deutlich, dass langfristig insbesondere die reine Verstromung von Biomethan – sei es dezentral nach Einspeisung oder lokal vor Ort – nicht der geeignete Weg ist, um den Energieträger zum höchsten ökologischen Nutzen einzusetzen. Die gemeinsame Erzeugung von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen hat dagegen über die reine Minderung von Treibhausgasen hinaus eine wichtige Systemfunktion für den Umbau des Energiesystems, der zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele notwendig ist.

8 Fazit und Ausblick

Die Bundesregierung beschreibt mit dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP) und der gesetzgeberischen Umsetzung in der Gasnetzzugangsverordnung anspruchsvolle Ziele für den Technologiepfad Biogaseinspeisung. Beabsichtigt ist die verstärkte Erschließung der Biogaspotenziale auf 6% des aktuellen Erdgasverbrauchs im Jahr 2020 bzw. 10% für das Jahr 2030. In konkreten Zahlen bedeutet dies, dass 2020 6 Mrd. Nm³ bzw. 10 Mrd. Nm³ im Jahr 2030 eingespeist werden sollen. Im Vergleich zum Stand Ende 2010 mit ca. 0,36 Mrd. Nm³ bedeutet dies eine Steigerung um den Faktor 17 in den nächsten zehn Jahren.

Die Umsetzung dieser Ziele hat somit eine hohe Raumbedeutsamkeit und zeigt sich als Wirkungen mit unterschiedlichem Flächenanspruch auf der regionalen Ebene. Dieser Anspruch umfasst den Bau von Biogas- und Einspeiseanlagen sowie den Anbau von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen mit Begleiterscheinungen wie einem erhöhten Biomassetransportaufkommen. Ist der Flächenanspruch für die Anlage noch als relativ gering zu bezeichnen, so zeigt sich die Raumbedeutsamkeit insbesondere durch den Bedarf an Flächen für die Substratbereitstellung. Es werden Methoden und Werkzeuge zur Analyse der Wirkungen auf den Raum und möglicher Zielkonflikte mit anderen Funktionen des Raums benötigt.

Ein Werkzeug zur Analyse der raumbezogenen Wirkungen ist im Rahmen des Projekts „Biogaseinspeisung“ entwickelt und an zwei Modellregionen erprobt worden. Seine Ergebnisse zeigen, dass auch bei maximal restriktiver Auslegung der aktuellen Flächennutzung bzw. Standortwahl in beiden Modellregionen eine flächendeckende Erschließung der Substrate über die ermittelten Standortsuchräume möglich ist. Abstände zu Schutzgebieten, Bebauung und Infrastrukturen stellen kein Hemmnis für die Erreichbarkeit der Biogasanlagenstandorte über das Straßennetz und somit auch nicht für die komplette Erschließung des landwirtschaftlichen Biomassepotenzials dar. Infrastrukturelle oder raumbezogene Hemmnisse können aus der Standortrestriktionsanalyse für die untersuchten Modellregionen nicht abgeleitet werden.

Die Standortsuchräume wurden GIS-gestützt auf ihre Entfernung zum Gasnetz hin evaluiert. In den Modellregionen existiert kein Standortsuchraum, der weiter als 10 km bis zur nächsten Gasleitung entfernt ist, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass alle Standortsuchräume prinzipiell an das Gasnetz angeschlossen werden können. Das System ist so weit offen konzipiert, dass die Möglichkeit der Prüfung des Standortfaktors „Entfernung zum Gasnetz“ auch in anderen Regionen erfolgen kann. Grundsätzlich werden bundesweit verfügbare (Geo-)Daten für die Analysen herangezogen, so dass die Übertragbarkeit der Werkzeuge gewährleistet ist.

Das Biogaspotenzial und damit auch das Potenzial der Biogaseinspeisung ist vor allem von der Flächenverfügbarkeit abhängig, die einerseits von agrarökonomischen, ökologischen und gesellschaftlich-politischen Rahmenbedingungen beeinflusst wird, andererseits jedoch genau darauf Auswirkungen hat. Diese Wirkungen eines erhöhten Flächenanspruchs durch den Energiepflanzenanbau lassen sich über raumbezogene, flächenscharfe GIS-gestützte Analysen einer umfassenden Nachhaltigkeitsbewertung zuführen.

