

Eine Biomethananlage in Nordhausen:

Energiepolitische Rahmenbedingungen,
Standortbezogene Potenziale, Ermittlung einer CO₂-
Bilanz und ethische Aspekte der Bioenergienutzung

Eine Studie im Auftrag der Stadt Nordhausen

Laufzeit: 30.08.2012 - 30.01.2013

Auftragnehmer:

Institut für regenerative Energietechnik

Fachhochschule Nordhausen

99734 Nordhausen

Unterstützt durch

EKP Energie-Klima-Plan GmbH

99734 Nordhausen

Bearbeiter:

Prof. Dr.-Ing. Joachim Fischer - Fachhochschule Nordhausen

M.-Eng. Matthias Schwarze - EKP

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund	3
2	Energiepolitischer Hintergrund	3
2.1	Die politischen Rahmenbedingungen in Thüringen	4
2.2	Die Rolle der Bioenergie im regenerativen Energiemix.....	7
2.3	Die Rolle der Bioenergie in Thüringen	9
3	Potenziale und Biomasseverfügbarkeit für die geplante Biomethananlage Nordhausen	11
4	Vorgehensweise bei der Ermittlung der CO ₂ -Bilanz	14
4.1	Betrachtete Biomethananlage und Mengengerüst.....	17
4.2	Ergebnisse der Treibhausgas-Bilanzierung.....	18
4.2.1	Substratbereitstellung	18
4.2.2	Verluste durch Silierung.....	22
4.2.3	Substratcharakteristik.....	22
4.2.4	Transport	23
4.2.5	Prozessenergiebedarf.....	24
4.2.6	Gutschriften	28
4.3	Erstellen der Gesamtbilanz.....	28
4.4	Fazit der CO ₂ -Bilanz.....	34
5	Bioenergie statt Nahrungsmittel oder Bioenergie und Nahrungsmittel - Die ethische Diskussion um die Bedeutung der Bioenergie	36
5.1	Die regionale Ebene	36
5.2	Die internationale Ebene.....	38
5.3	Die agrar- und entwicklungspolitische Perspektive	40
5.4	Fazit: Bioenergie statt Nahrung? Oder Nahrung und Bioenergie?.....	44
6	Anhang.....	46
7	Quellenverzeichnis.....	47

1 Hintergrund

Seitens der Stadt Nordhausen wurde das Institut für regenerative Energietechnik der Fachhochschule Nordhausen mit der Bewertung der verfügbaren Biomasseressourcen und der Durchführung einer CO₂- Bilanz für eine geplante Biomethan-Anlage beauftragt. Ergänzend dazu sollte der energiepolitische Hintergrund der Bioenergienutzung sowie Grundsatzüberlegungen zu ethischen Aspekten der Bioenergienutzung erarbeitet werden.

Im Folgenden werden zunächst die energiepolitischen Rahmenbedingungen erläutert, (Kap.2), dann die Bewertung der regional verfügbaren Rohstoffe vorgestellt (Kap. 3). Kapitel 4 erläutert die Vorgehensweise bei der Durchführung der Bilanz und die stellt die Ergebnisse vor. Abschließend wird in Kap. 5 auf die ethischen Fragestellungen eingegangen.

2 Energiepolitischer Hintergrund

Im Kyoto-Protokoll 1997 wurden verbindliche Verpflichtungen für Industriestaaten zur Minderung von CO₂-Emissionen festgelegt /14/.Gegenüber 1990 sollen bis 2012 die anthropogenen Treibhausgasemissionen um insgesamt 5 Prozent reduziert werden. Nach der Klimakonferenz in Bali 2007 mit dem Beschluss zu Verhandlungen über die Weiterführung des internationalen Klimaschutzes nach 2012 konnten bislang keine Verpflichtungen zur Emissionsreduktion nach 2012 vereinbart werden. Als Wegweiser gilt aber die politische Vereinbarung der Klimakonferenz in Kopenhagen (2009), in deren Folge alle wichtigen Emittenten aus Industrie- und Entwicklungsländern (etwa 80 Prozent der globalen Emissionen laut BMU /15/ konkrete Klimaschutzziele und -maßnahmen vorgelegt haben. Die im November 2011 durchgeführte Konferenz in Durban (Südafrika) konnte die Erwartungen an ein internationales Klimaschutzabkommen genauso wenig erfüllen, wie die letzte Konferenz in Dohar im Dezember 2012. Letztlich wurde hier nur ein internationaler Minimalkonsens gefunden, der auf eine Fortschreibung des Kyoto-Protokolls hinausläuft. Dennoch hält die Bundesregierung und die EU an ihrem Ziel fest, die Treibhausgasemissionen so zu limitieren, das eine Begrenzung des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf 2 Grad Celsius möglich ist /17/. So erklärte die EU Im Zuge der Kopenhagener Vereinbarung (in Abs. 3 RL 2009/29/EG), ihre Emissionen um 20 Prozent und im Falle eines verbindlichen Abkommens um 30 Prozent bis 2020 zu reduzieren. Mit der Richtlinie „zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ (RL 2009/28/EG) als Teil des Europäischen Klima- und Energiepakets besteht erstmals eine europäische Gesamtregelung, die die Bereiche Strom, Wärme/Kälte und Treibstoffe aus erneuerbaren Energien bündelt. In Abs. 9 dieser Richtlinie sind die verbindlichen Ziele bis 2020, 20 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien zu decken sowie mindestens 10 Prozent des fossilen Treibstoffverbrauchs durch Biotreibstoffe zu ersetzen, enthalten. Unter Berücksichtigung der Ausgangslage und des Potenzials bestehen differenzierte nationale Ziele der einzelnen Mitgliedstaaten. Das Ziel für Deutschland mit 18 Prozent am Bruttoendenergieverbrauch wurde im Nationalen Aktionsplan für erneuerbare Energie /18/ festgehalten. Bereits vor der Verabschiedung des Nationalen Aktionsplans hatte die Bundesregierung mit dem „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG) 2004 und

2009 und dem „Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz“ (EEWärmeG) von 2009 gesetzliche Ziele für die Anteile der erneuerbaren Energien an der Strom- und Wärmeversorgung verankert. In der ab 1. Januar 2012 geltenden Fassung des EEG wird neben den bewährten Kernaspekten der Einspeisevergütung und des Einspeisemanagements mit dem Vorrang für Strom aus erneuerbaren Quellen eine kontinuierliche Steigerung des Anteils der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf 35 Prozent bis spätestens 2020 und auf 80 Prozent bis spätestens 2050 beschrieben. Das 2009 in Kraft getretene EEWärmeG enthält sowohl die Zielvorgabe, den Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis 2020 auf 14 Prozent zu erhöhen als auch eine Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien bei Neubauten. Als wichtiges Instrument auf Bundesebene, das auch für Thüringen von Bedeutung ist, soll an dieser Stelle noch das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG 2002) zur Erhöhung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung auf 25 Prozent sowie die Förderung von KWK-Anlagen genannt werden.

Neben diesen vornehmlich aus Klimaschutzgründen getriebenen Handlungen führte die Reaktorkatastrophe im japanischen Fukushima im Jahr 2011 zu einer deutlichen Beschleunigung des politischen Entscheidungsprozesses.

So vollzieht Deutschland zurzeit eine Energiewende. Ziel ist es, die Abhängigkeit von fossil-nuklearen Energieträgern schrittweise abzubauen. Dies gelingt nur mit konsequenter Umsetzung folgender Ziele:

1. Endliche sind durch erneuerbare Energieträger zu ersetzen.
2. Die Effizienz bei der Nutzung von Strom, Wärme und Treibstoffen ist zu steigern.
3. Der Ausbau der Netzinfrastruktur und der Energiespeicher ist zu forcieren.
4. Steigerung der regionalen Wertschöpfung durch den Einsatz erneuerbarer Energien.

Die derzeitige Diskussion um diese Energiewende zeigt aber auch, dass sie nur dann gelingt, wenn alle von ihr profitieren.

2.1 Die politischen Rahmenbedingungen in Thüringen

Die Herausforderungen und Chancen, die sich aus der Energiewende für Thüringen ergeben, unterstrich die Ministerpräsidentin im März 2011 in ihrer Regierungserklärung. Die Katastrophe von Fukushima stellt eine energiepolitische Zäsur dar, die einen beschleunigten Ausbau der regenerativen Energien als zwingend notwendig erscheinen lässt. Die Landesregierung beschloss daraufhin, bis 2020 den Anteil der regenerativen Energien am Nettostromverbrauch von derzeit rund 24 Prozent auf 45 Prozent und am Gesamtenergieverbrauch von derzeit rund 18 Prozent auf 30 Prozent zu steigern. Der Trendatlas Thüringen 2020 unterstreicht die Anstrengungen des Freistaates, die vereinbarten Ziele zügig umzusetzen /19/.

Bereits in der Koalitionsvereinbarung der Landesregierung (Lieberknecht, Matschie 2009) wurde festgehalten, dass Thüringen seine Vorreiterrolle bei den erneuerbaren Energien weiter ausbauen und zum grünen Motor Deutschlands werden soll. Auch das Eckpunktepapier "Neue Energie für Thüringen" /19/ konstatiert, dass sich nur mit einem Umbau des Energiesystems die energiepolitischen Ziele Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit, Klima- und Umweltverträglichkeit erreichen lassen. Vor diesem Hintergrund hat der Freistaat die Thüringer Energie- und Green-Tech-Agentur (ThEGA) als ein zentrales Informations- und Demonstrationszentrum für erneuerbare Energien und grüne Technologien gegründet.

Der Freistaat definiert Technologien im Bereich der erneuerbaren Energien als Zukunfts- und Wachstumsfeld. Entsprechend soll ein landesrechtlicher und förderspezifischer Rahmen geschaffen werden, der den Wettbewerb auf den Energiemärkten stimuliert, so dass eine Diversifizierung des Energieangebots entsteht. Die Raumordnung ist mit den erneuerbaren Energien als zentralem Baustein den neuen Herausforderungen entsprechend anzupassen.

In Anbetracht der internationalen und nationalen Zielstellungen zum Klimaschutz und dem notwendigen Umstieg auf erneuerbare Energien wurden im Eckpunktepapier der Landesregierung /19/ ambitionierte Ziele für 2020 definiert. Der Anteil erneuerbarer Energien am Nettostromverbrauch Thüringens soll bis 2020 auf 45 Prozent und am Endenergieverbrauch auf 30 Prozent gesteigert werden. Zur Erreichung dieser Ziele ist es notwendig die förderpolitischen Maßnahmen, wie beispielsweise das "1000-Dächer-Photovoltaik-Programm", das "Green-Tech-Programm" oder die "Thüringer Energieoffensive" fortzuführen und auszubauen.

Die Naturräume Thüringens, der geologische Aufbau und die klimatischen Bedingungen bieten regional unterschiedlich gute bis sehr gute natürliche Voraussetzungen zur Erzeugung erneuerbarer Energien. Hinzu kommt die stark ländlich geprägte Siedlungsstruktur mit wenigen Ballungsräumen und einer prognostizierten Bevölkerungsabnahme, die sich unmittelbar auf den Energiebedarf auswirken wird.

Die Energienetze sind derzeit noch nicht auf die zunehmende Dezentralisierung der Stromerzeugung und den notwendigen Energietransport von Nord- nach Süddeutschland ausgerichtet. Schwankende Stromeinspeisungen machen vor allem auf Mittel- und Niederspannungsebene einen Netzausbau erforderlich. Zum Ausgleich von Schwankungen in der Einspeisung erneuerbarer Energien sind intelligente Managementsysteme aber auch Energiespeicher notwendig.

Thüringen bietet sehr gute Voraussetzungen zum Ausbau der erneuerbaren Energien und hat mit Verabschiedung des Eckpunktepapiers der Landesregierung die richtigen Weichen zur Aktivierung der vorhandenen Ressourcen gestellt. Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 2001 durch das Thüringer Wirtschaftsministerium der „Thüringer Bestands- und Potentialatlas für erneuerbare Energien“ veröffentlicht /24/, der der Frage nachging, welche Potentiale und Möglichkeiten im Freistaat Thüringen bestehen, die Nutzung regenerativer Energien auszubauen. Ausgehend von einer Erfassung des erreichten Stands wurden die einzelnen technischen Potentiale für die jeweiligen regenerativen Energieträger bestimmt. Hierzu wurde eine sehr kleinräumige

Betrachtung auf Gemeindeebene gewählt, wodurch sehr detaillierte Aussagen zu den Einzelpotentialen möglich sind. Von besonderem Interesse war dabei die Frage, ob und wie die Ziele der Thüringer Landesregierung erreicht werden können, die von einem Beitrag der regenerativen Energien von 45% des Nettostromverbrauchs (derzeit rund 24%) und 30% des Endenergieverbrauchs (derzeit rund 18%). Die Ergebnisse der Szenarienanalyse zeigen, dass das Ziel „45% Strom aus Erneuerbaren Energien bis 2020“ realistisch ist und bereits im Referenzszenario fast erreicht wird. Dazu ist ein intelligenter Mix aus allen erneuerbaren Energien notwendig. Insbesondere das große Windpotential eröffnet Freiheitsgrade beim Ausbau der erneuerbaren Energien, die zur Kostendämpfung genutzt werden sollten. Biomasse als grundlastfähiger Energieträger besitzt im zukünftigen regenerativen Strommix eine hohe Bedeutung. Daher gilt es, die großen Potentiale im Strohbereich zu erschließen. Deutlich schwieriger ist der Umbau des Wärmemarkts hin zu erneuerbaren Energien. Ausgehend von einem Anteil von 7% regenerativer Energien im Wärmemarkt Thüringens im Jahr 2010 erscheint eine Verdoppelung auf ca. 15% realistisch. Hierzu ist allerdings eine konsequente Erschließung aller erneuerbaren Energieträger notwendig. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das große Windpotential eröffnet Freiheitsgrade beim Ausbau der regenerativen Energien. Windkraft bedeutet: Hohe installierte Leistung bei relativ geringem Flächenbedarf und verhältnismäßig niedrige Kosten pro Kilowatt. Vor diesem Hintergrund ist Auslastung der bestehenden Vorranggebiete zu optimieren. Ältere Anlagen sind im Rahmen des Repowerings mit Anlagen der neusten Generation zu ersetzen.
- Dach- und Fassadenflächen sind verstärkt für die photovoltaische Stromerzeugung zu nutzen. Von den ermittelten rund 10.000 ha solarer Nutzfläche (Dächer und Fassaden) sind aktuell noch nicht einmal 1% belegt. Da in Kürze auch kleinere Anlagen wirtschaftlich sein werden, ist eine Aktivierung dieser Solarpotentiale wahrscheinlich. Darüber hinaus sind zusätzliche solare Nutzflächen wie Brach-, Deponie- und Haldenflächen oder auch Verkehrskorridore zu erschließen. Die Anlage großflächiger Solarparks ist ihrer Umweltwirkung wegen raumordnungsrechtlich zu steuern. Wertvolle land- und forstwirtschaftliche Flächen sind zu schonen.
- Der Ausbau der Wasserkraftpotentiale ist aufgrund der für Thüringen charakteristischen eher kleinen Fließgewässer nur bedingt möglich. Die Leistung der bestehenden Wasserkraftanlagen kann durch Effizienzmaßnahmen gesteigert werden. Es sind jedoch durchaus nennenswerte Erträge an einigen bestehenden Wasserspeichern zu erzielen.
- Der Biomasse als grundlastfähige erneuerbare Energieoption wird zukünftig eine große Bedeutung zukommen. Besonders im Bereich der Strohnutzung bestehen noch erhebliche Potentiale. Durch Förderung von Forschung und Entwicklung in diesem Bereich könnte diese Technologie in den nächsten Jahren ausgereift sein und im erhöhten Maße zum Einsatz kommen. Hiervon könnten vor allem die ländlich geprägten Regionen profitieren.
- Die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme in den dafür geeigneten Gebieten kann durchaus einen Beitrag zur Erreichung der Energieziele leisten. Aufgrund

der bereits ausgereiften Technologie und einem sehr geringen Konfliktpotential wird diese in den nächsten Jahren zunehmen.

- Die Nutzung der tiefen Geothermie ist bei vorhandenen Wärmenetzen in den dafür geeigneten Gebieten sinnvoll und zu befürworten. Jedoch ist hier mit deutlich größeren Kosten zu rechnen, die bei Neu- oder Ausbau der Wärmenetze noch höher ausfallen können.
- In allen Verbrauchssektoren ist die Energieeffizienz voranzutreiben. Vor allem im Wärmebereich liegen noch große Einsparpotentiale. Eine Erhöhung der Sanierungsrate von aktuell 1% würde den Wärmebedarf senken und somit den relativen Anteil der regenerativen Wärmebereitstellung erhöhen. Ferner ist ein Einstieg in die Nutzung der Tiefengeothermie erforderlich. Die verstärkte Nutzung des großen geothermischen Potentials setzt einen Ausbau der Nah- und Fernwärmenetze voraus.

Insgesamt sind damit die Voraussetzungen sehr gut, die gesetzten Ziele in den nächsten Jahren zu erreichen. Damit könnte Thüringen beim Ausbau der erneuerbaren Energien eine Vorbildfunktion für andere Bundesländer einnehmen.

2.2 Die Rolle der Bioenergie im regenerativen Energiemix

Die bundesdeutsche Politik ist bei der Einführung regenerativer Energien im letzten Jahrzehnt durchaus erfolgreich gewesen. Insbesondere unter Wirkung des Erneuerbaren Energien Gesetzes, EEG, hat sich der Anteil erneuerbare Energien an der Endenergiebereitstellung sukzessive erhöht. Abb. 1 zeigt die Struktur dieser Energiebereitstellung, die sich im Jahr 2011 auf rund 300 TWh belief und damit rund 12 % des gesamten Endenergiebedarfs ausmachte.

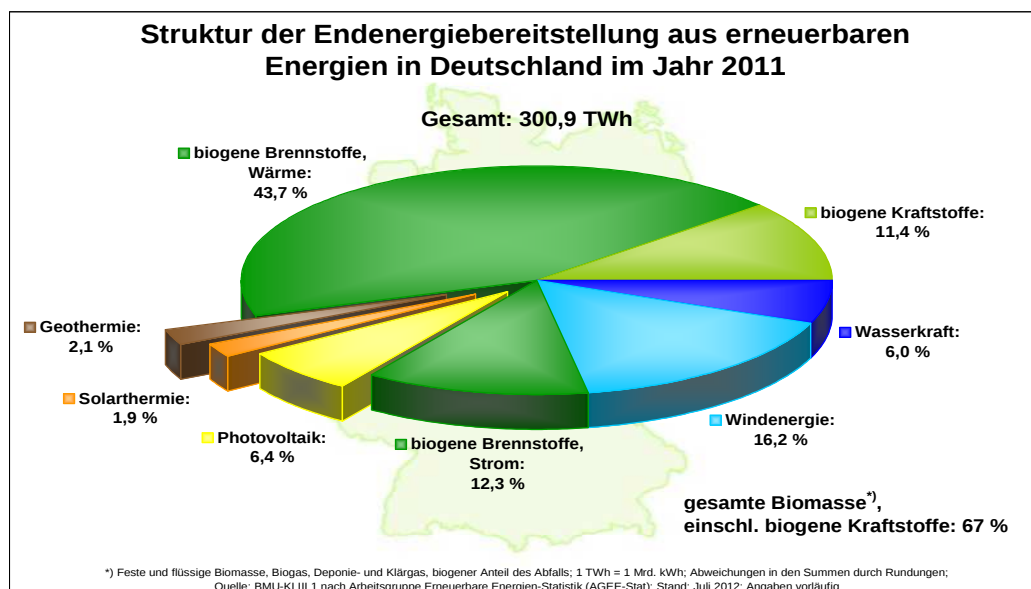


Abb.1: Struktur der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien, Quelle: /16/

Dabei zeigt Abb. 1 deutlich, dass die Bioenergie mit rund 67% Anteil den größten Beitrag zur dieser Endenergiebereitstellung leistete.

Ein näherer Blick weist allerdings auf deutliche Unterschiede im Einsatzbereich von Bioenergieträgern hin. So wird aus Abb. 2 deutlich, dass der Anteil der Bioenergie an der Stromerzeugung mit 39% deutlich geringer war, als ihr Beitrag zur gesamten Endenergiebereitstellung.

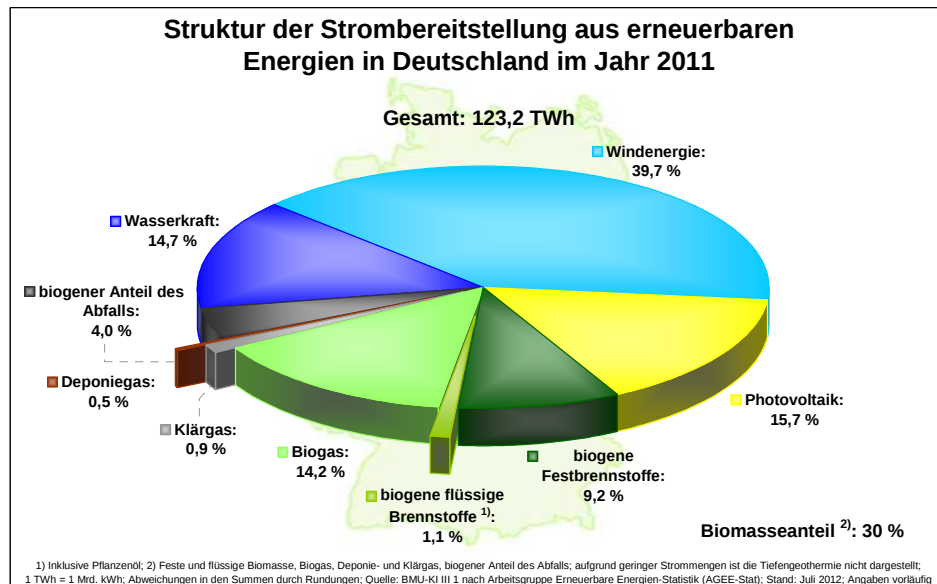


Abb. 2: Struktur der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien, Quelle: /16/

Dominant ist dagegen die Bedeutung der Bioenergie im Wärmemarkt, hier werden rund 92 % der gesamten regenerativen Wärme aus biogenen Quellen erzeugt, Abb. 3.

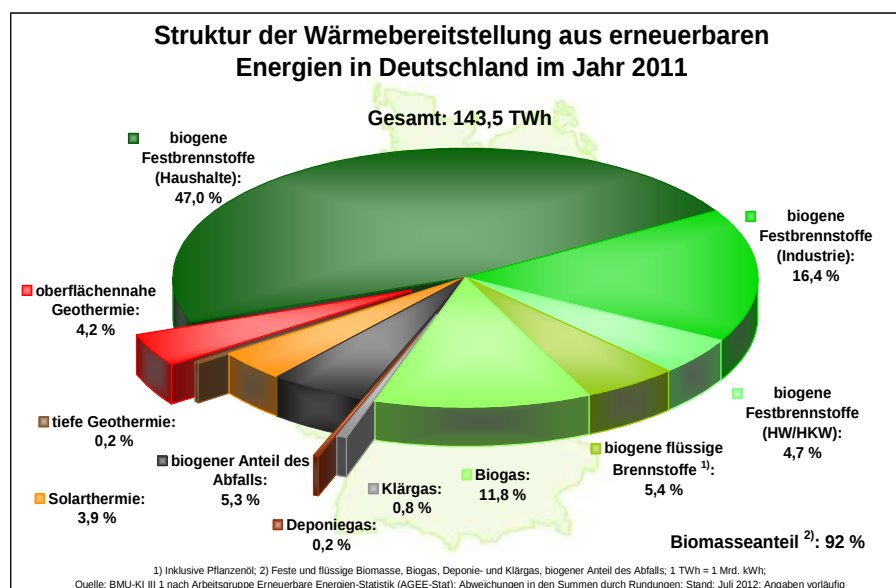


Abb. 3: Struktur der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien, Quelle: /16/

Damit leisten die regenerativen Energien insgesamt und die Bioenergie im speziellen einen wichtigen Beitrag zur Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen in

Deutschland. So belief sich die Gesamtmenge an vermiedenen Treibhausgasemissionen im Jahr 2011 auf rund 130 Mio. t CO₂ Äquivalente. Insgesamt leistet Bioenergie den höchsten Beitrag zur Minderung der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland, Abb. 4. Ohne einen gezielten, nachhaltigen Ausbau der Bioenergie wird die Energiewende in Deutschland nicht gelingen.

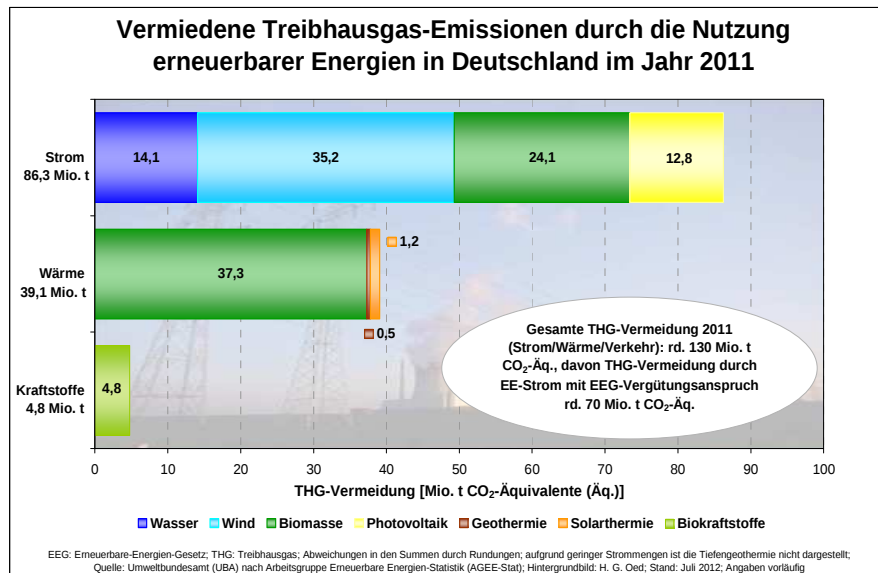


Abb. 4: Minderung der Treibhausgasemissionen durch die Nutzung regenerativer Energien, Quelle: /16/.

2.3 Die Rolle der Bioenergie in Thüringen

Auch im Freistaat Thüringen kommt der energetischen Nutzung von Biomasse bereits heute eine große Bedeutung zu. Nicht zuletzt aufgrund des Bioenergieprogramms des Freistaats konnten in den vergangenen Jahren große Erfolge beim Ausbau der Nutzung regionaler Bioenergieressourcen verzeichnet werden.

Wie Abb. 5 darstellt, liegt der Beitrag Bioenergie zu den erneuerbaren Energien (hier ist das Bezugsjahr allerdings das Jahr 2008) mit 82,5% sogar noch über dem Bundesdurchschnitt.

	Bund	Thüringen
Anteil EE am EEV	9,5	16,2
- Wasserkraft	9,1	3,3
- Windenergie	17,0	12,9
- Biomasse	70,1	82,5
- Photovoltaik	1,3	0,3
- Solarenergie	1,6	0,5
- Geothermie	1,0	0,4

Abb. 5 : Beitrag der regenerativen Energien zum Endenergieverbrauch in Thüringen im Jahr 2008, Quelle: /20/

Trotz dieses hohen Beitrags der Bioenergie zur Deckung des Endenergiebedarfs in Thüringen bestehen nach wie vor große Potenziale zum Ausbau der Bioenergienutzung. Dies unterstreicht auch eine Untersuchung die Biomassepotenziale und deren Nutzung durch die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft aus dem Jahr 2010, Abb. 6.

Herkunft/Energieträger	Verwertung	Potenzial		Ausschöpfung
		ha	TJ	%
Grünland-Silage/ Heu (Herbstaufwuchs)	Biogas/Verbrennung	20.000	800	18
Ackerland				
- Futterpflanzen-Silagen	Biogas (auch ZR)	50.000	6.600	42
- Kurzumtriebsplantagenholz	Verbrennung - Wärme	10.000	1.400	1
- Raps-Öl	Kraftstoff (Öl, RME)	50.000	4.100	100
- Getreide-Korn	Kraftstoff (Bioethanol)	20.000	1.900	100
- Getreide-Verwurfgetreide	Verbrennung - Wärme	5.000	500	5
Summe	LN (6,1 % am PEV 2007)	155.000	15.300	62
	AF (5,8 % am PEV 2007)	135.000	14.400	65

Abb. 6: Bioenergie: Potenziale und Nutzung in Thüringen, Quelle: /20/

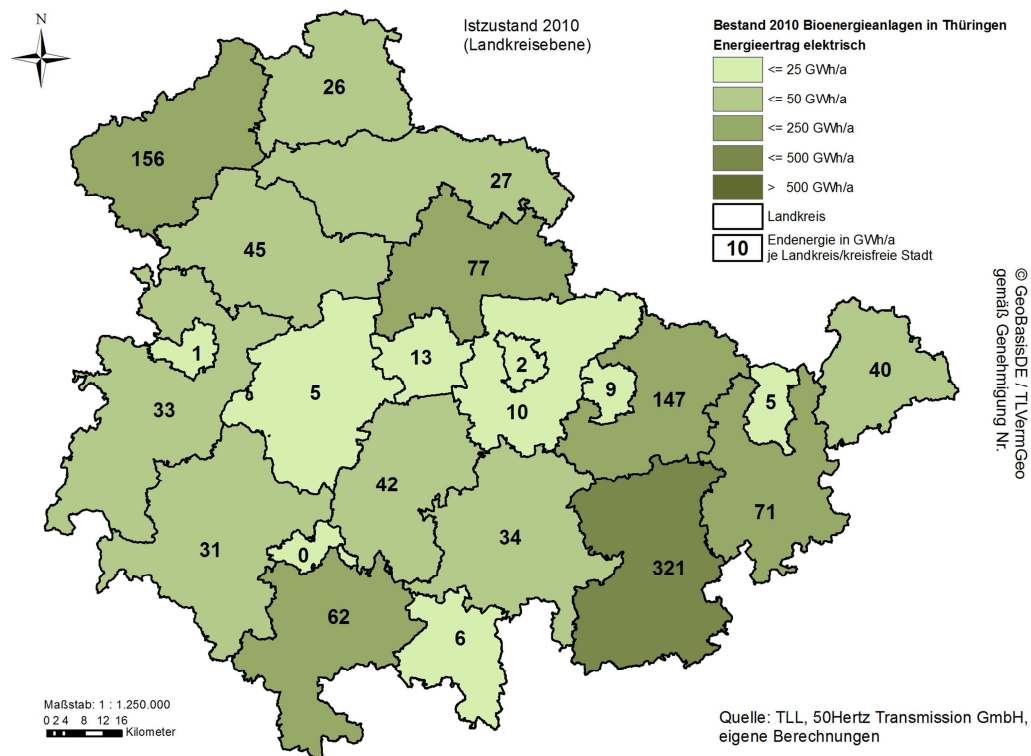


Abb. 7: Aktueller Stand der Nutzung - Biomasse (elektrisch) auf Landkreisebene /24/

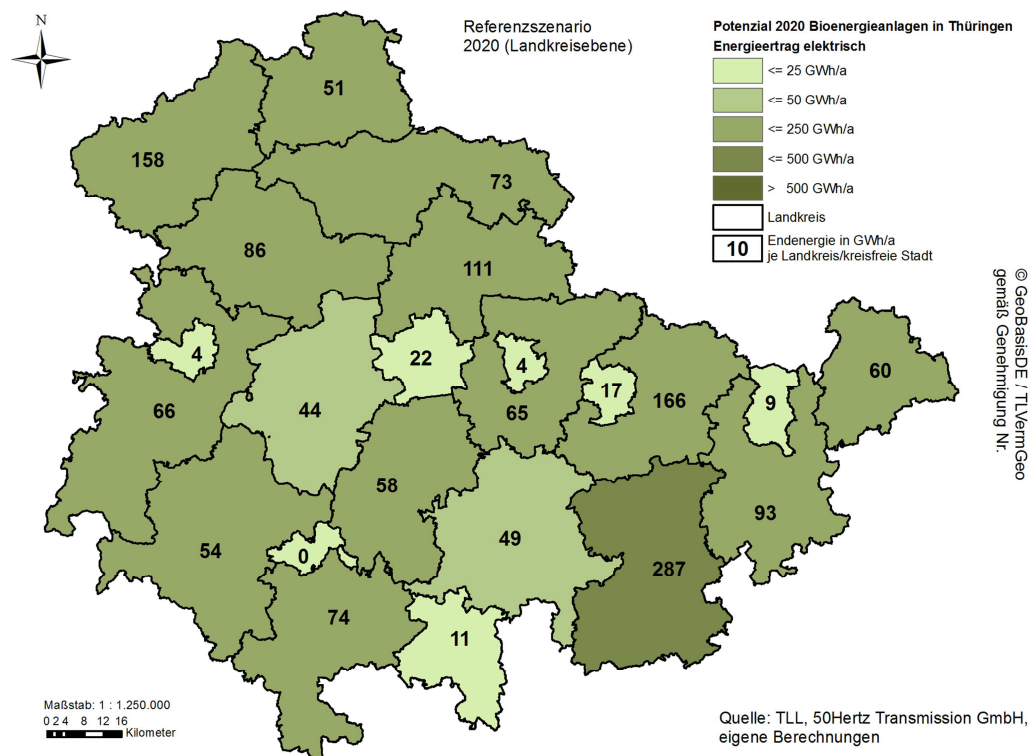


Abb. 8: Potenziale der Biomasse (elektrisch) im Referenzszenario auf Landkreisebene im Jahr 2020 /24/

Diese Ergebnisse werden auch durch die Ergebnisse der Potenzialstudie des Thüringer Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Technologie aus dem Jahr 2011 gestützt /24/. Hier zeigte sich, dass in allen Regionen Thüringens noch Potenziale zum Ausbau der Bioenergie bestehen. Abb, 7 stellt diese Potenziale summarisch dar, Abb, 8 zeigt dagegen zum Vergleich die aktuelle Bioenergienutzung.