Schon heute ist in einigen Regionen eine hohe räumliche Dichte von Biogasanlagen vorzufinden, die, insbesondere einhergehend mit einem hohen Besatz an Tieren (Veredelungsregionen), zu weiteren Zielkonflikten führen. Negative Auswirkungen auf die Gewässerqualität und die Leistungsfähigkeit des Bodens werden teilweise beobachtet bzw. sind zu erwarten. Erhöhte Nährstofffrachten in Grund- und Oberflächengewässern oder der Verlust von Humus in der obersten Bodenschicht werden als Auswirkungen bereits beschrieben. Mit einer kleinräumigen Verschärfung dieser und weiterer Auswirkungen ist auch vor dem Hintergrund des Klimawandels (u.a. Veränderung der Niederschlagsmengen, Starkregenereignisse, Dürreperioden) zu rechnen.

Auch die Bioenergie muss sich hier einer kritischen Betrachtung stellen, um neben den Zielen im Bereich des Klimaschutzes andere Aspekte der Nachhaltigkeit zu erfüllen. Geoinformationstechnologien können, wie im Projekt gezeigt, als Instrument zur Bereitstellung von räumlich konkreten Daten und Entscheidungsgrundlagen eingesetzt werden, um einen transparenten Planungsprozess auf verschiedenen Ebenen zu ermöglichen. Diese Ebenen umfassen einzelne bzw. vergleichende Standortanalysen im Rahmen der Bauleitplanung bis zur Analyse auf Ebene der Regionalplanung.

Anmerkungen

(1)

Das Verbundprojekt wurde von sieben Partnern unter Federführung von Fraunhofer UMSICHT bearbeitet. Eine Übersicht der Partner mit ihren jeweiligen Arbeitsschwerpunkten findet sich unter www.biogaseinspeisung.de.

(2)

Die vollständigen Projektergebnisse finden sich unter www.biogaseinspeisung.de/ergebnisse/bericht/.

(3)

Wuppertal Institut: Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. - Wuppertal 2006

(4)

Aktuelle Zahlen zum Stand von Biogaseinspeiseprojekten finden sich unter www.biogaspartner.de.

(5)

Geodaten sind digitale Informationen, denen auf der Erdoberfläche eine bestimmte räumliche Lage, etwa über ein Koordinatensystem, zugewiesen werden kann. Eine weitverbreitete Objektmodellierung in Geoinformationssystemen besteht darin, Geodaten einerseits mit ihrer geometrischen Form (z.B. shape), andererseits mit der zugehörigen Sachinformation (Attribute) abzulegen. Letztere können sich auch mit einer Referenz auf das geometrische Objekt beziehen.

(6)

Der Anbau einer Kulturart auf einer speziellen landwirtschaftlichen Fläche ist u.a. abhängig von den standortkundlichen Parametern (u.a. Boden, Niederschlag), der Fruchtfolge, der Ausrichtung des Betriebs sowie der Preislage auf den Agrarmärkten. In Summe bilden diese Faktoren die agrarökonomischen Randbedingungen.

(7)

RAUMIS = Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem; siehe auch Gömann, H., Kreins, P., Breuer, T.: Einfluss steigender Weltmarktpreise auf die Wettbewerbsfähigkeit des Energiemaisanbaus in Deutschland. – Münster 2008. = Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues, e.V. Bd. 43, Seite 517-527

(8)

Im Rahmen der hier vorgestellten Analysen der Klimaschutzpotenziale von eingespeistem Biogas wurde auf eine detaillierte Beschreibung der Erlöse verzichtet. Die Vergütungsvorschriften sind gesetzlich im § 27 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geregelt. Die Neufassung vom 4. Juli 2008 regelt für den Energieträger eine Grundvergütung und verschiedene Boni, deren Voraussetzungen an die Anlagencharakteristik (Größe, Einsatzstoff und Anwendungsbereich des Biogases) geknüpft sind. Eine vollständige Beschreibung der Kosten- und Erlösstrukturen für die Einspeisung von Biogas findet sich in der Studie „Kosten und

Technologien der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz“, die ebenfalls im Rahmen des Projekts entstanden ist (www.biogaseinspeisung.de/ergebnisse/).

(9)

CONCAWE; EUCAR: Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-to-WHEELS Report 2005

(10)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Leitstudie 2007. Ausbaustrategie Erneuerbare Energien (www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2007.pdf; 07.01.2011)