3 Potenziale und Biomasseverfügbarkeit für die geplante Biomethananlage Nordhausen

Wie zuvor dargestellt, hat der Freistaat Thüringen mit seinem Energiekonzept den Umbau des Energiesystems zu einem zentralen Handlungsfeld der Landesregierung gemacht. Dabei nimmt die Biomasse eine entscheidende Rolle ein. Die Entwicklung der Bioenergie im Freistaat ist im Thüringer Bioenergieprogramm aus dem Jahr 2006 dargestellt. Darin sind die Potenziale biogener Energieträger aufgezeigt, die durch die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) an die gegenwärtigen landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen angepasst wurden.

Um die ehrgeizigen Ziele der Landesregierung im Bereich des Klimaschutzes und der regenerativen Energieerzeugung zu erreichen, ist es notwendig die vorhandenen Potenziale unter Beachtung ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte möglichst weitgehend zu nutzen /21/. Die Biomassepotenziale setzen sich dabei aus

verschiedenen Fraktionen zusammen (Stroh, Gülle, Stallmist, biogene Abfälle, Waldrestholz, Anbaubiomasse), die unterschiedlichen Ursprungs sind. In der Biomethananlage ist geplant, Silomais (24.000t), Schlempe (24.000t) und Zuckerrübenschnitzel (1.000t) als Substrate einzusetzen.

Die TLL geht davon aus, dass 20 bis 25% der Ackerfläche und 10% des Grünlandes ohne Gefährdung des Nahrungsmittelbedarfs in Thüringen und des Exports hochwertiger Nahrungsrohstoffe und -mittel für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung steht. Das entspricht einer Ackerfläche von rund 135.000ha. Diese Fläche steht zum Anbau von Biogaspflanzen, Raps und Getreide für die Biokraftstoffherstellung oder schnell wachsenden Baumarten (Kurzumtriebsplantagen) zur Verfügung. Das Potenzial zur Bereitstellung von Futterpflanzen-Silage (Mais) ist mit einer Fläche von 50.000ha angegeben /20/. Bezogen auf die gesamte, zur Verfügung stehende Ackerfläche zum Anbau von Energiepflanzen, entspricht dies einem Anteil von rund 40%.

Die Maisanbaufläche im Landkreis Nordhausen betrug 2012 laut Angaben des Kreisbauernverbandes Nordhausen e.V. rund 2.000 ha. Hier sind derzeit sieben Biogasanlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von 5.125kW installiert (EEG-Anlagenstammdaten des zuständigen Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH). Es ist davon auszugehen, dass in sechs Anlagen mit einer Gesamtleistung von insgesamt 3.525 kW Maissilage als Substrat eingesetzt wird. Pro kW installierter elektrischer Leistung kann ein Flächenbedarf von 0,5ha angenommen werden /22/. Demnach werden rund 1.800ha Maisanbaufläche benötigt. Hinzu kommt ein voraussichtlicher Flächenbedarf von 600ha für die geplante Biomethananlage. Die Maisanbaufläche würde dann rund 2.400ha betragen.

Der Gesamtanteil der Maisanbauflächen 2012 und den geplanten Maisanbauflächen für die Biomethananlage an der Gesamtackerfläche des Landkreises Nordhausen (ca. 31.000ha) beträgt rund 8% (2.400ha). Dies entspricht etwa einem Anteil von 40% der theoretisch zur Verfügung stehenden Anbaufläche für Energiepflanzen (rund 6.200ha).

Projiziert man die Thüringer Verhältnisse auf den Landkreis Nordhausen, so ist das Maximalpotenzial zum Anbau von Mais (Futterpflanzen-Silage) nach dem Bau der Biomethananlage nahezu ausgeschöpft.

Die eingesetzte Schlempe fällt als Reststoff bei der Spirituosen Herstellung (Echter Nordhäuser GmbH) an und ist damit flächenunabhängig. Die vergleichbar geringe Menge an Zuckerrübenschnitzeln wird durch die Südharzer Landhandelsgesellschaft mbH bereitgestellt. Bei mittlerem Ertragsniveau (55t/ha) sind zur Bereitstellung von 1.000t Zuckerrüben ca. 18ha Anbaufläche notwendig. Die einzusetzende Zuckerrübenmenge entspricht rund 2% der im Jahr 2011 im Landkreis Nordhausen geernteten Zuckerrübenmenge (61.660t) /23/.

Die folgenden Abbildungen stellen Einzugsbereiche der Mais-Lieferbetriebe der geplanten Biomethananlage für zwei unterschiedliche Standorte (Himmelgarten und Bielen) dar.

Zur Ermittlung der durchschnittlichen Transportentfernung der notwendigen Biomasse wurde zunächst für jeden Lieferbetrieb das Zentrum der bewirtschafteten Flächen ermittelt (blauer Punkt). Die Entfernung zu dem am weitesten entfernten Punkt, ausgehend vom jeweiligen Standort, bildet den Radius des maximalen Einzugsbereichs. Für den Standort Himmelgarten wurde eine Maximalentfernung von 9,7km und für den Standort Bielen eine Maximalentfernung von 10,9km ermittelt. Bei der Erstellung der CO₂-Bilanz wurde eine Maximalentfernung von 30km (einfache Fahrt) angenommen.

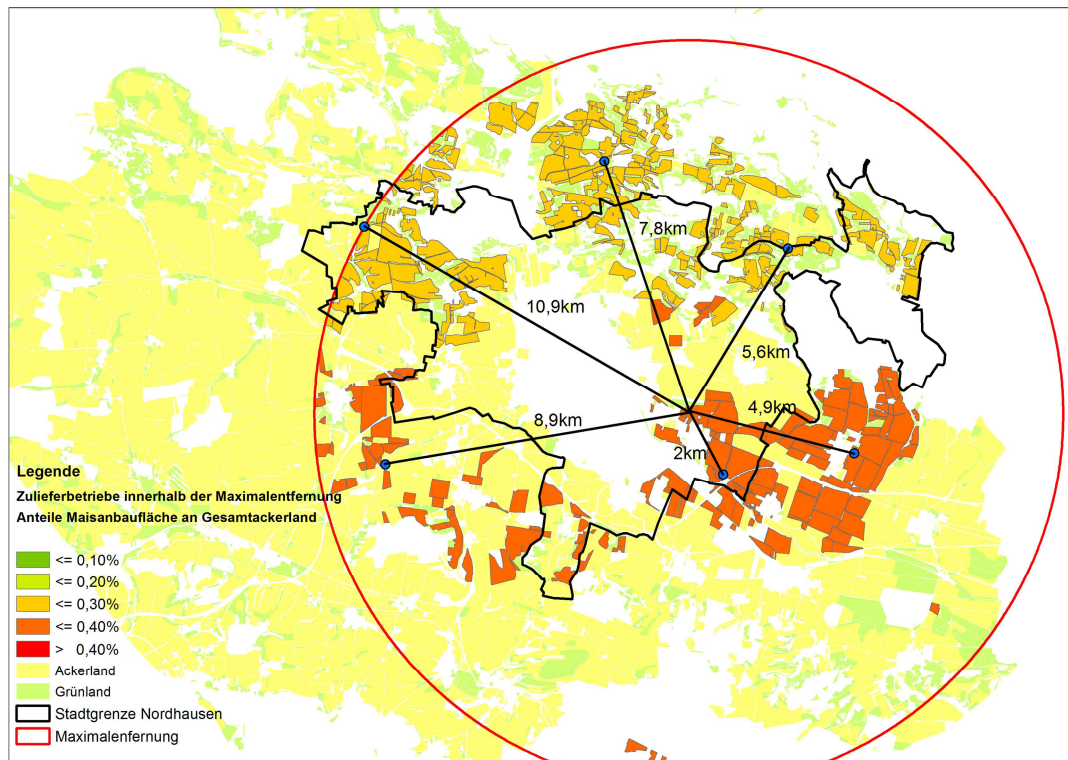


Abb. 9: Darstellung der Maximalentfernung der Lieferbetriebe zum Standort Bielen

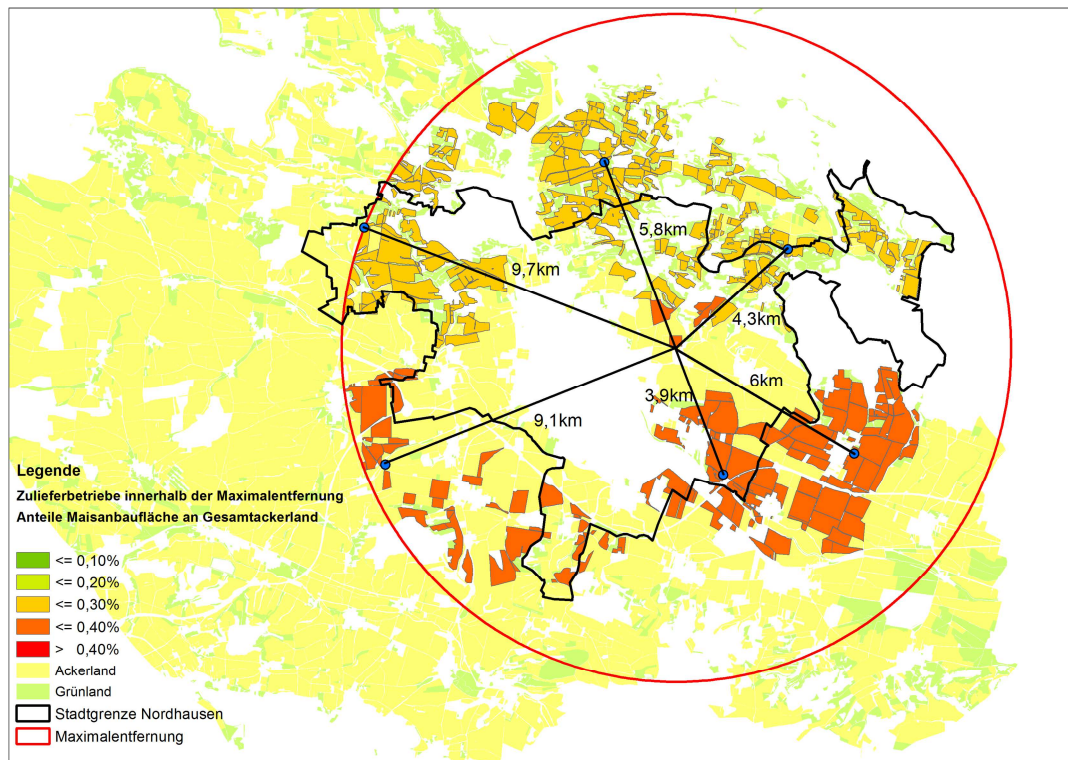


Abb. 10: Darstellung der Maximalentfernung der Lieferbetriebe zum Standort Himmelgarten

4 Vorgehensweise bei der Ermittlung der CO₂-Bilanz

Die Ermittlung der CO₂- Bilanz erfolgte in Anlehnung an die Norm ISO 14040/14044 zur Erstellung von Ökobilanzen.

Hierbei erfolgt eine Erfassung der klimawirksamen Emissionen entlang der Prozesskette der Biogaserzeugung (einschließlich des Substratanbaus) bis zur Nutzung.

Für jeden Prozessschritt werden die Emissionen erfasst, auf CO₂-Äquivalente umgerechnet und aufsummiert.

Dabei umfasst die Prozesskette folgende Einzelelemente:

- Biomasseanbau (Silomais und Zuckerrübe)
- Transport der Substrate (Mais, Zuckerrübe, Schlempe)
- Silierung und Lagerung der Substrate
- Biogaserzeugung
- Biogasspeicherung
- Biogasaufbereitung und –einspeisung
- Biomethannutzung in einem BHKW
- Gärrestlager

- Transport der Gärreste und Ausbringung

Durch die erzeugten Endprodukte „Biomethan“ und „Gärrest“ können andere Prozesse ersetzt werden, hier die Nutzung von konventionellem Erdgas in einem BHKW bzw. der Einsatz von Mineraldünger in der Landwirtschaft. Entsprechend ergeben sich Gutschriften für die biogene Prozesskette. Sind diese Gutschriften größer als die Belastungen durch die Prozesskette „Biogas“, so ergibt sich eine Netto-Einsparung von klimawirksamen Emissionen.

Zur Veranschaulichung stellt die folgende Abbildung den Bilanzrahmen schematisch dar. Die wesentlichen Stoffströme und Prozessstufen sind eingezeichnet. Die grünen Pfeile bzw. Prozessschritte stehen für Stufen, die einen Nutzen generieren (beispielsweise „Gewinnung von Biogas“) bzw. zu einer Minderung der CO₂-Emissionen beitragen können, rot dargestellt sind die Prozessstufen bzw. Flüsse, aus denen ein Aufwand bzw. eine Lastschrift an Treibhausgasemissionen resultiert.

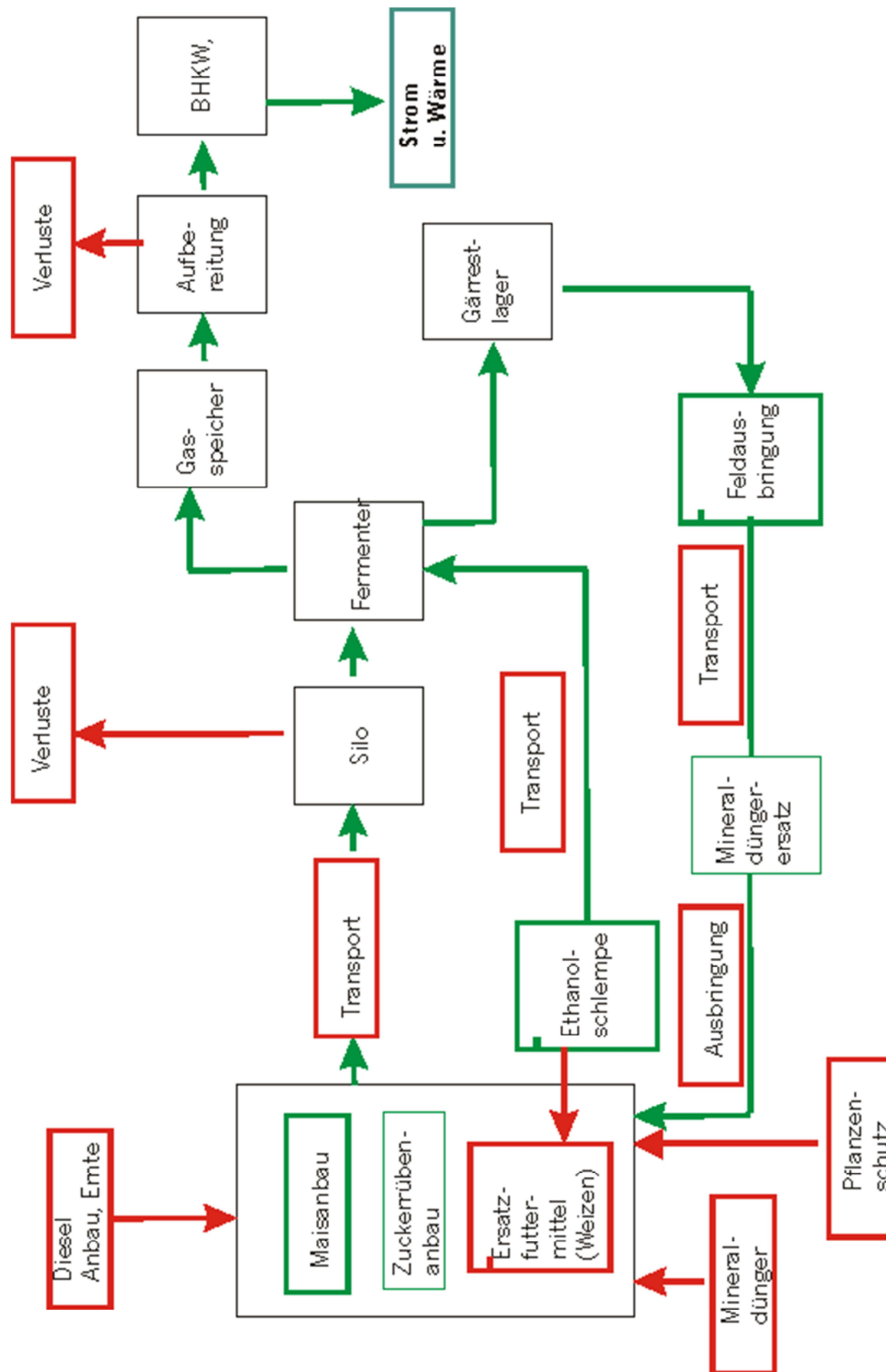


Abb. 11: Schema der Biomethangewinnung und der betrachteten Prozessschritte bzw. Stoffströme, grün: Nutzen/Gutschrift, rot: Aufwand/Lastschrift

Im vorliegenden Fall werden neben speziell angebauten landwirtschaftlichen Produkten (Mais, Zuckerrübe) auch Reststoffe aus der Verarbeitung (EthanolSchlempe) eingesetzt. Da diese Schlempe zurzeit verfüttert wird, muss bei einer energetischen Schlempenutzung eine äquivalente Menge an Futtermittel angebaut werden. Die sich aus Erzeugung und Transport dieser Futtermittel (hier: Weizen) ergebenden Belastungen werden als zusätzliche Lastschriften in die Bilanz integriert und mindern die zuvor ermittelten Gutschriften.

Zur Bewertung des Treibhauseffekts werden die Emissionen von CO₂, Methan und Lachgas (N₂O) herangezogen. Dabei werden die Methan- und Lachgasemissionen auf CO₂-Äquivalente umgerechnet. Die entsprechenden Umrechnungsfaktoren sind durch das International Panel of Climate Change (IPCC) vorgegeben.

Tabelle 1: Emissionsfaktoren für Treibhausgase („Äquivalenzwerte“), Quelle: /1/

in kg CO ₂ -Äq	Äqui.wert
CO ₂ fossil	1
CH ₄ fossil	27,75
CH ₄ regenerativ	25
N ₂ O	298

4.1 Betrachtete Biomethananlage und Mengengerüst

Die hier untersuchte Biomethananlage soll rund 700 m³ Biogas pro Stunde zu Biomethan aufbereiten. Hierzu werden pro Jahr 48.000t Rohstoffe benötigt, die sich wie folgt aufteilen:

- Maissilage 23.000 t
- Schlempe 24.000 t
- Zuckerrübenschnitzel 1.000 t.

Die zur Biogasproduktion benötigte Prozesswärme wird durch die thermische Nutzung eines Teils des Biogases gedeckt, eine Stromerzeugung findet am Standort nicht statt, d. h. die elektrische Prozessenergie wird aus dem öffentlichen Netz bezogen.

Die Biogasaufbereitung erfolgt über eine physikalische Druckwäsche mit einem organischen Absorptionsmittel.

Die hierzu erforderliche Prozessenergie wird, genauso wie der Energiebedarf der nachfolgenden Verdichtung, berücksichtigt.

Bei der Gasnutzung wird davon ausgegangen, dass das erzeugte Biogas in den bestehenden BHKW der EVN zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt wird und eine energetisch äquivalente Menge an Erdgas ersetzt. Weitere Nutzungsmöglichkeiten für das Biomethan, etwa als Kraftstoff, wurden nicht berücksichtigt.

Diese Zahlen und die weiteren Daten wurden den Auftragnehmern von der EVN Nordhausen zur Verfügung gestellt und teilweise durch eigene Recherchen ergänzt bzw. verifiziert.

4.2 Ergebnisse der Treibhausgas-Bilanzierung

4.2.1 Substratbereitstellung

Die landwirtschaftlichen Produktionsketten sind für die Substrate Mais und Zuckerrübe von Belang. Entsprechend wurden hier die Aufwendungen zu Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte einbezogen. Die erwarteten Erträge wurden regionaltypisch erfasst (z.B. Mais 40 t/ha).

Für die dritte Rohstoff-Fraktion „EthanolSchlempe“ wurden diese Vorketten nicht berücksichtigt, da die Schlempe einen Reststoff einer bestehenden Ethanolproduktion darstellt und somit auch bisher anfällt. Durch die Nutzung in der Biogasanlage wird also die Prozesskette „Ethanolgewinnung“ nicht zusätzlich beansprucht.

Allerdings muß der Ausfall der Schlempe als Futtermittel durch den zusätzlichen Anbau von Futtermitteln (hier Weizen) kompensiert werden. Diese Aufwendungen der Produktion einer nährstoffäquivalenten Menge wurde entsprechend einbezogen.

Tabelle 2: Grunddaten zum Anbau der benötigten landwirtschaftlichen Substrate
Quelle: /2,3, 4/

		Silomais	Zuckerrübe
Ertrag	t/ha	40	55
Saatgutmenge	kg/ha	28	2
PSM	kg/ha	3	6
N-Dünger	kg/ha	165,75	160
P2O5 Dünger	kg/ha	72,7	65
K2O Dünger	kg/ha	180	160
CaO Dünger	kg/ha	11	10
Dieserverbrauch	kg/ha	81,5	116

In der Gesamtbilanz besitzen diese Vorketten eine große Bedeutung für die klimawirksamen Emissionen.

Tabelle 3: Grunddaten zum Anbau des alternativen Futtermittels (Weizen, Korn u. Stroh) /Quelle: 3,4/

		Weizen
Ertrag	t/ha	16
Saatgutmenge	kg/ha	84
PSM	kg/ha	3
N-Dünger	kg/ha	200
P2O5 Dünger	kg/ha	70
K2O Dünger	kg/ha	120
CaO Dünger	kg/ha	10
Dieselvebrauch	kg/ha	83,3

Da die angebauten Rohstoffe üblicherweise mit Mineraldüngern gedüngt und gemäß der guten landwirtschaftlichen Praxis in der Wachstumsphase mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden, sind auch diese Aufwendungen, soweit sie klimarelevante Emissionen nach sich ziehen, zu berücksichtigen. Die hier verwendeten Grunddaten sind in den Tabellen 4 und 5 zusammengefasst.

Tabelle 4: Treibhausgasemissionen der Mineraldüngerbereitstellung, Quelle: /5/

Mineraldünger		N-Dünger	P2O5-Dünger	K2ODünger	CaODünger
CO2 fossil	g/kg	2686	1114	616,5	284,3
CH4	g/kg	7,446739	2,418	1,378	0,2855
CH4 reg	g/kg				
N2O	g/kg	12	0,03232	0,04905	0,0194
CO2 fossil	g CO2-Äq/kg	2686	1114	616,5	284,3
CH4	g CO2-Äq/kg	206,64701	67,0995	38,2395	7,922625
CH4 reg	g CO2-Äq/kg	0	0	0	0
N2O	g CO2-Äq/kg	3576	9,63136	14,6169	5,7812
Summe IPCC 2007	g CO2-Äq/kg	6469	1191	669	298

Tabelle 5: Treibhausgasemissionen der Pflanzenschutzmittel, Quelle: /5/

Pflanzenschutzmittel		
CO2 fossil	g/kg	11220
CH4	g/kg	31
CH4 reg	g/kg	
N2O	g/kg	1,61
CO2 fossil	g CO2-Äq/kg	11220
CH4	g CO2-Äq/kg	860,25
CH4 reg	g CO2-Äq/kg	0
N2O	g CO2-Äq/kg	479,78
Summe IPCC 2007	g CO2-Äq/kg	12560

Ebenfalls zu berücksichtigen ist der Dieseleinsatz für die eingesetzten landwirtschaftlichen Fahrzeuge beim Anbau, der Pflege und der Ernte. Diese Daten fasst Tabelle 6 zusammen.

Tabelle 6: Treibhausgasemissionen des Dieseleinsatzes bei Anbau und Ernte, Quelle: /5/

Dieseleinsatz		
CO2 fossil	g/kg	3623
CH4	g/kg	3,837
CH4 reg	g/kg	
N2O	g/kg	0,3419
CO2 fossil	g CO2-Äq/kg	3623
CH4	g CO2-Äq/kg	106,47675
CH4 reg	g CO2-Äq/kg	0
N2O	g CO2-Äq/kg	101,8862
Summe IPCC 2007	g CO2-Äq/kg	3831

Mit diesen Grunddaten lassen sich die Treibhausgasemissionen für die verschiedenen eingesetzten Rohstoffe sowie den ergänzenden Anbau von Weizen (Ersatz der Schlempe als Futtermittel) berechnen. Die Ergebnisse sind, auf CO₂-Äquivalente pro Tonne umgerechnet, in den Tabellen 7 – 9 dargestellt.

Tabelle 7: Ergebnisse: Treibhausgasemissionen des Silomaisanbaus in kg CO₂-Äq. pro t

Silomais						
		CO2	CH4	CH4 reg	N2O	Summe
PSM	kg CO2-Äq	0,842	0,065	0	0,036	0,942
N-Dünger	kg CO2-Äq	11,130	0,856	0	14,818	26,804
P205-Dünger	kg CO2-Äq	2,025	0,122	0	0,018	2,164
K20-Dünger	kg CO2-Äq	2,774	0,172	0	0,066	3,012
CaO-Dünger	kg CO2-Äq	0,078	0,002	0	0,002	0,082
Dieserverbrauch	kg CO2-Äq	7,382	0,217	0	0,208	7,806
N2O Acker	kg CO2-Äq	0,000			17,8	17,800
Summe kg	kg CO2-Äq	24,231	1,434	0,000	32,946	58,611

Tabelle 8: Ergebnisse: Treibhausgasemissionen des Zuckerrübenanbaus in kg CO₂-Äq. pro t

Zuckerrübe						
		CO2	CH4	CH4 reg	N2O	Summe
PSM	kg CO2-Äq	1,224	0,094	0	0,052	1,370
N-Dünger	kg CO2-Äq	7,814	0,601	0	10,403	18,818
P205-Dünger	kg CO2-Äq	1,317	0,079	0	0,011	1,407
K20-Dünger	kg CO2-Äq	1,793	0,111	0	0,043	1,947
CaO-Dünger	kg CO2-Äq	0,052	0,001	0	0,001	0,054
Dieserverbrauch	kg CO2-Äq	7,641	0,225	0	0,215	8,081
N2O Acker	kg CO2-Äq	0,000			17,8	17,800
Summe kg	kg CO2-Äq	19,841	1,112	0,000	28,525	49,477

Tabelle 9: Ergebnisse: Treibhausgasemissionen des Weizenanbaus in kg CO₂-Äq. pro t

Weizen						
		CO ₂	CH ₄	CH ₄ reg	N ₂ O	Summe
PSM	kg CO ₂ -Äq	2,104	0,161	0	0,090	2,355
N-Dünger	kg CO ₂ -Äq	33,575	2,583	0	44,700	80,858
P205-Dünger	kg CO ₂ -Äq	4,874	0,294	0	0,042	5,209
K20-Dünger	kg CO ₂ -Äq	4,624	0,287	0	0,110	5,020
CaO-Dünger	kg CO ₂ -Äq	0,178	0,005	0	0,004	0,186
Dieserverbrauch	kg CO ₂ -Äq	18,862	0,554	0	0,530	19,947
N ₂ O Acker	kg CO ₂ -Äq	0,000			17,8	17,800
Summe kg	kg CO₂-Äq	64,216	3,884	0,000	63,276	131,376

Dabei entfallen rund 29% der Treibhausgasemissionen der gesamten Prozesskette auf den Substratanbau, der Anbau der zusätzlich benötigten Futtermittel trägt mit weiteren 3,4 % zu den Gesamtemissionen bei. Die landwirtschaftliche Produktion verursacht somit rund 1/3 der Treibhausgasemissionen der gesamten Prozesskette.

4.2.2 Verluste durch Silierung

Der angebaute Mais wird für den Einsatz in der Biogasanlage zur Lagerung siliert. Dabei entstehen Verluste, da ein Teil der organischen Substanz bei der Lagerung abgebaut wird. Zur Bewertung dieser Verluste werden hier 10 Massenprozent angesetzt, basierend auf Vergleichsdaten aus der Literatur (/12/). Durch diese Verluste erhöhen sich die Treibhausgasemissionen des Maisanbaus entsprechend.

4.2.3 Substratcharakteristik

In der Tabelle Anhang A1 sind die Grunddaten für die Einzelsubstrate erfasst. Diese Daten stützen sich auf Literaturwerte (/3,4,8,9/), aus denen Mittelwerte bestimmt wurden.

Ähnlich wurde bei der Erfassung der Grunddaten für die Gärreste verfahren, Anhang, Tabelle A2. Um die jeweilige Gärrestmasse zu erfassen, wurde der Abbaugrad der organischen Trockensubstanz, oTS, herangezogen. Ferner setzt der organische Abbau auch Stickstoffverbindungen um, die zum Teil als Ammonium aber auch als Stickstoff freigesetzt werden. Dieser Stickstoffverlust wird nach Literaturangaben (/3,4,8,9/) mit 10 % (Mittelwert) angenommen. Im Gärest kommt es zu einer Anreicherung von Ammonium, dieser Anreicherungsfaktor wird, gestützt auf die erwähnte Literatur, mit 1,8 festgelegt.

4.2.4 Transport

Der Transport der Substrate erfolgt per LKW. Auch die Gärreste werden per LKW von der Biogasanlage abtransportiert. Zur Erfassung der damit verbundenen Klimagasemissionen wurden Fahrstrecken ermittelt. Dabei wurden die längsten zu erwartenden Strecken (30 km einfache Fahrt bei Mais, Zuckerrübe, 5 km bei Schlempe) zugrunde gelegt. Die Emissionen der LKWs wurden dem Programm GEMIS des Ökoinstituts entnommen /6/. Wie zuvor, werden diese Emissionen dann auf CO₂-Äquivalente umgerechnet, Tabelle 11.

Tabelle 10: Emissionsfaktoren für den LKW-Transport in g/km, Quelle: /6/

LKW Transport			
		innerorts	außerorts
CO ₂	g/km	923,364	607,546
CH ₄	g/km	0,02	0,007896
N ₂ O	g/km	0,012478	0,01091

Tabelle 11: Emissionsfaktoren für den LKW-Transport in CO₂- Äq. in g/km,

LKW Transport			
Strecke 30 km		innerorts	außerorts
CO ₂	CO ₂ Äq. g/km	9233,64	12150,92
CH ₄	CO ₂ Äq. g/km	5,677317	4,38228
N ₂ O	CO ₂ Äq. g/km	37,18325	65,02241
SUMME	CO₂ Äq. g/km	9276,5	12220,3
Gesamtsumme	CO₂ Äq. g/km	21496,8	

Anmerkung: Zugrunde liegt eine Fahrtstrecke von 30 km (einfache Fahrt) mit einem Innerorts-Anteil von 10 km.

Im Weiteren ist zu berücksichtigen, dass pro LKW-Fahrt unterschiedliche Stoffmengen transportiert werden. So werden für den Transport der landwirtschaftlichen Rohstoffe Transportmengen von 15 t/Fahrt, für die Schlempe dagegen von 10 t/Fahrt zugrunde gelegt, (Quelle: /7/). Auch für den Abtransport und die Ausbringung der Gärreste wird von einer Transportmenge von 10 t/Fahrt ausgegangen. Die sich so ergebenden Treibhausgasemissionen der verschiedenen Transporte fasst Tabelle 12 zusammen.

Tabelle 12: Ergebnisse: Treibhausgasemissionen des Transports in kg CO₂-Äq. pro t transportiertes Gut

LKW-Transport		
Gesamtsumme		
Landwirt. Rohstoffe	CO ₂ Äq. g/t	1433,1
Schlempe	CO ₂ Äq. g/t	463,8
Gärreste	CO ₂ Äq. g/t	2149,7

Anmerkung: Für die landwirtschaftlichen Rohstoffe (Mais, Zuckerrübe, Weizen) und die Gärreste werden 30 km Transportentfernung zugrunde gelegt, für die Schlempe dagegen 5 km (innerorts).

Der Substrattransport hat mit rund 0,8 % nur einen geringen Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen, der Rücktransport und die Ausbringung der Gärreste trägt dagegen mit ca. 11% einen weitaus höheren Anteil bei. Der Grund liegt in den bei der Gärrestausrückführung freiwerdenden Lachgasemissionen, die zwar mengenmässig gering sind, aufgrund der hohen Klimawirksamkeit des Lachgases (Faktor 210 gegenüber CO₂) aber ein starkes Gewicht bekommen.

4.2.5 Prozessenergiebedarf

In der CO₂-Bilanz sind folgende Einflussgrößen zu berücksichtigen:

Eigenbedarf der Biogasanlage Wird Biogas auf Erdgas aufbereitet, so gibt es grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten, den Eigenbedarf der Biogasanlage zu decken. Im vorliegenden Fall wird das Biogas vollständig der Aufbereitung zugeführt und der Strombedarf der Anlage aus dem öffentlichen Netz gedeckt.

Da die gesetzlichen Regelungen eine regenerative Bereitstellung der Prozesswärme für den Gesamtprozess der Biogaserzeugung und -aufbereitung fordern, wird die erforderliche Prozesswärme am Standort aus der Nutzung eines Teils des erzeugten Biogases, das vor der Aufbereitung entnommen und in einem Gaskessel genutzt wird (Rohgasbedarf Kessel 17 Nm³/h, Quelle: /7/).

Die für die Stromerzeugung (Netzstrom) relevanten Daten sind in Tab. 13 dargestellt. Grundlage ist hier die Bewertung auf Basis des aktuellen Strommix. (Quelle /2,6/).

Tabelle 13: Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung in Deutschland, Quelle: /2,6/)

Strom		Strommix D
CO2 fossil	g/kWhel	576,9
CH4	g/kWhel	1
CH4 reg	g/kWhel	0
N2O	g/kWhel	0
CO2 fossil	g CO2-Äq/kWhel	576,9
CH4	g CO2-Äq/kWhel	27,2
CH4 reg	g CO2-Äq/kWhel	0
N2O	g CO2-Äq/kWhel	6,7
Summe IPCC 2007	g CO2-Äq/kWhel	610,8

Methanverluste aus Biogasproduktion und Gärrestlager Methanverluste bei der Biogasproduktion und bei der Lagerung der Gärreste sind aus 2 Gründen so weit wie möglich zu unterbinden: Zum einen führen sie zu zusätzlichen Treibhausgasemissionen, zum anderen stellt jeder Kubikmeter verloren gegangenes Methan eine wirtschaftliche Einbuße dar. Entsprechend kann vorausgesetzt werden, dass die Betreiber der Anlage ein größtmögliches Interesse an der Vermeidung dieser Verluste haben. Daher wird in der Betrachtung vom bestmöglichen Stand der Technik ausgegangen. Danach lassen sich diffuse Methanemissionen bei der Produktion nicht vollständig vermeiden, sie werden daher mit 1% auf das produzierte Methan bewertet.

Bei der Lagerung der Gärreste sind mittlerweile geschlossene Lager als Stand der Technik anzusehen, sodass hier nicht mit zusätzlichen diffusen Emissionen zu rechnen ist.

Biomethanproduktion Zur weiteren Aufbereitung des Biogases zu Biomethan stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Im vorliegenden Fall handelt es sich um das Biogas-Aufbereitungsverfahren der Schwelm Anlagentechnik GmbH. Dieses Verfahren beruht auf einem physikalischen Druckwaschverfahren mit einer Waschlösung auf Polyethylenglykolbasis. Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass für die Gasreinigung kein Prozesswärmebedarf besteht und somit keinerlei Biogas verwendet werden muss. Da es sich um eine Druckwäsche handelt, ist allerdings eine Verdichtung des Rohgases auf 6 bar Überdruck erforderlich /11/.

Laut Hersteller /13/ besitzt das Verfahren einen Methanschluß (=Verlust) von <0,2%, es entfernt gleichzeitig die im Biogas verbleiben Restanteile von NH_3 . Die Reingasqualität wird mit einem Gehalt von ca. 98% CH_4 angegeben. /11/.

Tabelle 14: Kenndaten des Biogasaufbereitungsverfahrens (physikalische Druckwäsche),
Quelle: /2,9,11/

Aufwand Aufbereitungsverfahren		
		physik. DW
Strombedarf	[kWh/Nm ³]	0,2
Wärmebedarf	[kWh/Nm ³]	0
Strom Verdichtung auf 6 bar	[kWh/Nm ³]	0,036
Methanschluß	[%]	0,2

Nach Angaben IE; Werte für Verdichtung, Methanschluß nach Angaben Fa. Schwelm

Annahme: Gärrestlager geschlossen, Strombedarf der Biogasanlage auf Basis des Strommix in Deutschland, Wärmeerzeugung regenerativ aus Biogas, Aufbereitung Schwelm-Verfahren

In der folgenden Tabelle 15 ist das Gesamtinventar für die Bewertung der Treibhausgasemissionen der Biomethanherzeugung zusammengefasst. Hier fließen alle Eingangsdaten zur Bewertung der Vorketten und der eigentlichen Biogasgewinnung und –aufbereitung zusammen. Zwar wird eine dem Stand der Technik entsprechende Biogasanlage errichtet, dennoch können Lachgasemissionen aus der Lagerung der Substrate nicht vollständig vermieden werden (siehe /2/). Entsprechend findet eine abschätzende Bewertung dieser Emissionen statt (Basis: (/2/). Neben den Treibhausgasemissionen werden auch die Emissionen aus dem benötigten Zusatzanbau des Futtermittels (Ersatz der Schlempe) berücksichtigt. Hierfür werden nach /14/ rund 1.400 t Weizen pro Jahr benötigt. Die sich hieraus ergebenden Treibhausgasemissionen für den Anbau und den Transport des Weizens belaufen sich auf rund 186.000 kg CO_2 -Äquivalent pro Jahr.

Da die Wärmebereitstellung der Biogasanlage durch den Einsatz von Biogas in einem Gaskessel (und damit aus einer erneuerbaren Quelle) gedeckt wird, entstehen hier keine Treibhausgasemissionen. Dagegen wird der Strombedarf der Biogaserzeugung und –aufbereitung aus dem Stromnetz gedeckt, entsprechend finden sich diese Aufwendungen in der Tabelle wieder.

Der Prozessenergiebedarf der Biomethanherzeugung lässt sich unterteilen in die Prozessenergiebereitstellung (Wärme und Strom) der Biogasanlage und dem Strombedarf der Biogasaufbereitung und-verdichtung. Die Biogaserzeugung hat einen Anteil von rund 26% der Klimagasemissionen der Gesamtkette, die Gasaufbereitung und –einspeisung verursacht weitere 15%. Die in der Biogasanlage produzierte Jahresmenge an Biogas, ausgedrückt im Energiegehalt in GJ/a, stellt für die Bilanzierung der Treibhausgasemission. die Bezugsbasis dar.

Tabelle 15 : Gesamtinventar der betrachteten Biomethanerzeugung

Gesamtinventar		Biomethanerzeugung
Grunddaten		
Substrateinsatz	t/a	48.000
produziertes Methan	m ³ /a	4.151.505
Verlust Anlage	m ³ /a	31.010
Verlust Lager	m ³ /a	0
Methan in Aufber.	m ³ /a	3.069.990
Aufwand		
Anbau	kg CO ₂ -Äq/a	1.547.332
Vorlager (10% Lager)	kg CH ₄ /a	0
	kg N ₂ O/a	1
Substrattransport	kg CO ₂ -Äq/a	45.527
Anlage	kg CH ₄ /a	22.172
Lager	kg CH ₄ /a	0
	Min kg N ₂ O/a	13
Strom Anlage	kg CO ₂ -Äq/a	780.531
Wärme Anlage reg.	kg CO ₂ -Äq/a	0
Ausbringung kg CH ₄ /a	kg CH ₄ /a	157
	kg N ₂ O/a	1.880
T Ausbringung	kg CO ₂ -Äq/a	51.067
Zusatzanbau	CO ₂ Äq. kg/a	185.933
CH ₄ -E Aufber	kg CH ₄ /a	10.975
Strom Aufbereitung	kg CO ₂ -Äq/a	868.663
Wärme Aufbereitung reg.	kg CO ₂ -Äq/a	0

4.2.6 Gutschriften

Den klimawirksamen Emissionen der Biomethangewinnung stehen Gutschriften gegenüber.

Diese lassen sich unterteilen in landwirtschaftliche Gutschriften aus dem Düngewert der Gärreste (lt. Tabelle A2 im Anhang) und den Gutschriften aus der Nutzung des Biomethans in einer KWK-Anlage, Tabelle 16.

Dabei tragen die Einsparungen an mineralischen Düngemitteln zu 6,5 % zu den gesamten Gutschriften bei, die größte Klimagasminderung ergibt sich allerdings aus der Substitution des fossilen Erdgases in den BHKW der EVN mit rund 93,5%.

Tabelle 16: Gutschriften für den Ersatz von Erdgas durch Biomethan in einer KWK-Anlage, Quelle: /6/

Erdgas BHKW Strom und Wärme		
(GEMIS 2012)		
CO2 fossil	g/kWh	378,8
CH4	g/kWh	0,0
CH4 reg	g/kWh	0
N2O	g/kWh	0,0
CO2 fossil	g CO2-Äq/kWh	378,8
CH4	g CO2-Äq/kWh	0,7
CH4 reg	g CO2-Äq/kWh	0,0
N2O	g CO2-Äq/kWh	3,2
Summe IPCC 2007	g CO2-Äq/kWh	382,7

4.3 Erstellen der Gesamtbilanz

Im nächsten Schritt werden die in Tabelle 15 dargestellten Aufwendungen einheitlich in CO₂-Äquivalente (in kg/a) umgerechnet. Gleichzeitig wird nun der Nutzen, also die Gutschrift aus der Substitution des Erdgases in den bestehenden BHKW der EVN sowie die Gutschrift aus der Nutzung der Gärreste als Dünger berücksichtigt. Damit ergibt sich eine erste vergleichbare Bilanz, die in Tabelle 17 dargestellt ist.

Tabelle 17: CO₂-Äquivalente der Biogaserzeugung und Aufbereitung, Aufwand und Nutzen

Biomethanerzeugung		
Aufwand		
Anbau	kg CO ₂ -Äq/a	1.547.332
Vorlager (10% Lager)	kg CO ₂ -Äq/a	0
	kg CO ₂ -Äq/a	358
Substrattransport	kg CO ₂ -Äq/a	45.527
Anlage	kg CO ₂ -Äq/a	554.304
Lager	kg CO ₂ -Äq/a	0
Min	kg CO ₂ -Äq/a	3.874
Strom Anlage	kg CO ₂ -Äq/a	780.531
Wärme Anlage nicht reg.	kg CO ₂ -Äq/a	0
Ausbringung	kg CO ₂ -Äq/a	1.221
	kg CO ₂ -Äq/a	560.240
T Ausbringung	kg CO ₂ -Äq/a	51.067
Zusatzanbau	kg CO ₂ -Äq/a	185.933
CH ₄ -E Aufber	kg CO ₂ -Äq/a	274.380
Strom Aufbereitung	kg CO ₂ -Äq/a	868.663
Wärme Aufbereitung	kg CO ₂ -Äq/a	0
Nutzen		
N-Dünger	kg CO ₂ -Äq/a	554.647
P ₂ O ₅ -Dünger	kg CO ₂ -Äq/a	87.134
K ₂ O-Dünger	kg CO ₂ -Äq/a	103.810
Erdgassubstitution	kg CO ₂ -Äq/a	11.742.240

Zwar könnte die Bilanzierung des Gesamtprozesses auch auf Basis dieser Daten erfolgen, da es aber letztlich um eine Prozess der Energiewandlung geht, ist es sinnvoller

und allgemein üblich, die bislang auf die zeitliche Basis 1 Jahr bezogenen CO₂-Äquivalente auf eine Energieeinheit zu beziehen. Üblich ist hier die Bezugseinheit Gigajoule, GJ, vgl. u.a. /2, 9, 10/.

Dabei werden nun die Gutschriften mit einem „Minus“-Zeichen versehen, da sie von den Aufwendungen abgezogen werden. Ergibt sich in der Summe ein negatives Ergebnis, so führt das betrachtete Verfahren zu einer Netto-CO₂-Einsparung gegenüber dem Referenzsystem (hier Einsatz von Erdgas in einem KWK-System), im Fall eines positiven Vorzeichens kommt es dagegen zu einer Erhöhung des Ausstoßes von Treibhausgasen, Tabelle 18.

Tabelle 18: CO₂-Bilanz der Biomethanerzeugung in CO₂ Äquivalenten pro GJ

Biomethan- erzeugung		
Biomethan in Aufbereit.	GJ/a	122.677
Aufwand		
Anbau	kg CO ₂ -Äq/GJ	12,613
Vorlager (10% Lager)	kg CO ₂ -Äq/GJ	0,000
	kg CO ₂ -Äq/GJ	0,003
Substrattransport	kg CO ₂ -Äq/GJ	0,371
Anlage	kg CO ₂ -Äq/GJ	4,518
Lager	kg CO ₂ -Äq/GJ	0,000
Min	kg CO ₂ -Äq/GJ	0,032
Strom Anlage	kg CO ₂ -Äq/GJ	6,363
Wärme Anlage reg.	kg CO ₂ -Äq/GJ	0,000
Ausbringung	kg CO ₂ -Äq/GJ	0,010
	kg CO ₂ -Äq/GJ	4,567
T Ausbringung	kg CO ₂ -Äq/GJ	0,416
Zusatzanbau	kg CO ₂ -Äq/GJ	1,516
CH ₄ -E Aufber	kg CO ₂ -Äq/GJ	2,237
Strom Aufbereitung	kg CO ₂ -Äq/GJ	7,081
Wärme Aufbereitung	kg CO ₂ -Äq/GJ	0,000
Gutschrift		
N-Dünger	kg CO ₂ -Äq/GJ	-4,521
P205-Dünger	kg CO ₂ -Äq/GJ	-0,710
K20-Dünger	kg CO ₂ -Äq/GJ	-0,846
Erdgassubstitution	kg CO ₂ -Äq/GJ	-95,717
SUMME Aufwand Biomethan	kg CO ₂ -Äq/GJ	39,726
SUMME GS Erdgas	kg CO ₂ -Äq/GJ	-101,795
NETTO Erdgas	kg CO₂-Äq/GJ	-62,069

Im hier betrachteten Fall ergibt sich in der Summe eine Einsparung **von rund 62,07 CO₂-Äquivalente pro GJ erzeugtes Biomethan**. Da dieser Wert wenig anschaulich ist, wird er auf die Bezugsgröße g/kWh umgerechnet:

NETTO Erdgas	in g CO₂-Äq /kWh	-223,4
---------------------	------------------------------------	---------------

Insgesamt ergeben sich durch die Biomethanerzeugung und –nutzung Treibhausgas-**Emissionsminderungen von rund 220 g CO₂-Äquivalente pro kWh erzeugter Energie**. Dies entspricht einer **CO₂-Einsparung von rund 58 % (oder ca. 7.200 t/a) gegenüber dem bisherigen Status**.

Die nachstehenden Grafiken (Abb. 12 und 13) veranschaulichen die Zusammenhänge. So zeigt sich bei der Bewertung des Aufwands der hohe Einfluss der landwirtschaftlichen Vorketten, insbesondere des Anbaus der verschiedenen Substrate. Hier sind es überwiegend die bei der Düngung freigesetzten Lachgasemissionen, die zu einem hohen Teil für diese Treibhausgasemissionen verantwortlich sind. Aber auch die energieintensive Produktion von Mineraldüngern findet hier ihren Niederschlag.

Einen ebenfalls großen Einfluss hat der Strombedarf der Biogaserzeugung und -aufbereitung, da im vorliegenden Fall der Strom nicht selbst erzeugt wird, sondern aus dem Netz bezogen wird. Hier liegen die dem deutschen Strommix entsprechenden CO₂-Äquivalente zugrunde. Diese werden sich – einen stetigen Ausbau der regenerativen Stromerzeugung in den nächsten Jahren vorausgesetzt – langsam verringern. Erwartungsgemäß zeigen sich die höchsten Gutschriften beim Ersatz des Erdgases durch Biomethan in den bestehenden KWK-Anlagen der EVN. Aber auch die Rückführung des Gärrestes als Dünger bewirkt eine durchaus interessante Verringerung der Treibhausgasemissionen aus der Düngemittelbereitstellung, die in der Summe mit ca. 6 GJ/a nahezu genauso hoch ausfällt, wie die Aufwendungen, die aus dem Strombedarf der Anlage resultieren.

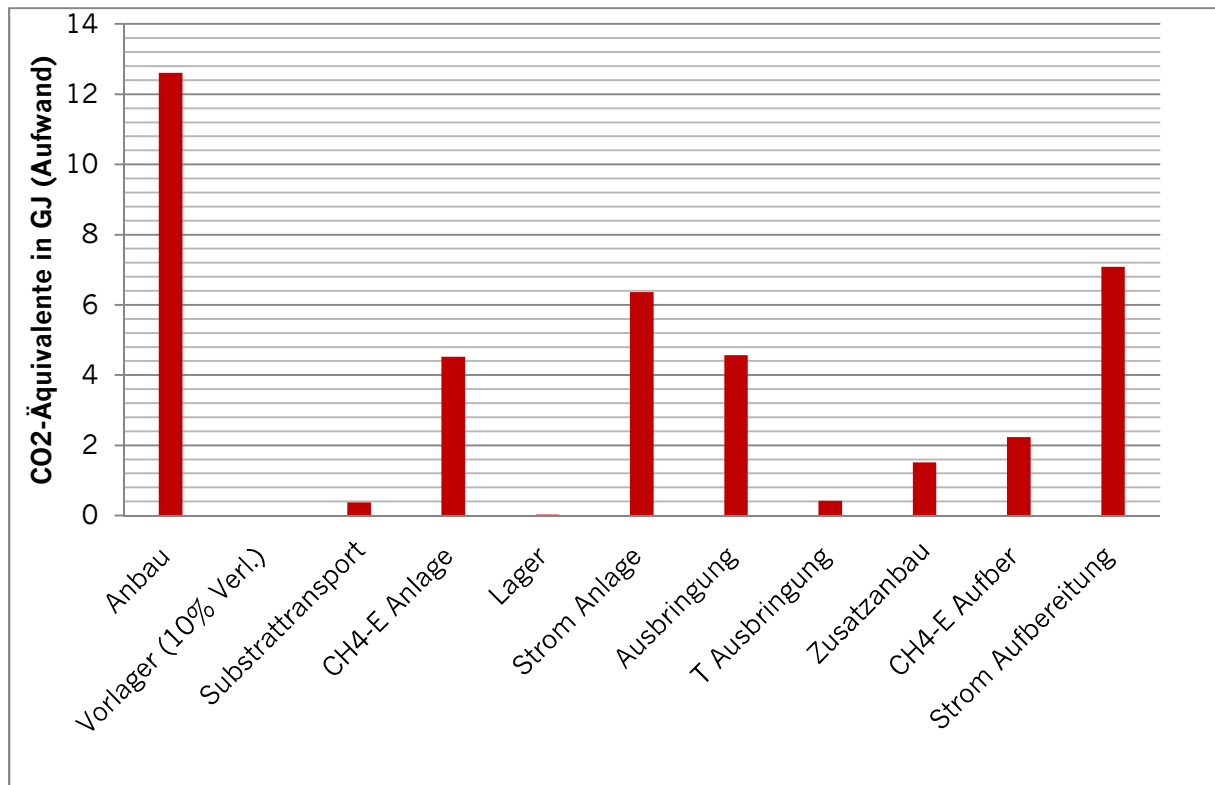


Abb. 12 (oben): CO₂-Äquivalente der Gutschriften einer Biomethanerzeugung und –nutzung, in einer bestehenden KWK-Anlage (Substitution von Erdgas)

Abb. 13 (unten): CO₂-Äquivalente der Gutschriften einer Biomethanerzeugung und –nutzung, in einer bestehenden KWK-Anlage (Substitution von Erdgas) (Achtung: unterschiedliche Skalierung der Achsen gegenüber Abb.2 !)

4.4 Fazit der CO₂-Bilanz

Im Zuge dieser CO₂-Bilanz wurden die Aufwendungen und Gutschriften einer Biomethanerzeugung aus landwirtschaftlichen Produkten und Reststoffen erfasst. Vergleichsprozess ist die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung in einem Erdgas-BHKW mit Fernwärmeauskopplung. Neben dem eigentlichen Prozess der Biomethangewinnung wurden auch die Vorketten sowie die Transporte von Roh- und Reststoffen berücksichtigt. Hieraus konnte ein Emissionsinventar erstellt werden. Die Resultate dieser CO₂-Bilanz werden zunächst auf ein Jahr bezogen. Diese Ergebnisse werden dann auf energetische Einheiten (GJ Biogas bzw. kWh Biomethan) umgerechnet.

Ferner wurde der erzielte Nutzen ermittelt, der sich zum einen aus der Substitution von mineralischen Düngemitteln durch den Einsatz der Gärreste bewertet in t/a ergibt, zum anderen aus dem Hauptprodukt Biomethan, bewertet in GJ/a bzw. kWh/a.

Im nächsten Schnitt wurde dieser Nutzen wiederum in CO₂-Äquivalente pro Jahr umgerechnet. Dabei wurde nun berücksichtigt, dass der Einsatz des Biomethans eine äquivalente Menge an Erdgas in dem bestehenden BHKW der EVN ersetzt. Da sich durch diese Substitution an der späteren Verwendung der erzeugten Energie (Strom und Fernwärme) nichts ändert, da Erdgas und Biomethan die gleiche energetische Wertigkeit besitzen, ist eine weitergehende Betrachtung nicht erforderlich.

Das gilt grundsätzlich auch für die Substitution von Erdgas an einer Erdgastankstelle durch Biomethan: die Vorketten der Biomethanproduktion unterscheiden sich vom Fall "KWK-Anlage" nicht, die Aufwendungen (z. B. Komprimierung des Gases) sind in beiden Fällen gleich. Damit besteht kein klimarelevanter Unterschied zwischen diesen Aufwendungen zur Bereitstellung des Gases an der Tankstelle, es bleibt der Vorteil des Biomethans, aus einer regenerativen Quelle gewonnen zu werden.

Insgesamt konnte eine Treibhausgasreduzierung gegenüber dem status quo (Erdgas in einer KWK-Anlage) von rund 58 % ermittelt werden.

Die im Rahmen dieser Bilanz ermittelten Einsparungen liegen im Vergleich zu ähnlichen Untersuchungen im unteren Bereich. So ergeben Bilanzen ähnlicher Anlagen CO₂-Einsparungen zwischen 50% (kleine Biomethananlagen) und 70% (große Biomethananlagen). Dass im vorliegenden Fall die Einsparungen eher gering ausfallen, ist darauf zurückzuführen, dass die gegenwärtige Erzeugung von Wärme und Strom aus Erdgas bei der EVN bereits mit hocheffizienten BHKW erfolgt und somit im Vergleich zu einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung (über private Kleinf Feuerungsanlagen) wenig Klimagase freigesetzt werden. Das heißt, dass auch die bestehende Fernwärmeversorgung der EVN bereits deutlich weniger Treibhausgasemissionen freisetzt als eine getrennte Stromerzeugung in einem Großkraftwerk und eine dezentrale Wärmeerzeugung in einer Kleinf Feuerungsanlage.

Vor diesem Hintergrund werden die hier ermittelten Ergebnisse als verlässlich und robust bewertet.

Eine Realisierung der Biomethananlage in Nordhausen könnte daher einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der gesetzten Klimaschutzziele der Stadt darstellen. Darüber hinaus vereint das Anlagenkonzept einige interessante Aspekte, die auch im Zuge der Diskussion um den zielführenden Ausbau der erneuerbaren Energien von überregionaler Bedeutung sind:

- So verfolgt das hier vorgestellte Konzept stringent den Gedanken der dezentralen Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien: es werden regional anfallende Stoffe genutzt, das Produkt Biomethan wird vor Ort verwendet.
- Bau und Betrieb der Anlage werden von einem mittelständischen, regionalen Energieversorger übernommen, d.h. die Wertschöpfung aus dem Betrieb der Anlage bleibt vor Ort.
- Mit dem Einsatz lokal anfallender Reststoffe folgt das Anlagenkonzept den Forderungen der Bundesregierung, bei der Biogaserzeugung so weit wie möglich organische Reststoffe zu nutzen und damit den Anbau von Bioenergieträger zu reduzieren. Auch hier werden lokale Kreisläufe ausgenutzt. Damit hätte diese Anlage durchaus auch Vorbildcharakter.

5 Bioenergie statt Nahrungsmittel oder Bioenergie und Nahrungsmittel - Die ethische Diskussion um die Bedeutung der Bioenergie

Die ethische Diskussion um die weitere Nutzung der Bioenergie befasst sich mit der Frage: Ist es in Anbetracht des nach wie vor ungelösten Problems der hinreichenden Versorgung aller Menschen auf dieser Erde mit Nahrungsmitteln überhaupt vertretbar, Bioenergieträger gezielt anzubauen und als Energierohstoffe zu nutzen? Diese Diskussion flammte insbesondere in den letzten Jahren, in denen ein teilweise sprunghafter Anstieg der Preise für Getreide und andere Agrarprodukte auf den Weltmärkten zu verzeichnen war, intensiv auf.

Auch im Zuge der Diskussion um den Bau einer Biomethanerzeugungsanlage in Nordhausen wurde dieses Thema kontrovers diskutiert. Daher soll an dieser Stelle versucht werden, die Argumente für und wider einer Bioenergienutzung darzustellen.

5.1 Die regionale Ebene

Bezieht man die angeschnittene ethische Fragestellung auf den Freistaat Thüringen, so ist zunächst festzustellen, dass hier die zentrale Aufgabe der Landwirtschaft in der Bereitstellung qualitativ hochwertiger Nahrungs- und Futtermittel in ausreichender Menge im Mittelpunkt steht. Dieser Leitlinie ordnet sich auch das bereits erwähnte ambitionierte Bioenergieprogramm Thüringens /25/ unter, in dem es der Frage nachgeht, welche Flächen unter Berücksichtigung der Priorität „Nahrungsmittelsicherheit“ für den Anbau von Bioenergieträgern verfügbar sind.

Dabei wird der sogenannte Selbstversorgungsgrad ermittelt. Um diesen Selbstversorgungsgrad für Thüringen zu bestimmen, erfolgte die Ermittlung des Flächenbedarfs, der theoretisch für die Ernährung der Menschen in Thüringen benötigt wird. Bei einer vollständigen Eigenversorgung unter Einbeziehung des Flächenbedarfs für typische Importlebensmittel wie Reis, Kaffee, Tee und Zitrusfrüchten beträgt der Flächenbedarf ca. 1.370 m²/Einwohner /25/. Unter Zugrundelegung der Einwohnerzahl Thüringens würden ca. 320 T ha LN zur Sicherung der Ernährung in Thüringen benötigt, das heißt, es werden danach nur ca. 50 % der AF und 94 % der Grünlandfläche (Stand 2008) für die Ernährungssicherung gebraucht. Bei den vorgestellten Berechnungen zur Potenzialermittlung handelt es sich um rein „theoretische“ Flächen, die verdeutlichen sollen, dass in Thüringen die Selbstversorgung mit Lebensmitteln jederzeit sichergestellt werden kann. Auch wenn in Zukunft ein weiterer Rückgang der Ackerfläche z. B. durch Bebauung und landeskulturelle Erfordernisse erfolgt, wird der Flächenanteil sich nicht grundlegend ändern, da die Landwirtschaft über die Umsetzung des Züchtungsfortschrittes die Leistung pro Flächeneinheit weiter erhöht und die Einwohnerzahl Thüringens nach Prognosen des Landes sinkt.

Damit ist Thüringen für den Fall einer theoretischen denkbaren lokalen Krise zu bescheinigen, sich - zumindest auf einem bestimmten Niveau - selbst versorgen zu können.

Aus heutiger Sicht erscheint damit das Eintreten einer regionalen Hungersnot unwahrscheinlich. Dennoch kann natürlich eine solche Krise nicht als grundsätzlich unmöglich abgelehnt werden. Legt man ein solches Szenario zugrunde, so ergeben sich

drei Fragen an die Bioenergie aber auch an Bioenergietechnologien im allgemeinen /27/:

1. Stellt das Herstellungsverfahren eine mögliche Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion dar? Dabei sind Prozesse zu bevorzugen, die nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion treten. Hierzu gehören beispielsweise eine energetische Verwertung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Gülle, aber auch Landschaftspflegematerialien wie Grünschnitt von Hecken, Straßenbegleitgrün und Ähnlichem fallen in diese Kategorie. Bezogen auf die angedachte Biogasanlage in Nordhausen wäre die energetische Nutzung von Getreideschlempe durchaus dieser Kategorie zuzuordnen. Im positiven Sinn kann die Teilumstellung auf die Erzeugung von Bioenergie damit zur Sicherung der finanziellen Basis des landwirtschaftlichen Betriebs beitragen, so dass der Landwirt auf dem anderen Teil der Nutzfläche weiterhin Nahrungsmittel anbaut und nicht aus ökonomischen Gründen Flächen aus der Nutzung nimmt, wie dies in den zurückliegenden Jahrzehnten immer wieder geschehen ist. Dieses würde folglich dem in der Vergangenheit deutlich zu beobachteten Rückgang an landwirtschaftlichen Betrieben entgegenwirken und sich letztlich günstig auf das Nahrungsangebot auswirken.
2. Kann die als Energiepflanze genutzte Kultur gegebenenfalls auch der Nahrungs-mittelversorgung dienen? Aus agrarpolitischer Sicht sind für die Bioenergieerzeugung Pflanzen vorzuziehen, die sowohl als Nahrungsmittel oder Futtermittel als auch als Energierohstoff genutzt werden können. Hierzu zählt – wiederum übertragen auf den Fall Nordhausen – etwa der Mais. Je nach Notwendigkeit und Marktgegebenheiten kann dann der eine oder der andere Nutzungsweg eingeschlagen werden.
3. Fallen während des Arbeitsprozesses Koppelprodukte an, die als Futter- oder Düngemittel indirekt wieder in die Nahrungsmittelkette einfließen? Hierzu zählen z.B. die Gärreste aus Biogasanlagen. Diese werden als Dünger genutzt und ersetzen damit Mineraldünger, deren Verfügbarkeit sich in den kommenden Jahrzehnten eher verringern wird, was sich auch derzeit schon in steigenden Preisen für solche Dünger ausdrückt. Auch hier kann eine vernünftige und mit Augenmaß, d.h. an den lokalen Gegebenheiten orientierte Bioenergienutzung positive Anreize entfalten und indirekt der Nahrungssicherheit dienen.

Die Betrachtung auf nationaler und regionaler Ebene führt damit zu einem Ergebnis, das auch für die Betrachtung auf internationaler Ebene von Bedeutung ist: Das Konfliktpotential des Energiepflanzenanbaus liegt in der Regel nicht auf der Ebene der Einzelentscheidungen, sondern ergibt sich nicht zuletzt aus dem Umfang der Nutzung, sprich aus der Summe der Einzelentscheidungen /27/. Zwar muss der Landwirt als Erzeuger von Nahrungs- und Futtermitteln sowie von Bioenergie hier eine Grundverantwortung übernehmen, in dem er die ihm verfügbaren Ressourcen mit Augenmaß verwendet, die generelle Lenkungswirkung muss aber von der nationalen Politik ausgehen, so wie das in Deutschland derzeit und auch bereits in der Vergangenheit mit der Anpassung der Vergütungsregelungen des EEG oder der Verabschiedung von Nachhaltigkeitsregeln geschehen ist.

5.2 Die internationale Ebene

In den letzten Jahren wurde deutlich, dass die Diskussion über die Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus der Bioenergie auf die Sicherstellung der Nahrungsversorgung auf internationaler Ebene zum Teil zu heftigen Kontroversen führte und führt. Ohne das an dieser Stelle der Anspruch verfolgt wird, diese Kontroverse lösen zu können, soll versucht werden, durch einige grundlegende Gedanken eine gewisse sachliche Basis zu finden.

Zunächst ist festzuhalten, dass das Interesse der internationalen Nahrungsmittelkonsumenten deckungsgleich ist mit dem heimischer Nahrungsmittelkonsumenten: das Interesse an einer sicheren Versorgung mit qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln zu erschwinglichen Preisen, wobei sich die Erschwinglichkeit naturgemäß an den Rahmenbedingungen der lokalen Märkte orientiert und ein einem „armen“ Land völlig anders aussieht als in einem „reichen“ Land. Diesem Interesse liegt das Gerechtigkeitsprinzip zugrunde, das im Sinne einer friedlichen Weiterentwicklung der menschlichen Gesellschaft von zentraler Bedeutung ist.

Die aktuelle Diskussion um die Bioenergie berührt damit auch die Diskussion über die Ursachen und Bekämpfung des Welthungers. Laut aktuellen Zahlen der Food and Agriculture Organisation, FAO, sind gegenwärtig rund eine Milliarde Menschen vom Hunger betroffen. Es herrscht dabei weitgehende Übereinstimmung darin, dass die Ursachen des Welthungers nicht allein nur auf eine Nahrungsmittelknappheit zurückzuführen sind, sondern dass es ein vielschichtiges Zusammenspiel von sozialen, politischen, ökonomischen und klimatischen Faktoren ist, dass zum gegenwärtigen Missestand beiträgt /28/.

In diesem Zusammenhang wird in jüngster Zeit immer wieder argumentiert, dass auch die Energiegewinnung aus Biomasse in Deutschland einen Beitrag zur Verschärfung des Problems des Welthungers leistet. So benötigt der Anbau von Energiepflanzen zwangsläufig Ackerflächen. Damit steht er in direkter Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Im Weltagrarbericht 2009 wird dabei die besondere Rolle der Pflanzentreibstoffe der ersten Generation (Biodiesel, Bioethanol) herausgestellt, denen ein Risikopotential hinsichtlich der globalen Nahrungssicherheit zugesprochen wird, da zur Herstellung dieser Treibstoffe nur Teile bzw. Inhaltsstoffe der Pflanze (beispielsweise bei Biodiesel das Pflanzenöl) genutzt werden kann und daher die Erzeugung von für den Kraftstoffmarkt relevanter Mengen zu einem hohen Flächenbedarf führt /29/. Im Fall der Biogaserzeugung ist dagegen die Flächeneffizienz deutlich höher, da hier alle Pflanzenteile genutzt werden können. Weiterhin wird ein Zusammenhang zwischen der steigenden Nachfrage nach Bioenergieträgern vornehmlich in den Industrieländern und den in den letzten Jahren global steigenden Lebensmittelpreisen unterstellt /30/. Hierbei darf aber nicht vergessen werden, dass auch ganz andere Zusammenhänge bestehen. Nach einer Veröffentlichung der Weltbank /31/ hat die Produktion von Bioenergie weit weniger Einfluss auf die Preisentwicklung im Agrarsektor als oftmals angenommen. So stellen die Autoren heraus, dass es bemerkenswert sei, dass sich Maispreise in den USA während des ersten Bioethanolnachfragebooms kaum veränderten und die Rapspreise sogar sanken als die EU den Biodieselvebrauch enorm vorantrieb. Des Weiteren erreichten die Preise ihre Höhepunkte, während der Ethanolverbrauch in den USA zurückging und sich der Biodieseleinsatz in der EU stabilisierte.

Diese teilweise sehr heftig und zum Teil äußerst emotional geführte Diskussion wird unter dem Schlagwort „Teller-Tank-Konflikt“ behandelt. Dabei ist eindeutig festzuhalten, dass aus ethischer Sicht die Verfügbarkeit von sicheren, hochwertigen und bezahlbaren Nahrungsmitteln das höchste Gut in einer vorzunehmenden Güterabwägung darstellt.

Auch über die Bedeutung von Nahrungssicherheit für ein menschenwürdiges Leben herrscht ein breiter moralischer Konsens. Umstritten ist dagegen, ob und inwieweit der Anbau von Bioenergieträgern in einer Region, wie etwa Thüringen oder dem Landkreis Nordhausen, tatsächlich Auswirkungen auf den Hunger in den ärmeren Regionen der Welt hat und inwieweit daher lokale Akteure wie Landwirte als „Energieerzeuger“ und Energieversorgungsunternehmen als „Energienutzer“ (letztlich aber damit auch jeder Endverbraucher als Energieverbraucher) eine moralische Mitverantwortung an dieser Situation haben.

So wäre es möglich, dass durch einen verstärkten Anbau an Bioenergieträgern in Deutschland oder in Thüringen der Bedarf am Import von Nahrungs- oder Futtermitteln steigt, also der erwähnte Selbstversorgungsgrad deutlich kleiner als 1 wird. Diese Nachfragesteigerung könnte in der Konsequenz bei einem gleichbleibend knappen Weltmarktangebot zu steigenden Nahrungs- und Futtermittelpreisen in anderen Ländern führen. Hiervon wären vor allem Entwicklungsländer stark betroffen, deren ärmere Bevölkerung sich diese verteuerten Lebensmittel nicht mehr leisten könnte.

Es ist aber auch eine andere Kausalkette denkbar: so könnte eine Preissteigerung auch eine Einkommensverbesserung der Landbevölkerung in ärmeren Ländern nach sich ziehen, so dass Landwirtschaft wieder als lohnend erscheint und damit verstärkt betrieben werden könnte. Dadurch würden die Landwirte langfristig einen Beitrag zur Versorgungssicherheit der lokalen Bevölkerung leisten. Eine derartige Kausalitätskette der Auswirkung der deutschen Landwirtschaft auf die der Entwicklungsländer ist nicht von vornherein abzustreiten /27/. Allerdings sind diese Ursache-Wirkungszusammenhänge lokaler Handlungen und sich daraus ergebender globaler Folgen nur schwer exakt zu bestimmen. Hieraus folgt, dass sich die Verantwortung nur bedingt einzelnen Personen zuzusprechen ist und somit dem einzelnen Landwirt in Deutschland nicht die Verantwortung für die bestehende Hungerproblematik in der Welt zugewiesen werden kann.

An dieser Stelle muss daher auf die Bedeutung der internationalen Politik verwiesen werden. So sind es vorrangig die nationalen und internationalen politischen Institutionen, die für die Schaffung aber auch der Einhaltung der notwendigen Rahmenbedingungen im Kampf gegen den Welthunger verantwortlich sind /32/. Würde man die Verantwortung in diesen Konflikten nur auf der Ebene des Einzelnen (also etwa des Landwirts) suchen, bedeutete dies eine moralische Überforderung, wie sie in der öffentlichen Debatte um Energie aus Biomasse dem Landwirt sowieso oft genug zugemutet wird. An dieser Stelle muss auch auf die seit langem bekannte Bedeutung der Lebensführung in den Industrieländern hingewiesen werden, die in Zusammenhang mit der Frage nach den Ursachen für den Hunger in der Welt mindestens ebenso kritisch zu diskutieren wäre wie die möglichen Auswirkungen eines regional verstärkten Anbaus von Bioenergieträgern. Es sind eben nicht nur lokale Entscheidungen in der Landwirtschaft, die gegebenenfalls die Nahrungssicherheit in Entwicklungsländern gefährden, sondern die Gefährdung wird in mindestens genauso großem Umfang von der gesamten Lebensführung in der westlichen Welt verursacht, so etwa durch den verschwenderischen Umgang mit Lebensmitteln oder auch durch den unverändert hohen durchschnittliche Fleischkonsum /33/.

Es ist in diesem Zusammenhang ebenso wenig angebracht, die Diskussion über die etwaige Bedrohung der Nahrungsmittelsicherheit aufgrund mangelnder Flächen zum Nahrungsmittelanbau nur zu Lasten der Bioenergieproduktion zu führen. Während in der derzeitigen Diskussion oftmals nur die Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmitteln und Bioenergie in den Mittelpunkt gerückt wird, besteht eine derartige Konkurrenzsituation natürlich auch zwischen den Anbauflächen für Nahrungsmittel und Verkehrsflächen, Siedlungsflächen oder Industrieflächen. Daher müsste eine konsequente Besinnung auf die Notwendigkeit, Ackerflächen, Wiesen und Weiden zu erhalten, auch dazu führen, dass keine neuen Flächen für Freiflächen-Photovoltaikanlagen oder Anbauflächen von nichtnahrungstauglichen Produkten wie Tabak oder für Naturschutzflächen geopfert werden. Hierzu zählt auch die Produktion von Futtermitteln, die nicht für die Ernährung von Nutztieren (sondern z. B. für Haustiere wie Katzen, Hunde oder Hamster) gedacht sind. Auch die Schaffung anderer Infrastrukturmaßnahmen wie Neubaugebiete, Sport- und Freizeiteinrichtungen müssten vor dem Hintergrund des Schutzes landwirtschaftlicher Flächen gestoppt werden. Man erkennt: eine derartige Denkweise würde letztlich zu einem Entwicklungsstillstand einer Region führen – eine Entwicklung, die letztlich den Interessen der lokalen Bevölkerung auch entgegen läuft. Diese zugebenermaßen überspitzte Darstellung zeigt, dass die Frage nach dem verantwortungsvollen Umgang mit verfügbaren Flächen nicht allein auf die Produktion von Energie aus Biomasse abzielen darf, sondern weit umfassender geschehen muss.

Im Umkehrschluss dürfen diese Aussagen aber auch nicht als ein „Freifahrtschein“ in eine unbegrenzte Bioenergiezukunft aufgefasst werden. Zwar kann festgestellt werden, dass die hauptsächliche Verantwortung zur Behebung des weltweiten Nahrungsmittelmangels auf der Ebene der nationalen und internationalen Politik liegt. Dennoch kommt dem Einzelnen vor Ort durchaus ein gewisses Maß an Eigenverantwortung zu. „Gerade in den komplexen Handlungs- und Wirkungszusammenhängen moderner Gesellschaft ist dauerhafte Verantwortung nur möglich, wenn sie sowohl auf der individuellen Ebene als auch auf der strukturellen Ebene des Bemühens um eine verantwortliche Gestaltung der rechtlichen und politischen Strukturen wahrgenommen wird.“ /34/.

Das bedeutet, dass der Landwirt genauso wie jeder andere Bürger auch dazu aufgefordert ist, seine Handlungen, Entscheidungen und seine Lebensführung hinsichtlich möglicher Beeinträchtigung der Nahrungsmittelsicherheit auf globaler Ebene zu überdenken. Bioenergieprojekte, die auf eine großräumige Ausnutzung ackerbaulicher Ressourcen setzen, wie dies in den letzten Jahren in einigen Projekten auch in Deutschland der Fall gewesen ist, und deren Attraktivität sich ausschließlich auf die Ausschöpfung der lukrativen ökonomischen Rahmenbedingungen gründet, die u.a. das EEG bietet, sind daher abzulehnen. Projekte, wie das in Nordhausen geplante Biogasprojekt, das auf die Nutzung kleinräumiger Stoffkreis- und Energiekreisläufe setzt („Energie aus der Region für die Region“) und damit auch für die lokale Bevölkerung eine hohe Wertschöpfung garantiert, sind dagegen auch im Licht einer grundsätzlich kritischen Bewertung der globalen Bioenergienutzung als durchaus positiv zu bewerten.

5.3 Die agrar- und entwicklungspolitische Perspektive

Es wurde im vorangehenden Abschnitt bereits deutlich, dass das Problem „Hunger“ in der Welt nicht monokausal auf eine Ursache zurückzuführen ist. Daher soll abschließend auch der Versuch unternommen werden, die Ursachen für den an sich

beschämenden Zustand, dass eine fortschrittliche Zivilisation im 21. Jahrhundert nicht in der Lage ist, alle Menschen ausreichend mit Nahrungsmitteln zu versorgen, aus einer agrarpolitischen Perspektive zu betrachten.

Weltweit werden etwa 38% der Landfläche für die landwirtschaftliche Nutzung (knapp 50 Mio.km²) verwendet. Davon sind ca. 34 Mio.km² Weideland und ca. 16 Mio km² Ackerfläche (FAOSTAT). Das Weideland und 30% des Ackerlandes (Futter), also insgesamt 80% der landwirtschaftlichen Flächen, werden von der Viehhaltung beansprucht, Abb. 14.. Tierische Lebensmittel bilden aber nur einen geringen Anteil an der weltweiten Nahrungsversorgung (z.B. nur 17% im Jahr 2003 FAOSTAT, 2008).

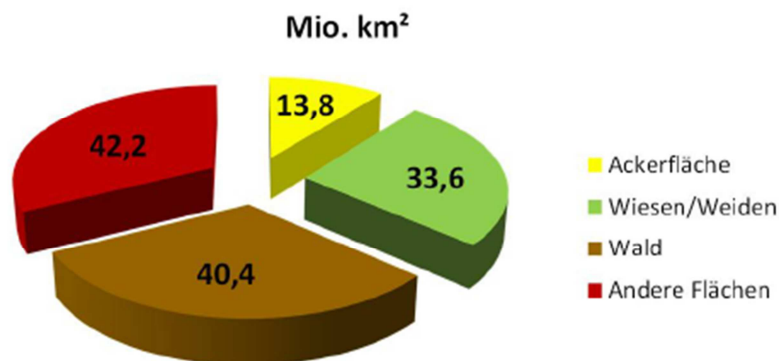
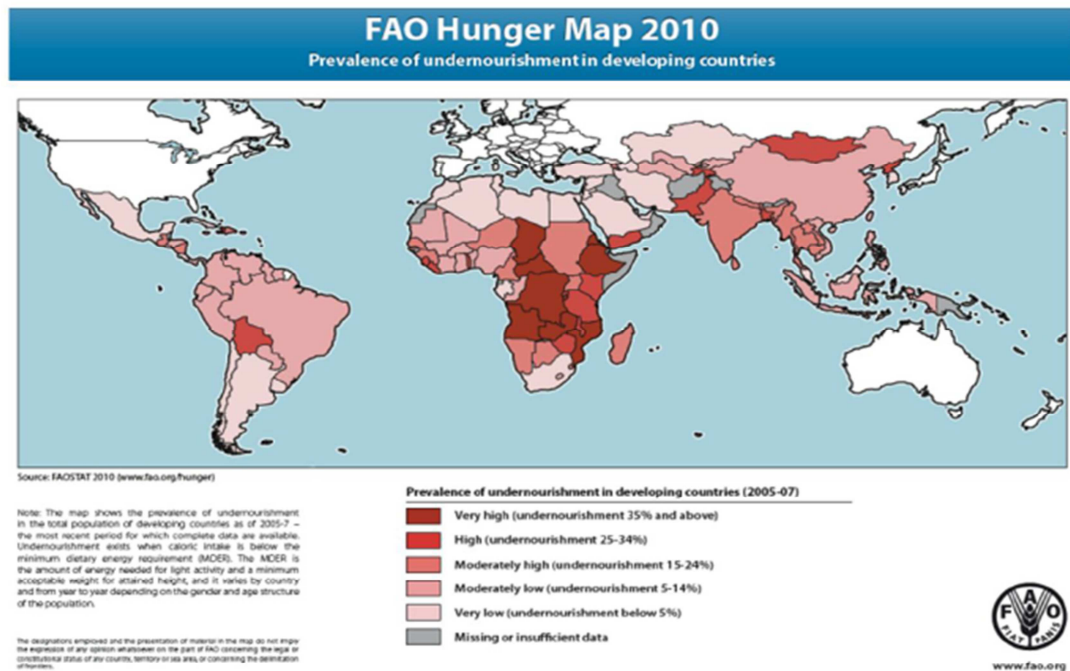


Abb. 14: Verteilung der landwirtschaftlichen Nutzflächen weltweit, Quelle FAOSTAT

Diese Flächenbilanz unterstreicht die Schieflage, in der sich die Welternährung befindet: der wachsende Wohlstand in den Industrieländern aber auch einigen Schwellenländern Asiens führt zu einer steigenden Nachfrage nach Fleischprodukten. Die Tierhaltung ist an sich schon sehr flächenintensiv und führt zu einer großen Flächenbindung zu Lasten von ackerbaulichen Produkten. Mehr Vieh bedeutet aber auch einen wachsenden Bedarf an zusätzlichen Futtermitteln, wodurch sich die Schere noch weiter öffnet.

Dieser Befund ist nicht wirklich neu: Bereits Mitte der 1990-er Jahre wurde in dem Buch „Zukunftsfähiges Deutschland“ /35/ auf die Problematik eines wachsenden Fleischkonsums hingewiesen und ein Bewusstseinswandel angemahnt – genutzt haben diese Appelle bislang kaum.

Die Ursachen der gegenwärtigen Getreideknappheit sind, wie so oft, vielschichtig. Die jahrelange Überproduktion von Nahrungsmitteln und die entsprechend niedrigen Weltmarktpreise führten in vielen Ländern zu einem beständigen Abbau landwirtschaftlicher Produktionskapazitäten: der Import fertiger Produkte war billiger als die Eigenproduktion. Investitionen in eine moderne Landwirtschaft unterblieben in vielen Ländern, damit wurde die einheimische Landwirtschaft noch weniger konkurrenzfähig. Das unterstreicht die sogenannte „Hunger Map“ der FAO, Abb. 15. Hier zeigt sich, dass heute das Hungerproblem in den Weltregionen am größten ist, die aufgrund ihrer naturräumlichen Ausstattung, also ihrem Potenzial, zu den produktivsten der Erde zählen müssten. Natürlich führen neben den ökonomischen Gründen auch andere Gründe, wie ständige Bürgerkriege, Korruption und Ausbeutung dazu, dass in einigen Regionen der Erde trotz jahrzehntelanger Bemühungen nationaler und internationaler Organisationen dem Hungerproblem nicht beizukommen ist. Allein: nur der Export von Überschüssen in diese Regionen hilft auf Dauer wenig- auch dies haben die letzten Jahrzehnte eindeutig bewiesen.



... 80% der landwirtschaftlichen Flächen, werden von der Viehhaltung beansprucht ...

Abb. 15: Die sogenannte „Hunger-Map der FAO, Quelle /28/

Die steigende Nachfrage nach Getreide aus Asien in Verbindung mit mehreren mäßigen Erntejahren führten in den letzten Jahren zu einem raschen Abbau der Vorräte: Knappheit erhöht Preise..

In diesen Kreislauf kamen neben einer zunehmenden Spekulation (Termingeschäfte) auch zusätzlich neue Märkte, wie die Biotreibstoffe. Bioenergieträger haben damit einen, aber nicht den wesentlichen Einfluss auf die Preisentwicklung.

Gibt es Lösungsmöglichkeiten?

Aus heutiger Sicht ist eine Effizienzsteigerung in der Landwirtschaft dringend erforderlich. Zur Sicherstellung der Nahrungsmittelversorgung einer bis 2050 um 2 Mrd. Menschen wachsenden Weltbevölkerung muss die landwirtschaftliche Produktivität um 4% p.a. steigen –z. Zt sind es 1 %, in der EU sogar nur 0,6%. Landwirtschaft muss sich lohnen, nur dann werden notwendige Investitionen getätigt, diese notwendigen Investitionen belaufen sich bereit heute auf ca. 85 Mrd. \$ (Schätzung FAO) !

Die größten Potenziale liegen bei der Steigerung der Flächenerträge durch eine standortgerechte, moderne Landwirtschaft. Selbst in Europa bieten sich hier noch große Verbesserungsmöglichkeiten, wie Abb. 16 und 17 illustrieren.



Abb. 16: Problem Ineffizienz: Unterdurchschnittliche Erträge durch Missmanagement, Quelle /36/



Abb. 17: Problem Investitionsmangel: Veralterte Technik verhindert hohe Produktivität auf guten Standorten, Quelle /36/

Heute ist weltweit gesehen die Fläche nicht das Problem – eher die aufgrund jahrzehntelanger falscher Agrarpolitik schlechte Flächennutzung und geringe Produktivität, Abb. 18.

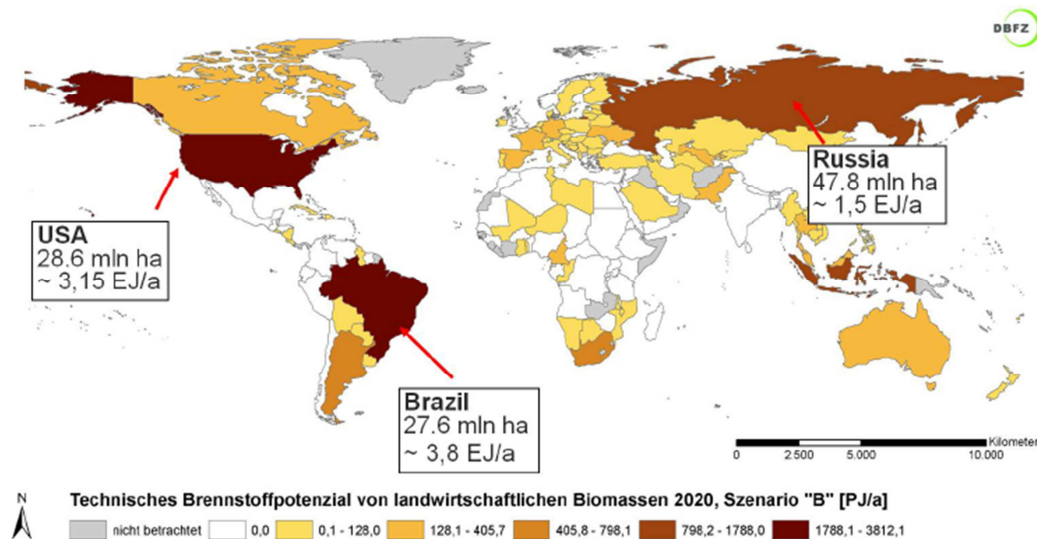


Abb. 18: Erschließbares Biomassepotenzial weltweit bis 2020, Quelle /37/

Werden diese Probleme in den nächsten Jahren zielgerichtet angegangen, so stehen die Perspektiven für die Vereinbarkeit von Nahrungsmittelversorgung und Energieversorgung durchaus günstig. Bis 2050 beträgt durch u.a. Produktivitätssteigerungen (Acker und Forst), die Nutzung von Reststoffen und die Nutzung zusätzlicher Flächen das technische Biomassepotenzial etwa 500 EJ. Die globale energetische Biomassenutzung könnte sich von derzeit 50EJ auf 100 bis 300EJ entwickeln, Abb. 19.

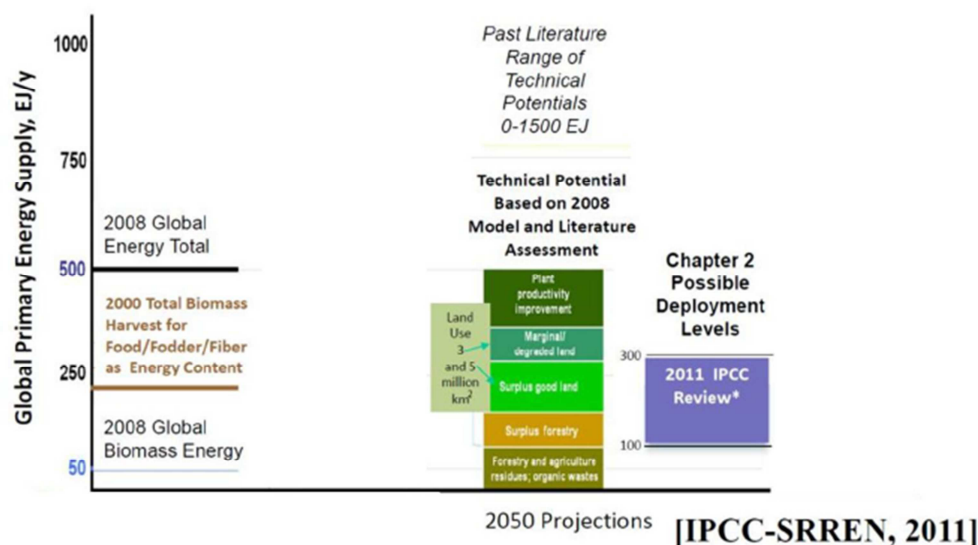


Abb. 19: Potenziale der Bioenergie bis 2050, Quelle /38/

5.4 Fazit: Bioenergie statt Nahrung? Oder Nahrung und Bioenergie?

Eindeutig steht fest: Höchste Priorität in der globalen aber auch der regionalen Agrarpolitik hat die Deckung der Nachfrage nach preiswerten Nahrungs- und Futtermitteln. Die Leistungsfähigkeit der natürlichen Systeme darf weder durch die Nahrungs- und Futtermittelproduktion noch durch die Erzeugung von Bioenergeträgern überfordert werden, Schutzansprüche sind zu beachten.

Die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen muss sich an strengen Regeln messen, um dem Anspruch der Nachhaltigkeit gerecht zu werden. Ziel muss es

sein, weltweit anerkannte „Spielregeln“ (Zertifizierung) für einen nachhaltigen Anbau von Biomasse aufzustellen. Hierzu gibt es zumindest in der EU gute Ansätze, Abb. 20.

Nachhaltige Landwirtschaft	Schutz von Lebensräumen	THG-Verminderungspotential
■ Keine Verschlechterung von Artenvielfalt und Lebensräumen Bodenfunktion und Bodenfruchtbarkeit Gewässerqualität und Wasserangebot ■ Umweltgerechter Einsatz von Dünge- und Pflanzenmitteln ■ Keine wesentliche Zunahme von versauernden oder toxischen Stoffen ■ Kein Rohstoffanbau auf Flächen mit einem Anteil an gebundenem Kohlenstoff	■ Kein Anbau in Gebieten oder angrenzenden Gebieten, die Naturschutzgebiete sind ■ Merkmale: • Gebiete in Ökosystemen • Gebiete für Grundbedürfnisse der lokalen Bevölkerung • Gebiete mit Schutzfunktionen	RED EU Directive: ■ 35% ab Inkrafttreten bzw. ■ 50% ab 2017 bzw. ■ 60% ab 2017 für Neuinstallationen Im Vergleich zum fossilen Referenzkraftstoff (Diesel oder Ottokraftstoff)

Abb.20: Nachhaltigkeitskriterien für den Einsatz/Import von Bioenergieträgern, Quelle /39/

Wichtig ist aber auch unser Verhalten: Bei ausgewogener Ernährung wäre das heutige Hungerproblem signifikant kleiner! Hunger entsteht nicht durch Bioenergie, kann aber durch deren Ausbau kurzfristig verstärkt und mittelfristig reduziert werden.

Die Stärken und die Zukunftschancen der Bioenergie liegen daher in der Dezentralität, d.h. in an die regionale Biomasseverfügbarkeit (Art, Menge, Qualität) und die örtliche Energienachfrage (Strom und Wärme) angepassten Versorgungssystemen. Hier kann die Bioenergie mit hohen Gesamtwirkungsgraden von bis zu 85% in Kraft - Wärme - Kopplungsanlagen oder auch Kraft – Wärme-Kälte - Kopplungsanlagen eingesetzt werden. Traditionell ist die reine Wärmeversorgung eine Stärke der Biomasse, hier erreicht sie mit Wirkungsgraden von bis zu 95% Werte, die nicht hinter denen fossiler Energien zurückstehen.

6 Anhang

Tabelle A1. Kenndaten der verwendeten Biogassubstrate, Quelle: /3,4,8,9/

Kenndaten Biogassubstrate				
		Maissilage	Zuckerrübe	Schlempe
Gasertrag	l/kg oTS	586	684	640
Methangehalt	Vol%	54	51	58
Methanertrag	l/kg oTS	316	348,8	371,2
oTS	% TS	95,8	90,3	94
TS	% FS	33	18	10
Gasertrag	m³/t FS	185,3	111	48
Methanertrag	m³/t FS	100	57	31
N-Gehalt	% TS	1,2	1	4,6
NH ₄ -N	% N	11,3	11	45
P-Gehalt	% TS	0,24	0,8	1,4
K-Gehalt	% TS	1,13	2,2	0,8

Tabelle A2. Kenndaten der Gärreste, Quelle: /3,4,8,9/

Berechnung Gärrest		Maissilage	Schlempe	Zuckerrübe
Gärrestmenge	t/t Input	0,779	0,973	0,8
N Gärrest 1)	kg/t Input	3,56	2,88	1,62
NH ₄ -N 2)	%N	20	54	13,2
P	kg/t Input	0,001	0,00098	0,00144
K	kg/t Input	0,003729	0,00056	0,00396

1) N Verlust durch Fermentation nach Vergleich mehrerer Daten zu Roh- und Gärsubstrat rd. 10%

2) NH₄ Anreicherung durch Umwandlung von Norg bei NawaRo rd. 1,8

3) Daten Schlempe. FNR

7 Quellenverzeichnis

- /1/: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report: Climate Change 2007, www.ipcc.ch
- /2/ ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: Basisdaten zu THG-Bilanzen für Biogas-Prozessketten und Erstellung neuer THG-Bilanzen, Heidelberg, 2010
- /3/ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.: KTBL Energiepflanzen, Darmstadt, 2006
- /4/ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.: KTBL Faustzahlen für die Landwirtschaft, 14. Auflage, Darmstadt, 2010
- /5/ (BioNachV) Berechnungen zu Default-Werten im Rahmen der "Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Biomasseerzeugung und an Biokraftstoffe und deren Nachweis"
- /6/ Ökoinstitut: GEMIS - Globales Emissions-Modell integrierter Systeme, GEMIS Version 4.8, Darmstadt, 2012
- /7/ Energieversorgung Nordhausen GmbH: Konzeption zum Bau einer Biomethananlage in Nordhausen, unveröff., Nordhausen, 2012
- /8/ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung; Gülzow 2010
- /9/ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), (Hrsg.): Ergebnisse des Biogas-Messprogramms. Erstellt durch die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Gülzow, 2005.
- /10/ Institut für Energetik und Umwelt (IE) Leipzig, Schlüsseldaten Klimagasemissionen Welchen Beitrag kann die Biomasse zum Klimaschutz leisten? Leipzig, 2007
- /11/ Schwelm Anlagentechnik GmbH, Loher Straße 1 / D-58332 Schwelm, Firmeninformation, abgerufen unter www.schwelm-at.de, letztmaliger Aufruf: 29.01.2013
- /12/ Winkelmann, J: "Optimierte Silagequalitäten aus unterschiedlichen Maisproduktionen für die Tierernährung oder Biogasanlage", 13. KWS-Seminar, Dresden-Kesselsdorf, 19./20. Januar 2006.
- /13/ Van Asten GmbH, Nordhausen, persönliche Mitteilung, 10.12.2012
- /14/ Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
<http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/protodt.pdf>
- /15/ UN-Klimakonferenz in Kopenhagen - 7. bis 18. Dezember 2009. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/15_klimakonferenz/doc/44133.php

- /16/ BMU (2012) Erneuerbare Energien in Zahlen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin, 115 S.
- /17/ BMU (2011) Internationaler Klimaschutz für die Zeit nach 2012. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- /18/ BMU (2010) Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie. Stand: 04.08.2010. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. www.bmu.de,
- /19/ TMWAT (2011) Neue Energie für Thüringen – Eckpunkte der Landesregierung. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie. Erfurt, 2011.
- /20/ TLL (2010): Regionale Biomassepotenziale zur energetischen Nutzung im Freistaat Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Jena im Mai 2010
- /21/ TLL (2011): Bioenergie in Thüringen - dezentral und nachhaltig in den Regionen. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz. Erfurt 2011
- /22/ Hartmann, Dr. Anette (2008): Wie viel Fläche wird für Biogas benötigt? Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 7/2008. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. http://www.statistikportal.de/veroeffentl/Monatshefte/PDF/Beitrag08_07_08.pdf
- /23/ TLS (2012) Hektarerträge ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten, Landkreis Nordhausen. Thüringer Landesamt für Statistik 2012. <http://www.tls.thueringen.de/datenbank/portrait.asp?TabelleID=kr000516&auswahl=krs&nr=62&Aevas2=Aevas2&daten=jahr&ersterAufruf=x&tit2=&TIS=&SZDT=>
- /24/ TMWAT (2011) Thüringer Bestands- und Potenzialatlas für erneuerbare Energien, Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie. Erfurt, 2011
- /25/ Thüringer Ministerium Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz: Thüringer Bioenergieprogramm, Erfurt, 2006
- /27/ Zichy, M., Dürnberger, C., Formowitz, B., Uhl, A.,: Energie aus Biomasse – ein ethisches Diskussionsmodell, Vieweg + Teubner, Stuttgart, 2011
- /28/ Food and Agriculture Organisation, FAO: The State of Food Insecurity in the World Economic crisis – impacts and lessons learned, Rome, 2009
- /29/ IAAST Weltagrarbericht 2009, Hamburg, 2010
- /30/ Mitchell, D.: A Note on Rising Food Prices, The World Bank Development Prospects Group, New York, 2008
- /31/ Baffes, J.; Hanoitis, T.,... Placing the 2006/08 commodity price boom into perspective, The World Bank Development Prospects Group, New York, 2010
- /32/ Ott, K.; Döring, R.: Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit, Metropolis, Marburg, 2004.
- /33/ Nierenberg, D.: Happier meals: Rethinking the global meat industry, Worldwatch paper 171, Worldwatch Institute, 2005

- /34/ Vogt, M.: Nachhaltigkeit theologisch-ethisch, in Münchner Kompetenzzentrum Ethik (Hrsg). Prinzip Nachhaltigkeit, München, 2009
- /35/ BUND und MISEREOR : "Zukunftsfähiges Deutschland – ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung" , Bonn, 1996
- /36/ Zeddies, J.; Bahrs, E. et al: Globale Analyse und Abschätzung des Biomasse-Flächennutzungspotentials, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim, 2012
- /37/ Thrän, D. et al: Global and regional spatial distributions of biomass potential, Final report, DBFZ report 7, Deutsches Biomasse Forschungszentrum Leipzig, 2011
- /38/ International Panel of Climate Change IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN), Genf, 2011
- /39/Thrän, D.: Biomasse für Teller oder Tank - ein unlösbares Dilemma ? Vortrag, Hamburg, 01.07.2011